

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

El acuífero del Valle de Tehuacán, 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 546,000 habitantes, considerando la totalidad de la población de los 21 municipios inmersos en los límites administrativos del acuífero, y para el año 2030 se estima que la población será de unos 761,000 habitantes.

Ante la situación expuesta, los usuarios del agua subterránea han formado un *Comité Técnico del Agua Subterráneas* (COTAS), constituido formalmente y funcionando como un órgano auxiliar del Consejo de Cuenca.

La zona ha sido estudiada formalmente desde el punto de vista de las aguas subterráneas desde hace más de 20 años, demostrando a partir de aquellos años la disminución del caudal producido por las galerías filtrantes, efecto que se debe a la explotación excesiva de los pozos que han proliferado en la zona. Esta situación ha puesto de manifiesto una situación crítica que se refleja en una disminución de los recursos hídricos disponibles y en consecuencia un peligro inminente de la sustentabilidad de las actividades económicas y sociales establecidas en la región.

Ante este panorama el COTAS ha solicitado a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la realización de un Plan de Manejo Integrado para el Aprovechamiento del Agua en el acuífero Valle de Tehuacán, para revertir la situación actual.

1.2 Problemática

Actualmente se estima un desequilibrio entre la extracción y la recarga del orden del orden de $61 \text{ hm}^3/\text{año}$, 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 Tepanco. Además de una disminución continua de la producción de las galerías filtrantes, de tal manera que su producción bajó de unos $230 \text{ hm}^3/\text{año}$, en los 80' a $129 \text{ hm}^3/\text{año}$ actualmente. Lo anterior a costa de incrementar el bombeo de $28 \text{ hm}^3/\text{año}$ a $128 \text{ hm}^3/\text{año}$ en el mismo periodo.

De tal manera que el volumen producido por las galerías ahora se obtiene de pozos, con el consecuente incremento de costos de bombeo que no existían anteriormente.

Aunado a lo anterior, la demanda para uso público urbano tiene un incremento de superior al 13% anual y la industria alimentaria, básicamente concentrada en

bebidas, actividad bien conocida como agua de manantial es muy importante en la región, representando un ingreso de más de 1,300 millones de pesos en el año 2000, el 71% de la industria manufacturera total en la región de Tehuacán. Además la producción avícola resulta por demás importante, produciendo en el año de 2002, el 44% y el 41% de la producción estatal de y huevo y pollo, respectivamente.

Ante el panorama descrito, los usuarios del agua en la región (COTAS) han realizado un gran esfuerzo para lograr este Plan de Manejo Integrado para el Aprovechamiento del Agua en el Acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

1.3 Justificación

Con el objeto de subsanar los problemas de sobreexplotación del acuífero Valle de Tehuacán 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 el *Plan de manejo integrado para el aprovechamiento sostenible del agua en el acuífero Valle de Tehuacán, Pue.*, el cual se sustenta en un marco legal señalado por la Ley de Aguas Nacionales. Dentro de este Plan, se propondrán reglamentos en la explotación, uso o aprovechamiento de la aguas nacionales;¹ además, se contempla 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.²

El Plan de Manejo se enmarca dentro de las políticas nacionales y locales sobre el uso y la conservación de los recursos hídricos. Dentro de los objetivos rectores y estrategias del Plan Nacional de Desarrollo se plantea un 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.

1.4 Nombre

Ante el interés de los usuarios y las autoridades del valle de Tehuacán, se presenta un *Plan de Manejo Integrado para el Aprovechamiento Sostenible del Agua en el Acuífero Valle del Tehuacán*, el cual se sustenta dentro del marco

¹ Artículo 39 del Título quinto de la Ley de Aguas Nacionales.

² Artículo 22 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

legal señalado en la Ley de Aguas Nacionales. Este Plan finca las bases para proponer reglamentos en la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales.³ Concebido con la participación de los usuarios, mediante la organización de los trabajos necesarios para formularlo y con el concurso de las distintas instancias de gobierno.

Dicho plan está basado en estudios técnicos sobre la disponibilidad del agua subterránea, superficial y residual, así como en estudios sobre la demanda de agua en la región. Complementado con talleres y discusiones con los representantes de los usuarios del agua, autoridades municipales, estatales y federales, así como invitados especiales representando a la sociedad en general.

El Plan se diseñó en un contexto participativo, mediante el método ZOPP, método que contempla un concepto de trabajo que propone cambios positivos en una situación problemática, sobre la base de un diagnóstico común y la concertación de metas, áreas de acción, acciones específicas y asignación de responsabilidades.

A través de una definición realista y clara de los objetivos, se definen las áreas de responsabilidad del equipo integrante del proyecto hasta establecer indicadores para su seguimiento y su evaluación.

1.5 Ubicación y delimitación geográfica

El acuífero Valle de Tehuacán, Pue. se localiza en la parte sur del estado de Puebla en los límites con el estado de Oaxaca, también limite al este con el estado de Veracruz.

Comprende 21 municipios, algunos municipios se encuentran dentro de la zona de estudio en forma completa y otro en forma parcial. La zona donde se ubica este acuífero tiene una extensión de aproximada de 3 750 km² comprendida entre las coordenadas 18.02° y 19.38° de latitud norte y los 97° y 97.56° de longitud oeste.⁴ La localización del acuífero se muestra en la Figura 1.

1.6 Participantes en la elaboración del Plan

Participaron en la elaboración del Plan instituciones federales y estatales así como representantes de las autoridades de los municipios involucrados en el área del acuífero. Dentro del grupo de planeación, el COTAS estuvo representado por los usuarios agrícolas, público urbano e industrial, así como representantes del sector académico e institucional.

³ Artículo 39 del Título quinto de la Ley de Aguas Nacionales.

⁴ Comisión Nacional del Agua. Gerencia de Aguas Subterráneas, 2002.

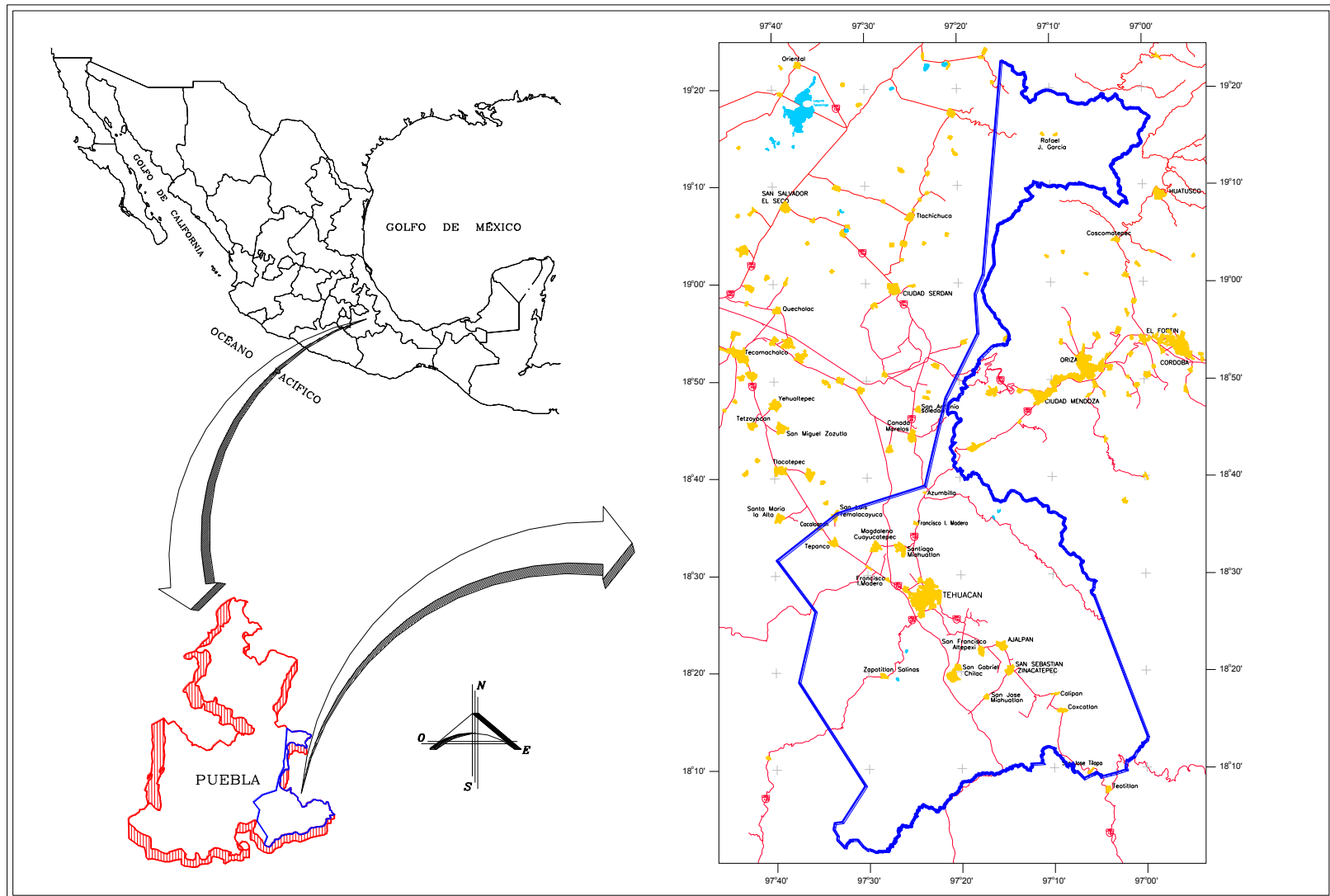


Figura No. 1 Localización del acuífero Valle de Tehuacan, Pue.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del *Plan de Manejo integrado para el aprovechamiento sostenible del agua en el Acuífero Valle de Tehuacán*, se fijaron en correspondencia con los usuarios del agua en el valle, definiendo el objetivo superior del Plan y el objetivo del proyecto. El cumplimiento de las acciones para llevar a cabo el Plan deberá realizarse en correspondencia con todos los sectores involucrados en la problemática.

2.1 Objetivo superior

El objetivo superior del Plan es “**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, en su situación actual y para garantizar el abasto del preciado líquido a las generaciones futuras.

2.2 Objetivos del Plan

El objetivo del Plan se definió como “**lograr el manejo adecuado del acuífero**”, lo que significa disminuir los abatimientos de los niveles del agua hasta su estabilización, de tal manera de conservar el almacenamiento del agua subterránea, considerado como un recurso no renovable y estratégico.

2.3 Objetivos estratégicos

Para cumplir con el objetivo del Plan de Manejo, se definieron cuatro objetivos estratégicos, que se enumeran a continuación:

- 1. Conocer la demanda y la disponibilidad**
- 2. Aplicar el marco legal**
- 3. Contar con una adecuada cultura del ahorro**
- 4. Disminuir la demanda e incrementar la oferta de agua**

Las tres primeras son un apoyo a la cuarta, que será la que realmente ayude a lograr la estabilización del acuífero, pero sin el apoyo de las primeras, será muy difícil llegar a un buen fin.

3. MARCO JURÍDICO

La observancia del Plan se compartirá entre las autoridades y los usuarios. Los usuarios estarán representados en el seno del COTAS, por lo tanto corresponderá a este comité, en gran parte, el seguimiento y vigilancia del cumplimiento de las acciones que realicen cada área en particular, ya sean sobre la demanda o sobre la oferta de agua.

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales en sus artículos 15 y 42, la reglamentación de la extracción, explotación y uso de las aguas nacionales, en el acuífero Valle de Tehuacán, se contempla realizar una programación hidráulica en conjunto con los

usuarios, la autoridad y los grupos sociales involucrados en la problemática de la región.

Los primeros esfuerzos para combatir la sobreexplotación del acuífero han sido las vedas implantadas desde el año de 1950, en prácticamente toda el área cubierta por los límites administrativos del acuífero. La primera veda impuesta fue decretada el 28 de junio de 1950 e incluye parcialmente a los municipios de Ajalpan, Altepexi, Chapulco, San Gabriel Chilac, San José Miahuatlán, Santiago Miahuatlán, Tepanco de López, Tehuacán, Zapotitlán y Zinacatepec. El 2 de marzo de 1959 se amplió la zona de veda, con esta ampliación se incluye totalmente a los municipios de Altepexi y de Santiago Miahuatlán, y parcialmente a los municipios de Coaxcatlán, Nicolás Bravo y San Antonio Cañada, además de los incluidos en la veda de 1950.

La Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, así como el Decreto de Veda, son los instrumentos legales que actualmente aplica la Comisión Nacional del Agua para llevar a cabo la administración del agua en el acuífero Valle de Tehuacán.

El acuífero presenta serios problemas derivados de la sobreexplotación, por lo que se hace necesario hacer una ampliación del marco legal, mediante la implementación concertada entre los usuarios de un Reglamento para la explotación y utilización de las aguas de dicho acuífero.

4. PRINCIPIOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL AGUA

Parte importante e incuestionable para el desarrollo y preservación de la vida son los recursos naturales, y específicamente los recursos hídricos, que en el caso del género humano requiere para su sustento y el progreso de su comunidad ubicada en su entorno; al respecto, y atendiendo al Programa Hidráulico Nacional y a las inquietudes de pobladores de la región de Tehuacán, Pue. interesados en la preservación del recurso hídrico, se ha considerado llevar a cabo el manejo del agua a través de un proceso de planeación, donde los principales autores sean los usuarios de dicho recurso, y en forma administrativa con apoyo al marco legal, las autoridades oficiales impulsen los trabajos a efectuar, para lograr un manejo del agua acorde a estos tiempos, en la cual la tecnología avanzada ofrece soluciones satisfactorias; asimismo, el proceso de planeación se plantea que sea realista, conforme a nuestros recursos técnicos y socio-económicos.

Con base a lo anterior el proceso de planeación se desarrolló considerando los siguientes principios básicos:

- El manejo del agua debe ser integrado y sustentable.
- El manejo integrado considera a las aguas subterráneas, superficiales y residuales, en cantidad y calidad.
- Se contempla un cambio en el enfoque para satisfacer las necesidades del recurso hídrico; pasando de uno basado en el incremento de la oferta, a otro que básicamente se orienta a la reducción de la demanda, a través de un uso eficiente

del agua, que considere la recuperación de pérdidas físicas y el reuso del agua residual tratada y sin tratar. Esto significa, que en orden prioritario, se contempla como alternativa de manejo, en primera instancia la integración de acciones sobre la reducción de la demanda.

- La situación de sobreexplotación implica la extracción y el uso del agua por una sola vez y es una cantidad finita, constituida por el agua que está almacenada en los acuíferos y forma una auténtica reserva, acción conocida en forma común, como el minado de un recurso natural no renovable.
- La participación e involucramiento de los usuarios y los representantes de las diversas instancias de gobierno involucradas, son esenciales, desde la caracterización y jerarquización de los problemas, hasta la definición y ejecución de las acciones para resolverlos.

5 DIAGNÓSTICO

5.1 Población y desarrollo socioeconómico

La zona de estudio comprende prácticamente a 21 municipios en el año 2000 la población en la zona de estudio alcanzaba casi los 546,000 habitantes, representando aproximadamente el 10% de la población total en el estado de Puebla, la cual para ese año era un poco mayor a 5 millones de personas. Una estimación de la población futura, indica que para el año 2030 la zona cubierta por el acuífero de Tehuacán albergará a casi 761, 000 habitantes, bajo las tendencias de crecimiento actuales, según se muestra en la Figura 2. ⁵

Cabe aclarar que la población asentada en el municipio de Tehuacán representa el 43% de la población total del acuífero, seguida por el municipio de Ajalpan con el 9%.

La expansión poblacional del valle de Tehuacán entre 1990 y el año 2000 fue de 2.9% anual, tasa sustancialmente superior a la observada en el estado de Puebla (2.1%) e incluso en México (1.8%) durante el mismo periodo. Si bien el valle de Tehuacán creció al 2.9% de 1990 a 2000 el Consejo Nacional de Población asume que la tasa de crecimiento bajará a 1.5% en la década de 2000 a 2010, adicionalmente el crecimiento sería de 1.1% y 0.8% en las dos décadas posteriores.

La población urbana dentro del valle de Tehuacán en el año 2000 correspondió al 46% de la población total, ⁶ porcentaje semejante al observado en el estado de Puebla (44%), e inferior al del país en su conjunto (61%). La población urbana en el valle se localiza mayoritariamente en el municipio de Tehuacán, seguido de Ajalpan y Attepechi.

⁵ Conapo.gob.mx

⁶ Censo de Población 2000

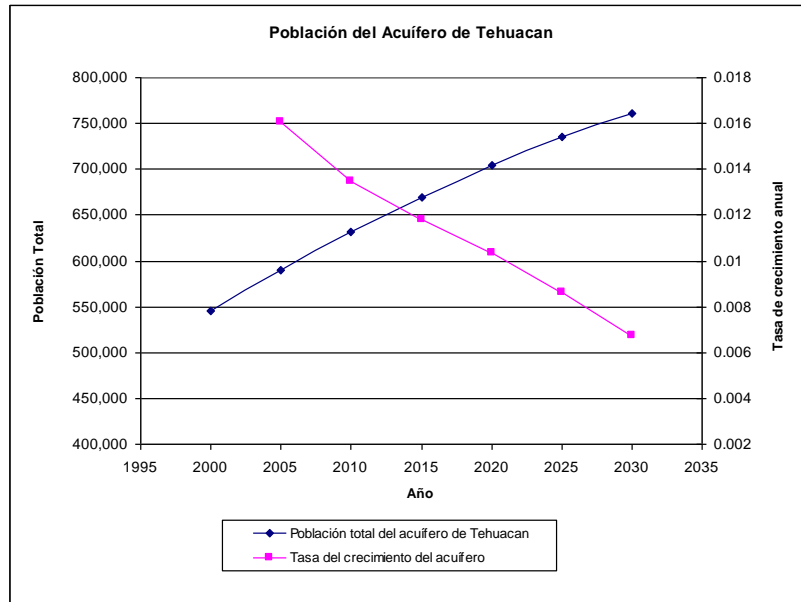


Figura No. 2 Población actual y futura en los municipios que integran la zona de Tehuacán, Pue.

En el año 2000, en localidades semiurbanas, con 2,500 a 14,999 habitantes residieron el 19.4% de la población del valles de Tehuacán. La ruralidad en el valle es sobresaliente, en el año 2000 representaron el 34.7% de la población, superior al estado de Puebla (23.9%) y al país en su conjunto (25.4%).

La expansión demográfica del valle de Tehuacán básicamente se registra en las localidades urbanas, las cuales crecieron al 4.5% entre 1990 y 2000, tasa superior a la del estado de Puebla (2%) y a la de México (1.7%). El municipio de Tehuacán encabeza el ritmo de crecimiento en el valle con 3.9% anual, y el segundo lugar Ajalpan con 3.2%.

Con respecto a la población ocupada en el valle de Tehuacán, ésta abandona su preeminencia agropecuaria, a juzgar por el empleo de sus residentes, al expandir tanto en términos numéricos como relativos al personal ocupado en manufacturas y servicios.

A nivel municipal, el peso de Tehuacán como residencia laboral es por demás destacada. En el año 2000, por sí solo, representó prácticamente la mitad del empleo regional (49.7%). Al mismo tiempo, concentra el 71.9% del empleo en el sector servicios, y el 62.4% en las manufacturas. Por lo que se refiere al sector agropecuario, el propio municipio de Tehuacán detenta un 11.1% del empleo del valle en su conjunto, con lo cual se confirma su primacía comercial y manufacturera dentro del valle.

Con base en los datos de 1998, el valle de Tehuacán, con sus 21 municipios, alcanzó un PIB de 14,544 millones de pesos, representando el 8.4% del PIB estatal, al tiempo que fue la residencia del 10.2% de la población en el estado. El correspon-

diente PIB per cápita en el valle fue de 29,163 pesos, inferior al observado en el estado (35,461 pesos), y al del país (47,982 pesos).

En el valle, el sector servicios fue el más importante en el año 1998, con 63.9% del total. El sector secundario aportó 24.1% al PIB local, y el remanente 12% se generó en el sector primario. Dentro de este último, contrasta la reducida participación de la agricultura (1.8%), con la preponderancia de las actividades pecuarias, las cuales alcanzaron el 10.1% del PIB generado en el mismo valle.

En cuanto a la tenencia del suelo agrícola irrigado, más de la mitad de los predios (53%), y el 49.7% de la superficie, corresponden a propiedad social, con 2.7 Has. en promedio. La propiedad privada promedió 1.9 has por parcela, abarcando 35.8% de la superficie, y el 35.4% de las unidades de producción. El minifundismo viene a constituirse como la forma de propiedad prevaleciente en el valle, tanto en el ámbito social, como en el privado.

En el año 2002, la producción agrícola en el valle fue de 374 millones de pesos, correspondiendo el 69.6% a riego, y el 30.4% restante a temporal. En riego, se cultivaron 24.2 mil hectáreas, de las cuales 14.9 mil (61.6%), se cultivaron en el ciclo Primavera-Verano, y 5.9 mil en Otoño-Invierno. A cultivos perennes bajo riego se destinaron las 3.4 miles de hectáreas restantes.

La producción bajo riego está altamente concentrada en un reducido número de cultivos. En el ciclo Otoño-Invierno, el elote concentró 55.9% del valor de la producción, y 69.3% de la superficie cosechada. Aunado al ajo, jitomate, maíz y tomate verde, se utilizó el 95% de la superficie, representando el 93.3% del valor de la producción. Contrasta la heterogeneidad en cuanto al valor de la producción, pues el ajo, jitomate y tomate verde arrojan un promedio de 44.9, 54.8 y 63.7 mil pesos por hectárea, respectivamente. Mientras tanto, en elote y maíz se alcanzaron 8 mil y 3.8 mil pesos por hectárea, respectivamente. En promedio, en el ciclo se obtuvieron 10 mil pesos por hectárea, inferior a los 18.3 que se obtuvieron en dicho ciclo, en la entidad.

En el ciclo Primavera-Verano bajo riego, se observa un patrón semejante de concentración de la producción. En 2002, el maíz ocupó el 39.3% de la superficie cosechada, aportando el 30.5% del valor de la producción. Junto con el elote, jitomate, chile seco y tomate verde, cubrieron el 91.9% del valor de la producción, y el 91.5% de la superficie cosechada. Si bien el promedio por hectárea para todos los cultivos es de 7.3 miles de pesos, el jitomate y el tomate verde arrojaron 50.2 y 71.1 miles de pesos por hectárea, respectivamente. En el caso del chile seco, fue de 17.9 mil pesos por Ha. Por lo que se refiere a maíz y elote, el rendimiento por unidad de superficie fue de 5.6 y 4.3 miles de pesos, respectivamente, por Ha. En promedio, en este ciclo se produjeron 7.3 mil pesos por ha., inferior a la media estatal (15.3 mil pesos/ha.)

Los cultivos cíclicos irrigados destacan, en promedio, por su baja densidad económica, con lo cual el uso actual de la tierra irrigada en el valle, conlleva oportunidades de ingreso pecuniario pendientes de utilizar. Existen potencialidades de producción no

desplegadas, en el propósito de valorizar la dotación de recursos naturales, acometiendo oportunidades de cultivos de mayor rentabilidad en el valle de Tehuacán.

Los cultivos perennes bajo riego se constriñen a caña de azúcar y alfalfa verde, en 2002. El primero contribuyó con el 56.1% de la superficie, y el 61% del valor de la producción, con un valor de 29.7 mil pesos por hectárea. En el caso de la alfalfa, utilizó el 43.8% de la superficie, y generó el 39% del valor de la producción, con 24.3 mil pesos por hectárea. El valor promedio de ambos cultivos es de 27.3 mil pesos, 7% superior al promedio del estado (25.4 mil pesos) en este grupo de cultivos.

La agricultura de temporal abarcó un total de 47 mil hectáreas en 2002. En el ciclo Primavera-Verano se cultivaron 44 mil hectáreas, y 2.3 mil Has. a perennes. Marginalmente, se cultivaron 854 hectáreas en Otoño-Invierno, en tierras de jugo o humedad, con un rendimiento promedio de 16 pesos por Ha., incluyendo cultivos de papa, tomate verde y haba verde, en orden de importancia. Por lo que se refiere al ciclo Primavera-Verano, refleja una agricultura errática y de subsistencia, con un valor de la producción media de 700 pesos por hectárea. En cuanto a perennes de temporal, la manzana ocupó el 51.6% de la superficie, y el 13.1% del valor de la producción. Junto con el café cubren el 91.9% del valor, y el 97.6% en cuanto a superficie cosechada. Valga añadir que la manzana logró valores de 9.8 mil pesos por hectárea, mientras que en café, el monto correspondiente es de 1.2 mil pesos por ha.

En 2002, la producción pecuaria fue de 2,831 millones de pesos. Es decir, 7.6 veces mayor a la producción agrícola tanto de riego como de temporal. Por lo que se refiere a la producción ganadera, el 75.7% de la producción del valle es avícola. Huevo y pollo participan con el 38.9% y 36.8% del total, respectivamente. La producción porcina fue de 16.7%. La leche y la carne de bovino aportaron el 4.5% y el 1.8% del valor de la producción ganadera total en el valle. Valga agregar que dicho valle participó en el año de referencia, con el 42.1% de la producción avícola en el estado, y con el 25.3% de la porcina. Con estos logros, el valle de Tehuacán se confirma como región preponderantemente pecuaria, por lo que se refiere al sector primario, al tiempo que la agricultura, en contraste, tiene un peso por demás reducido.

La producción manufacturera en el valle de Tehuacán se concentra básicamente en textiles y calzado, con 49.2% de los 2,857 millones de pesos generados en 1998, por una parte. Por otra, la industria alimentaria aportó el 46.7% del total. El resto de actividades, conformadas por la industria química, productos metálicos, maquinaria y equipo, minerales no metálicos y otras industrias, conjuntamente representan el 4.2% remanente. Por lo que se refiere a la producción de textiles y calzado, 75% se generó en el municipio de Tehuacán, y 13% en el de Ajalpan, poniendo de manifiesto la concentración geográfica en la cual se desarrolla dicha producción.

En el sector alimentario, de los 1,333 millones de pesos generados en 1998, el 71.1% corresponde a la elaboración de bebidas, vinculados al embotellamiento local de agua de manantial, efectuada en el propio municipio de Tehuacán. En un segundo plano aparecen los forrajes, con el 15.7% del total, agregando un valor de 209,194 millones de pesos. Dado el valor de la producción pecuaria, los determinantes de in-

sumos forrajeros son elaborados fuera del valle. La tercera industria alimentaria son los cárnicos (6.3%), en tanto procesamiento de los productos locales. Dado el monto (84.3 millones de pesos), dicho procesamiento sería para el abasto local, al igual que el nixtamal y tortillas (4.5% del total alimentario), y los procesos de panificación (1.6%).

La producción manufacturera en el valle se caracteriza por una concentración de la producción en un reducido número de actividades, con poca integración local de las mismas. La importancia pecuaria alcanzada, constituye una perspectiva para desarrollar procesos de producción de insumos para esta actividad, en el propósito de fortalecer el ámbito manufacturero que trascienda los textiles y los procesos de elaboración de bebidas.

La inercia del crecimiento económico ha especializado al valle en la provisión de servicios, así como en la manufactura de textiles y elaboración de bebidas, concentradas estas últimas en torno al municipio de Tehuacán. Ha logrado especializarse exitosamente en la producción pecuaria, frente a una agricultura de riego varias veces más pequeña y con reducida densidad económica. Tomando en cuenta el ímpetu demográfico experimentado, particularmente en el ámbito urbano, tiene ante sí la necesidad de asegurar el crecimiento de dichos sectores, particularmente la agricultura, el cual puede constituirse en impedimento para el propio valle, a juzgar por las disponibilidades del acuífero en el que se asienta.

5.2 Programas relativos al manejo del agua

Existen pocos programas que tomen en cuenta aspectos relativos a un ahorro real en el uso del agua. Uno de los programas implantado por la Comisión Nacional del Agua, se refiere al *uso eficiente del agua y la energía*. Este programa contempla dos modalidades en dos etapas subsecuentes, la primera se refiere al ahorro de la energía, que consiste en mejorar la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo de los pozos, cuando han llegado a una eficiencia menor al 40%. Normalmente el apoyo consiste en subsidiar el 50% del costo de la reparación y algunas entidades federativas otorgan apoyos adicionales.

Según los informes de la CNA, en la zona de Tehuacán, en los últimos cinco años se han invertidos del orden de 2.4 millones de pesos anuales, con un subsidio equivalente al 50% de esta erogación. El restante 50% es aportado por los usuarios.

Con el programa denominado uso pleno de la infraestructura hidroagrícola, a cargo de la CNA, durante los últimos cinco años se han perforado y equipado algunos pozos, en algunos casos se han construido canales desde el pozo a la zona de cultivos, la inversión ha sido un poco menor al programa anterior, de 0.9 millones de pesos anuales, con la misma componente aproximadamente de 50% de subsidio y 50% de aportación de los usuarios.

Uno de los apoyos más importantes lo representa la tarifa eléctrica para las actividades agrícolas. En el año 2002, la tarifa media a nivel nacional para el sector agrícola

fue de \$0.31/kwh ⁽⁷⁾. Según datos de la CFE la tarifa real debería ser entre \$0.70/kwh y \$0.92/kwh ⁽⁸⁾, aplicando estos números al consumo nacional, resulta un subsidio del orden de 5,000 millones de pesos anuales. Según la misma referencia, existen unos 95,000 usuarios de esta tarifa, por lo tanto el apoyo a los agricultores representa del orden de \$50,000/usuarios al año, en promedio. Indudablemente este subsidio no apoya en forma real a un ahorro del agua.

Este subsidio a la energía para los 3 500 usuarios en el estado de Puebla, representa del orden de un poco más de \$43,500/usuarios, cada año. Cabe aclarar que actualmente sólo 548 agricultores de un total de 929 tienen en regla sus asuntos con la Comisión Federal de Electricidad, los demás tienen el riesgo de perder el derecho a este subsidio por problemas en la actualización de sus concesiones.

Programas adicionales como el de *zonas de sequía recurrente, uso pleno de la infraestructura hidroagrícola, desarrollo parcelario*, basan su apoyo en mejorar los sistemas de riego en general, aspecto que indudablemente incrementa la productividad y el ingreso del agricultor, pero sin la condicionante del ahorro del agua; es decir, no tiene un impacto real en el ahorro del agua.

Por lo que respecta al uso público urbano, existen varios apoyos, pero no son tan transparentes como en el caso de los agricultores. Consisten básicamente en el financiamiento a la infraestructura por parte del Gobierno Federal y el Estatal. Recientemente el más importante consiste en el regreso a los organismos operadores de los derechos pagados a la CNA, para diferentes programas que los mismos organismos proponen. Más que un impacto directo al ahorro del agua se han destinado a cubrir los déficits de abastecimiento a las poblaciones.

5.3 Climatología

El clima en la zona de acuerdo a Wilhem Köppen y modificado por Enriqueta García ⁹ corresponde a varios tipos, en la parte norte se tienen principalmente tres climas: templado húmedo con lluvias en verano, semicálido húmedo con lluvias todo el año y semifríos subhúmedos con lluvias en verano. En la parte central del acuífero, en la zona de los poblados de Azumbilla y Francisco I Madero, se tiene un clima semiseco templado y más hacia el sur en las inmediaciones de la ciudad de Tehuacán se presenta un clima semiseco semicálido mientras que en el extremo sur del acuífero se presenta un clima seco semicálido. En los límites este y oeste del acuífero se presenta un clima templado subhúmedo (Figura 3).

⁷ Comisión Federal de Electricidad. cfe.gob.mx/www2/queescfe/notaqueescfe.asp 2002.

⁸ Comisión Nacional del Agua, Subdirección General de Operación. Efecto de la tarifa eléctrica 09 y 09M bombeo de agua para riego agrícola en las Unidades de Riego. Abril de 2002.

⁹ Secretaría de Programación y Presupuesto. Atlas Nacional del Medio Físico. 1981

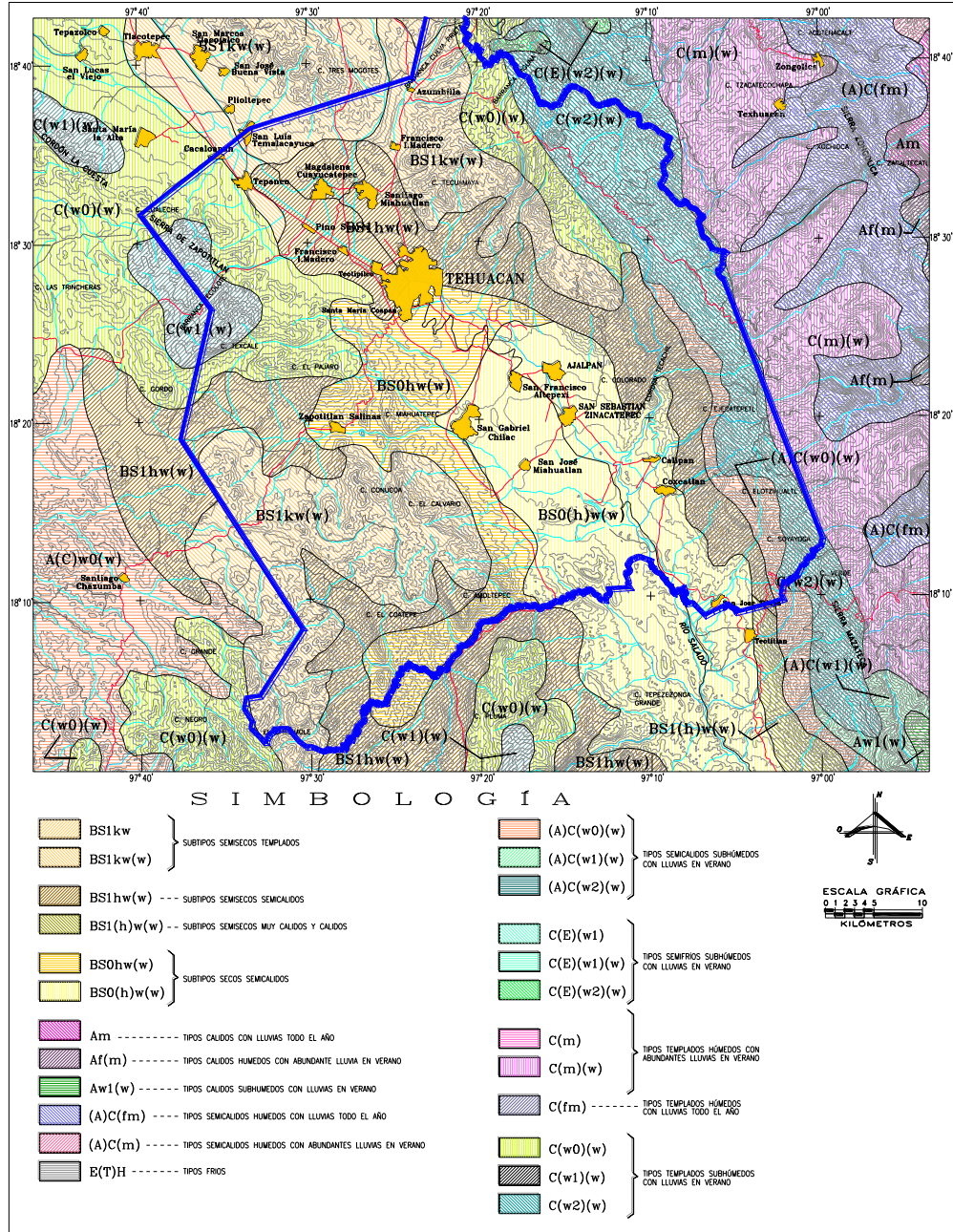


Figura No. 3 Distribución de climas

De conformidad con la información obtenida en el INEGI,¹⁰ la precipitación promedio anual de la zona de estudio varía de 400 a 2000 mm/año (Figura 4). En la parte norte del acuífero se tienen las mayores precipitaciones las cuales llegan a ser de hasta 2000 mm/año y de ahí disminuyen hacia el sur. En el área de Tehuacán se tiene una precipitación de 470 mm/año y sigue disminuyendo hasta llegar a los 400 mm/año en

¹⁰ Secretaría de Programación y Presupuesto. Atlas Nacional del Medio Físico. 1981

los límites con el estado de Oaxaca. De acuerdo con la distribución de la lluvia se puede considerar un promedio 450 mm/año en la zona de explotación del acuífero.

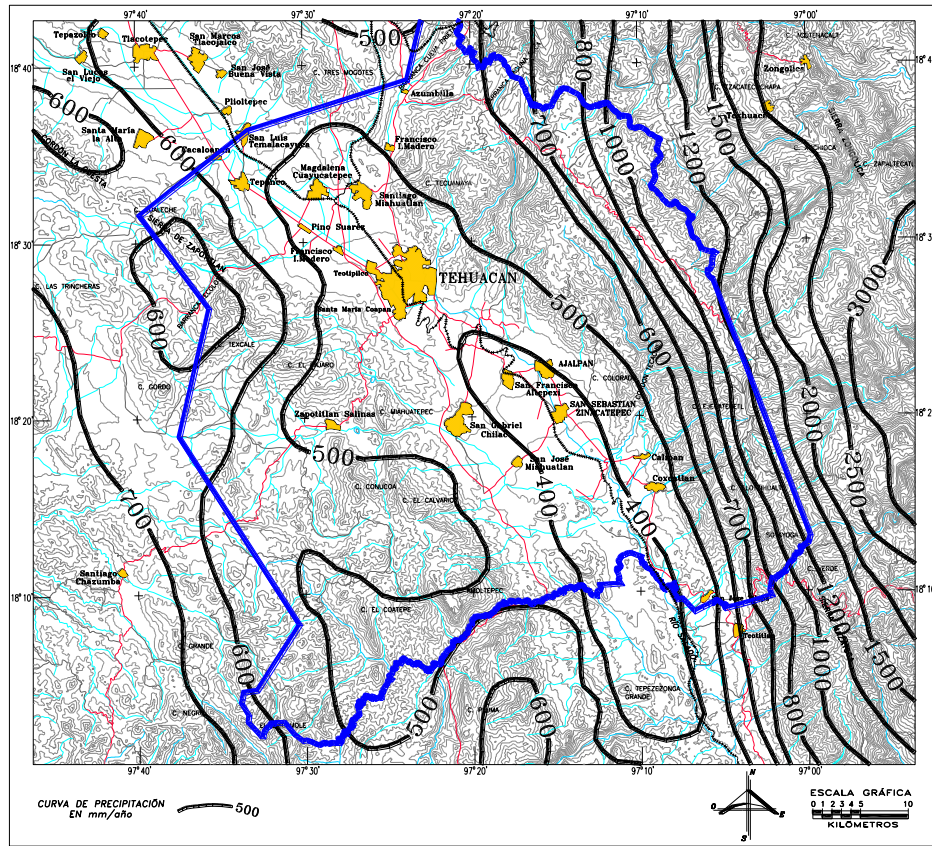


Figura No. 4 Precipitación media anual en mm/año

Las temperaturas medias anuales oscilan entre 20°C y 22°C, correspondiendo a la zona de Tehuacán un valor medio de 20°C. La temperatura mínima se localiza en la parte norte del acuífero en el Pico de Orizaba, mientras que las máximas se localizan en la parte sur en las inmediaciones de los límites con el estado de Oaxaca.

5.4 Recursos hídricos y su distribución territorial

Los recurso hídricos se localizan en la parte central del acuífero, en la parte más amplia del mismo, aunque los valores más altos de precipitación ocurren en la parte norte. Sin embargo el desarrollo económico y poblacional se han concentrado en la parte sur, de tal manera que tanto el uso como la ocurrencia de los recursos hídricos se da en los municipios cercanos al de Tehuacán, en donde se asienta casi el 80% de la población. Asimismo, ocurre mas del 90% de los recurso hídricos aprovechables, ya que si bien es cierto que la precipitación es alta en las demás zonas, mas bien funcionan como zonas de recarga, no solo al acuífero Valle de Tehuacán, sino a los vecinos situados al sur.

5.5 Aguas subterráneas

5.5.1 Geología y unidades geológicas

En la Figura 5 se muestra la geología superficial de la zona donde se localiza el acuífero Valle de Tehuacán. Superficialmente, la columna estratigráfica de la región de Tehuacán presenta una notable diversidad de rocas asociadas con ambientes continentales y marinos, así como a procesos de metamorfismo. A continuación se describirán las unidades más importantes en la zona.

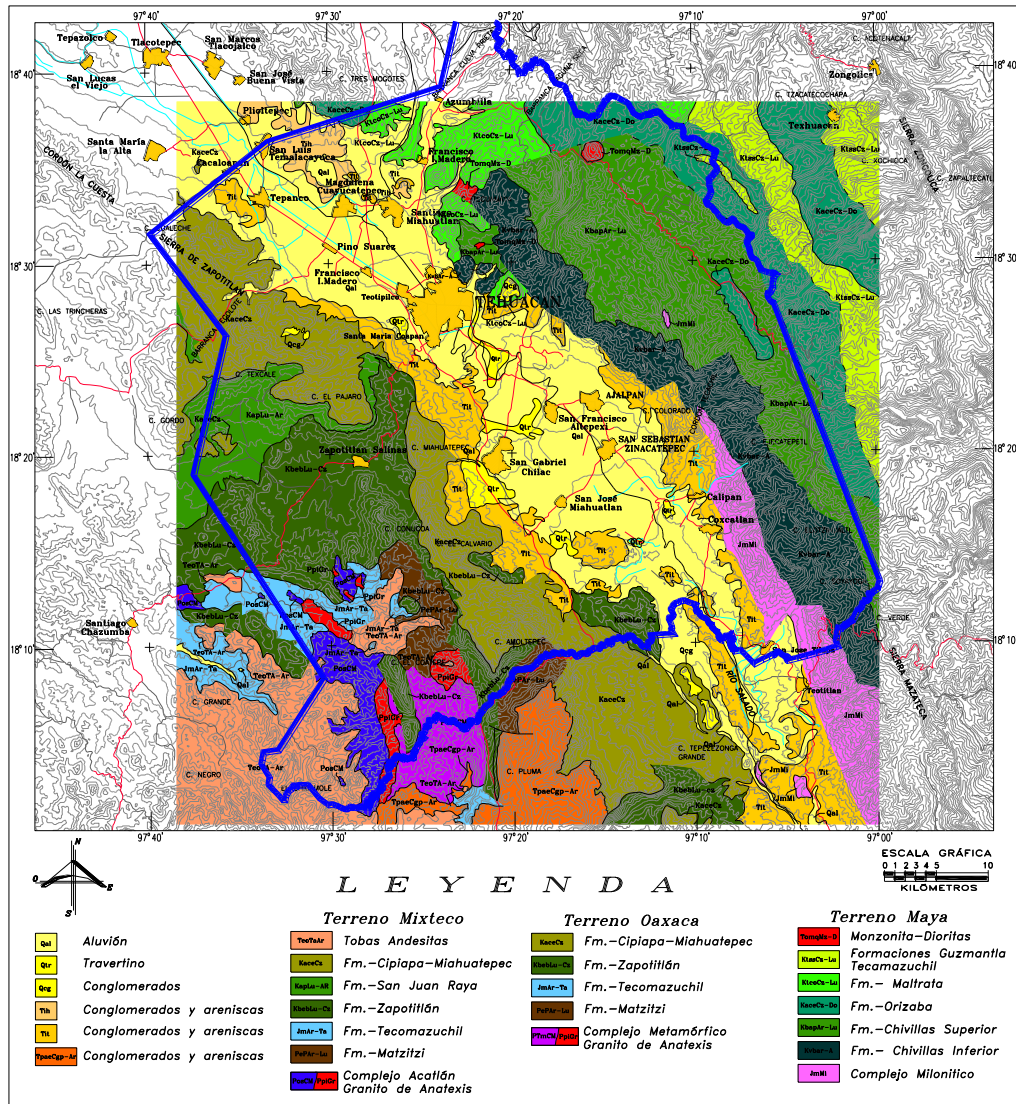


Figura No. 5 Plano Geológico

Las rocas del basamento esta constituidas por el Terreno Oaxaca, el cual esta formado de anortositas charnokitas (granitos de hiperstena) y ortogneis, los afloramientos de estas rocas se encuentran localizadas hacia el extremo suroccidental del área.

Con respecto al basamento del Terreno Mixteco, ((PoCM), este corresponde con el denominado Complejo Acatlán, constituido por eclogitas, anatexitas, milonitas y serpentinitas. En la zona de contacto entre ambos terrenos (Oaxaca y Mixteco) se presenta un granito de anatexis (PpiGr). Las rocas más antiguas que se encuentran en la base del Terreno Maya, corresponden con la unidad tectónica denominada por el COREMI (op.cit.) Complejo Milonítico (JmMi), cuyos afloramientos se encuentran localizados hacia la porción suroriental de la zona estudiada.

Rocas sedimentarias continentales paleozoicas y jurásicas. Tanto los sedimentos paleozoicos de la Formación Matzitzi (PcPpAr-Lu) como los que constituyen a la Formación Tecomazuchil (JmAr-TA), corresponden con secuencias continentales, comúnmente denominadas lechos rojos, que consisten de intercalaciones de areniscas, lutitas y conglomerados.

Rocas sedimentarias marinas

Cuenca Tlaxiaco

Formación Zapotitlán. Es la más antigua dentro de las unidades depositadas en la Cuenca de Tlaxiaco esta formada por una secuencia de lutitas intercaladas con ocasionales bancos margosos, dentro del área de estudio sus afloramientos se distribuyen hacia sus sectores centro oriental y meridional.

Formación San Juan Raya Aptiano Inferior (KapLu-Ar). Secuencia clástica con abundantes fósiles, sus afloramientos se localizan en la parte centro oriental del área; en donde esta conformada principalmente por lutitas calcáreas de color gris verdoso que intemperiza en verde amarillento; estas rocas se intercalan con areniscas de grano fino a medio con cementante calcáreo dispuestas en estratos delgados de 3 a 20 cm de espesor. Dentro de esta secuencia clástica en ocasiones se llegan a manifestar lentes de coquinas arenosas con abundantes ostras.

Formación Miahuatepec Aptiano Superior. Secuencia de calizas que se distribuyen en una franja que se extiende desde la parte centro meridional hasta extremo noroccidental. Está constituida por calizas de textura wackestone-packestone, ligeramente recristalizadas, colores gris oscuro, gris y café, dispuestas en estratos de 10 a 30 cm de espesor, con intercalaciones de lutitas y calizas masivas; en la base se observan bandas de pedernal de 3 a 5 cm de espesor asimismo se ve afectada por fracturas espaciadas a menos de 1.00 m.

Formación Cipiapa. Albiano-Cenomaniano. Sus afloramientos se distribuyen hacia la parte centro meridional y noroccidental del área en donde constituyen las sierras Cordón, La Cuesta y parte de la de Zapotitlán. Está compuesta por calizas de textura packestone color café claro, en estratos masivos con gran cantidad de macrofauna constituida principalmente por rudistas, esponjas y corales; contiene intercalaciones de estratos de textura mudstone-wackestone, color gris claro en capas de 1 a 2 m de espesor.

Cuenca Cuicateca

Formación Chivillas Cretácico Inferior Neocomiano-Aptiano. Es una potente sucesión de capas interestratificadas de lutitas, filitas, pizarras, areniscas y escasos conglomerados de edad Valanginiano Superior-Barremiano, que afloran ampliamente al oriente de Tehuacán, Pue.

Miembro Inferior (KvbeAr-A). Se ubica hacia el sector nororiental del área. Se compone por una serie de areniscas con intercalaciones de andesitas y “pillow” lavas, materiales que se encuentran subyaciendo al miembro superior de la formación a lo largo de toda su extensión longitudinal; por otra parte hacia el extremo suroriental del área está sobrepuesto por las rocas del Complejo Cuicateco por medio de una falla de cabalgadura.

Miembro Superior (KbapAr-Lu). Consiste de un potente paquete de metacuarcitas y filitas, subiendo estratigráficamente la litología varía a una secuencia poco plegada y exhibiendo un incipiente metamorfismo, que consiste en una alternancia de lutitas filitizadas de color gris verdoso y areniscas del mismo color, de grano fino a medio, cementadas por carbonato de calcio. En términos generales, los estratos varían de medios a gruesos que en promedio definen estratos de 5 a 15 cm de espesor, aunque ocasionalmente se logran observar estratos de hasta 90 cm de potencia de horizontes de lutitas parcialmente filitizadas, estos horizontes llegan a mostrar fuerte contaminación de material calcáreo.

Cuenca de Zongolica

Formación Orizaba Cretácico Medio Albiano-Cenomaniano (KaceCz-Do). Consistente en calizas de color gris claro a café, que por su textura pueden ser divididas en dos facies, la facie arrecifal y facie subarrecifal. Los afloramientos de esta Unidad se encuentran distribuidos en la parte norte y en el extremo nororiental el área de estudio.

Formación Maltrata Cretácico Superior Cenomaniano-Turoniano (KtcoCzLu). Secuencia de sedimentos calcáreo-arcillosos, microcristalinos, compactos, de color gris oscuro y café oscuro, bandeados, con nódulos, lentes y bandas de pedernal negro y gris humo, en capas de 20 a 40 cm de espesor, con eventuales intercalaciones arcillo-bentoníticas de color gris oscuro. Esta formación se encuentra dentro del área de estudio en su parte centro septentrional.

Debido a que en la información cartográfica utilizada no diferenciaron las Formaciones Guzmantla y Tecamalucán, del Cretácico Superior Turoniano-Senoniano, éstas se agruparon bajo la nomenclatura (KtssCz-Lu). La primera Formación se constituye por una secuencia de packstone de peletoides oolitas y bioclastos dispuestos en capas gruesas hasta de 1 metro de espesor; en tanto que la segunda esta constituida por intercalaciones de estratos delgados de calizas arcillosas y lutitas. Los afloramientos de estas unidades son escasos y se distribuyen en el extremo nororiental del área estudiada, en donde se encuentran en contacto concordante con las rocas de la Formación Orizaba.

Sistema Terciario

Terciario Inferior

Formación Tehuacán. (Paleoceno-Eoceno) (Tit). Está compuesta por rocas con una gran variedad granulométrica, mezclada en diferentes proporciones. Su parte inferior está dada por un conglomerado con matriz arenocalcárea bien litificada, el cual está constituido por fragmentos de diversos tamaños y litología (desde el tamaño de grava hasta cantos de 1.0 m Ø), cuyas formas varían de angulosos a redondeados; se presenta en estratos gruesos a masivos (mayores a 0.80 m), teniendo también lentes arenosos y arcillo-arenosos. La parte media de esta formación la constituye un paquete eminentemente lacustre, en el que predominan las calizas y lutitas, con capas de anhidrita y bentonita, teniendo todo el conjunto un color crema y verdoso, este último debido a los estratos de bentonita que exhiben espesores de 20 a 30 centímetros. La parte superior de la formación está constituida por limolitas y areniscas, en estratos de 10 a 40 cm de espesor, color café claro y crema, teniendo también algunos horizontes de bentonita.

Sus afloramientos bordean prácticamente toda la porción noreste, norte y sureste del valle de Tehuacán por su margen izquierda; observándose al noreste de Santiago Miahuatlán que la porción superior subyace a la Formación Huajuapán. En una porción de la margen derecha, entre San Gabriel Chilac y San Juan Atzingo, se puede observar toda la secuencia de esta formación, desde la base conglomerática, hasta las porciones media y superior, constituidas por calizas lacustres, areniscas y limolitas. También afloran en el centro del valle, donde dan lugar a elevaciones de poca altura, apreciándose en cortes de la nueva autopista a Oaxaca, en las paredes y fondo de algunas barrancas labradas por arroyos y en las galerías filtrantes.

Rocas de características similares se cartografiaron hacia la parte meridional del área en donde se presentan en afloramientos aislados, identificados con la nomenclatura TpaeCg-Ar.

Formación Huajuapán. Oligoceno-Mioceno (Tih). Compuesta por fragmentos de cuarzo lechoso, areniscas, calizas y esquistos; de forma angulosa a subredondeada, y con tamaños de entre 0.01 y 0.80 m de diámetro, empacados en una matriz arenconglomerática, mediana a bien consolidada, color rojizo, en capas que varían de 1 a 5 m, predominando las de tamaño intermedio. Sus afloramientos se distribuyen en el borde oriental del área, conformando parte de las laderas del valle y subyaciendo a la Formación Tehuacán; se observan también en el borde occidental, al poniente de San Juan Atzingo, donde suprayacen a la Formación Tehuacán. Las características granulométricas de estas rocas y su selección y redondez, indican que son abanicos aluviales y depósitos de pie de monte.

Rocas ígneas

Dentro del área se tienen escasos afloramientos de este tipo de rocas; localizándose una secuencia de tobas andesíticas (Teo Ta-Ar) hacia su extremo suroccidental; área en donde se encuentran cubriendo discordantemente a diversas formaciones, dentro de las cuales se encuentran las rocas metamórficas del Complejo Acatlán y, las secuencias sedimentarias de las Formaciones Zapotitlán y Tecomazuchil; la edad de estas rocas queda comprendida dentro del intervalo Eoceno-Oligoceno.

Por otra parte en el extremo norte del área sobre el Terreno Maya se manifiestan afloramientos aislados de pequeños cuerpos de composición Monzonítica-Dacítica, en donde se encuentran intrusionando a las rocas de las Formaciones Chivillas y Maltrata; a estos materiales ígneos se les asignó una edad Terciario Oligoceno-Mioceno (TomMz-D).

Cuaternario

Depósitos Aluviales (Qal), Travertinos (Qtr) y Pie de Monte Q(cg). Los depósitos aluviales manifiestan una gran variabilidad en su granulometría y tipo de rocas, ya que son producto de la erosión, transporte y acumulación de las rocas preexistentes; varían desde arcillas, limos y arenas, hasta gravas y peñascos. Ocurren en toda la superficie del valle, con espesores máximos de unos 10 m y definen, en general, permeabilidades medias a altas, por lo que favorecen la infiltración tanto del agua precipitada como de la aplicada para el riego.

Los travertinos fueron depositados y lo son aún, por la precipitación del carbonato de calcio y/o magnesio, al liberarse el ácido carbónico y romperse la solución por el descenso de la presión al salir el agua a la superficie, pero en general marcan una zona de afloramiento de manantiales propiciados por el ascenso del agua en las goteras de Tehuacán, debido a la existencia de rocas de baja permeabilidad, pertenecientes a la porción superior de la Formación Tehuacán, por lo que se consideran evidencia de zonas de extensos afloramientos de agua, que aún en la actualidad se manifiestan.

5.5.2 Funcionamiento del sistema acuífero

Las recargas naturales que alimentan al acuífero provienen de varias fuentes una de ellas es el 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 este del acuífero.

Otra parte de la recarga es por flujo subterráneo por la parte norte del acuífero. De acuerdo con las configuraciones de la elevación del nivel estático, se observa que las zonas en donde se presentan las máximas elevaciones están ubicadas hacia las partes norte y nororiental del área, en tanto que los valores menores se ubican hacia la parte suroriental, estableciendo un patrón de circulación del flujo en una dirección de NW a SE. Por otra parte, se considera que existen aportaciones por flujo en el medio fracturado a través del cañón que desemboca en el poblado de Santiago Miahuatlán, presentando un gradiente hidráulico fuerte; características un tanto similares en la distribución de las curvas de igual elevación se aprecian en los cañones localizados al oriente de la ciudad de Tehuacán, por lo cual se interpreta que en esta zona también se tienen aportaciones de agua subterránea al acuífero dentro del medio fracturado. En lo que respecta a la sierra ubicada sobre el flanco suroccidental del valle, de acuerdo a la configuración, se tienen aportaciones al acuífero a través del arroyo Zapotitlán. 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.

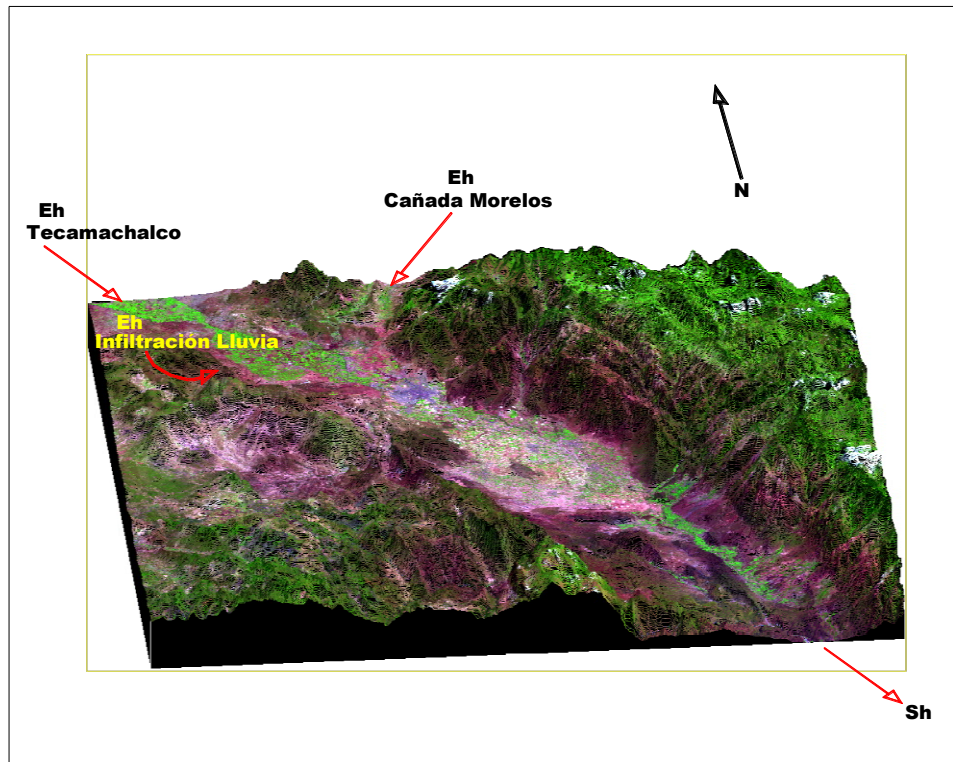


Figura 6 Funcionamiento del acuífero (Entradas horizontales)

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.

Por otro lado el acuífero presenta salidas de agua, las cuales se realizan por diferentes medios como los son las galerías filtrantes, manantiales y el bombeo, y otra parte por medio de flujos horizontales subterráneos, localizados principalmente hacia los límites de la zona sur del acuífero.

Las descargas por galerías filtrantes son muy importantes en esta zona ya que corresponden al 41% del volumen extraído por los diferentes aprovechamientos. También los manantiales son importantes en este acuífero ya que ellos aportan el 25% del volumen extraído.

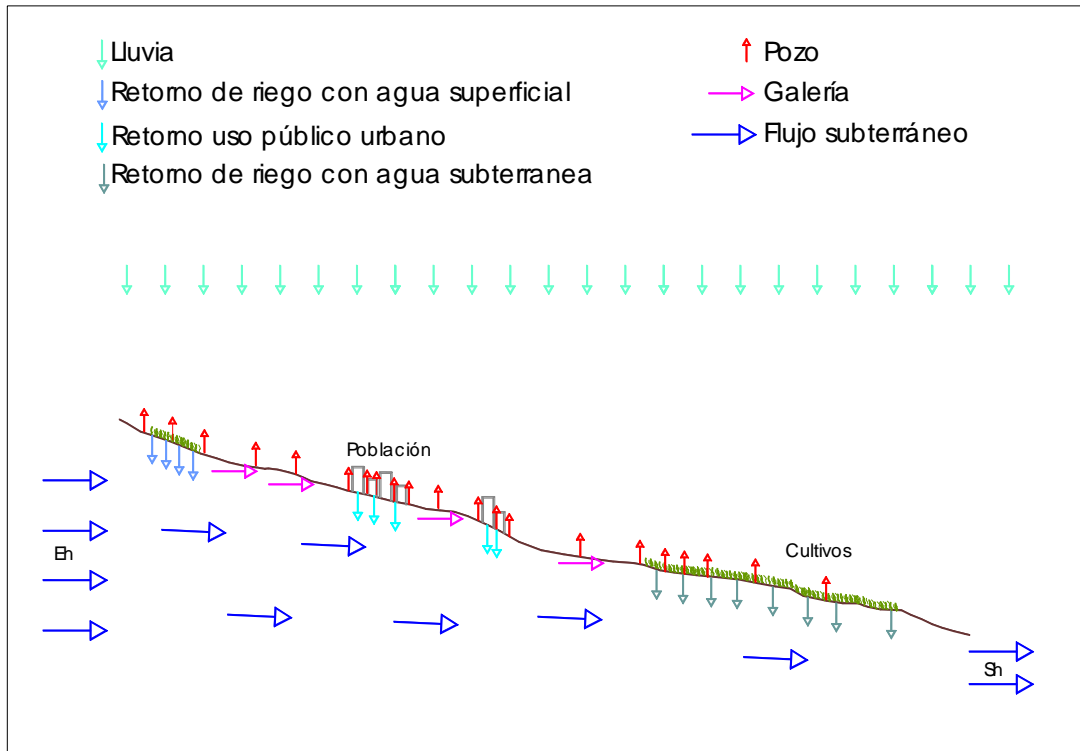


Figura 7 Funcionamiento del acuífero

5.5.3 Caracterización de los aprovechamientos e hidrometría

Respecto a las características constructivas de los aprovechamientos de agua subterránea, la profundidad de perforación resulta ser en promedio de unos 72 m, un diámetro de descarga de cuatro pulgadas, todos obtenidos de los archivos reportados por los usuarios en el REPDA.

El censo de aprovechamientos de agua subterránea mas reciente corresponde al realizado en el año 2001 abarcó una zona mucho más amplia que el actual límite del acuífero Valle de Tehuacán, por lo que se acotó a dicho límite arrojando los resultados que se muestran en las Tablas 1 y 2 ⁽¹¹⁾.

Como se puede observar en la Tabla 1, dentro del acuífero Valle de Tehuacán hay un total de 275 aprovechamientos siendo la mayoría pozos. Del total de aprovechamientos 159 están destinados al uso agrícola, el cual es el mayor usuario del agua subterránea.

¹¹ CNA, Estudio Geohidrológico de los Acuíferos de la Cañada Poblano–Oaxaqueña, y Sierra de San Andrés en el Estado de Veracruz, Ariel Consultores, S.A., 2001

Tabla No. 1 Número de aprovechamientos activos localizados en el acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Uso	Pozo	Noria	Manantial	Galería filtrante	Total
Agrícola	77	4	11	67	159
Doméstico	4	6	1		11
Industrial	4		1		5
Pecuario	1				1
Público Urbano	63	4	3	2	72
Sin Uso	20	4	2	1	27
Total	169	18	18	70	275

En la Tabla 2 se muestra el volumen total de extracción de agua subterránea por uso y el número total de aprovechamientos. El principal usuario es el agrícola con 182 hm³/año que representa el 86% de la extracción total, seguido del público urbano con 19 hm³/año (9%). En total se extrae del acuífero 210 hm³/año.

Tabla No. 2 Aprovechamientos, usos y extracciones de agua subterránea

Uso	Volumen hm ³ /año	No. Aprovechamientos	Inactivos
Agrícola	181.6	159	4
Doméstico	1.2	11	0
Industrial	8.2	5	0
Pecuario	0	1	0
Público Urbano	18.8	72	3
Sin Uso	0.3	27	20
Total	210.1	275	27

La CNA considera que se aprovecha un volumen adicional de 36 hm³/año, por lo tanto la extracción total asciende a 246.1 hm³/año.¹²

Según este mismo documento de 2001, dentro del área de estudio el 41% del volumen utilizado en la región proviene de las galerías filtrantes, de manantiales un 25% y de pozos el 33% y 1% de norias. Las galerías filtrantes y los manantiales en conjunto extraen el 66% del agua subterránea (139 hm³/año), aunque hay que recordar que estos dos tipos de aprovechamientos son considerados como aguas superficiales.

Tomando en cuenta los valores de los censos levantados en campo en estudios anteriores, para el año 1981¹³ la descarga total del acuífero estimada fue de 452

¹² Documento ZOPP

¹³ Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas SARH. "Estudio geohidrológico preliminar de la Cañada Poblana-Oaxaqueña. Perforaciones y Estudios Geológicos, S.A. 1981.

hm³/año, disminuyendo para el año de 1994 a 235 hm³/año ¹⁴ y para el año 2001 a 210 hm³/año. ¹⁵ La disminución más importante ocurrió en la producción de agua en galerías filtrantes y manantiales, tal como se muestra en la Figura 8, en donde se han hecho algunos ajustes a los valores reportados, contrariamente en los pozos y norias se incrementó.

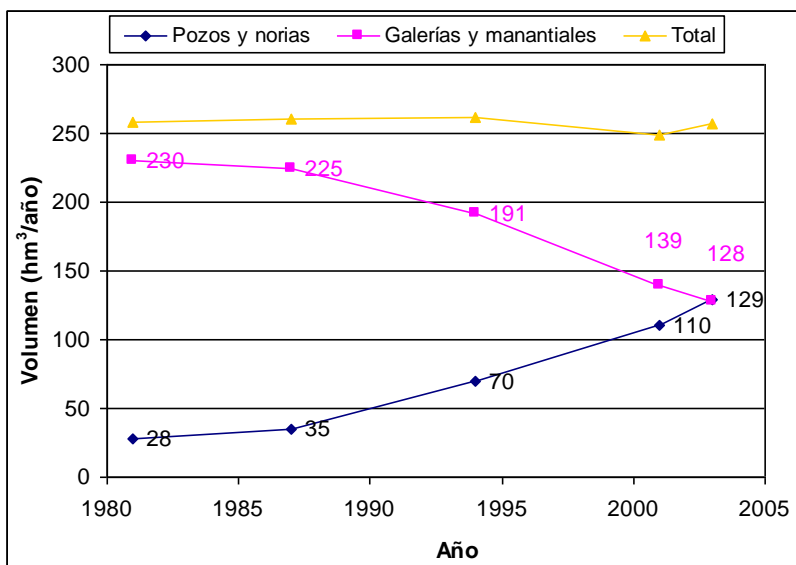


Figura No. 8 Análisis y estimación de la descarga de agua subterránea en el acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Además y como puede observarse en la Tabla 3, la disminución en los caudales aportados ocurrió en los municipios de Tehuacán, Zinacantepec, Santiago y San José Miahuatlan y Atepeixi, todos ellos ubicados en la parte central del valle.

Además es importante aclarar que los porcentajes del volumen producido por municipio, respecto al total se conservan en ambas fechas, lo que significa una disminución prácticamente uniforme en toda el área y que las mediciones parecen bien hechas al conservarse esta proporcionalidad. De seguir esta tendencia, las galerías tenderán a desaparecer en un futuro muy próximo

Por otro lado, en el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), se encuentra registrado un volumen de aguas subterráneas de 84.05 hm³/año, como se puede observar en la Tabla 4; este volumen corresponde únicamente a pozos y norias, el cual es mayor al reportado en el censo de 2001 de 71.2 hm³/año. En este registro todas las concesiones se concentran en la parte sur del acuífero, no existiendo ninguna

¹⁴ Subdirección General de Infraestructura Hidráulica Urbana e Industrial, Gerencia Estatal Puebla, CNA. "Proyecto para la localización de nuevas fuentes de abastecimiento de agua para la Ciudad de Tehuacán, Pue.", Hidráulica, Planeación y Construcción, S.A., de C.V. 1995.

¹⁵ Subgerencia Técnica Gerencia Regional Golfo Centro, CNA. "Estudio geohidrológico de los acuíferos de la Cañada Poblana-Oaxaqueña y Sierra de San Andrés en el estado de Veracruz. Ariel Consultores, S.A, 2001.

que corresponda a los municipios ubicados al norte de Atzitzintla, Chilchota, Quimixtlan y Chichiquila.

Tabla No. 3 Extracción de agua proveniente de galerías filtrantes

	Galerías 1981	%	Galerías 2001	%
Ajalpan	7.3	2	0.0	0
Altepexi	20.9	6	2.9	3
Nicolas Bravo	0.4	0	0.0	0
Santiago Miahuatlan	22.7	6	0.0	0
San Antonio Cañadas	1.1	0	0.0	0
San Gabriel Chilac	19.1	5	6.6	8
San Jose Miahuatlan	22.7	6	1.0	1
San Marcos Nocoxtla			2.4	3
San Pedro Chapulco	9.2	3	4.9	6
San S Zinacatepec	57.4	16	24.4	28
Tehuacán	189.5	54	43.5	50
Tepanco de Lopez	1.3	0	0.5	1
TOTAL	351.6		86.2	

Tabla No. 4 Aprovechamientos concesionados de agua subterránea acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Uso	Número de concesiones	Volumen hm ³ /año
Agrícola	144	75.82
Domestico	15	0.14
Industrial	23	1.82
Múltiples	5	0.04
Pecuario	42	1.45
Público Urbano	40	4.69
Servicios	17	0.09
Total	286	84.05

Según el REPDA al uso agrícola se tienen concesionado el 90% del agua subterránea del acuífero Valle de Tehuacán, seguida por el público urbano con el 6%. En dicho registro también se encuentran reportados los usos domestico, industrial, pecuario, servicios y usos múltiples según se reporta en la Tabla 4 y Figura 9.

En el volumen concesionado de aguas superficiales existen 558 títulos que amparan un total de 869 aprovechamientos, dentro de las que se incluyen los manantiales y las galerías (Tabla 5). Del volumen total concesionado de 70 hm³/año, corresponden 79% al uso agrícola y 21% al uso público urbano (Figura 10). El volumen concesionado resulta bastante menor al usado a través de galerías y manantiales, según los estudios realizados.

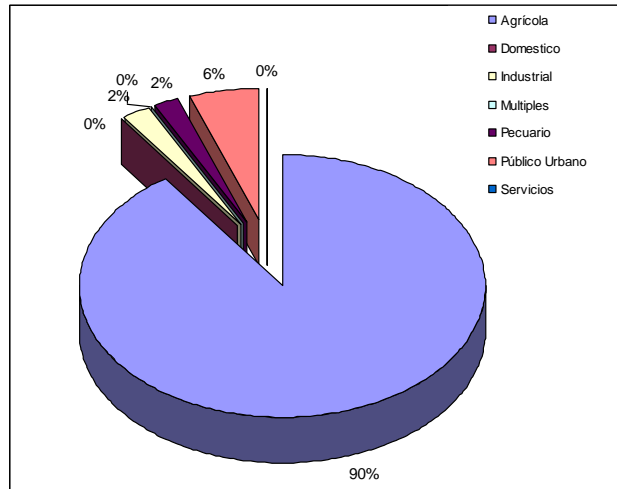


Figura No. 9 Porcentaje del volumen subterráneo por uso e inscrito en el REPDA

Tabla No. 5 Títulos de concesión de agua superficial en el área del acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Uso	Número de aprovechamientos	Volumen Hm ³ /año
Agrícola	220	54.87
Domestico	15	0.16
Industrial	1	0.01
Múltiples	14	0.02
Pecuario	3	0.02
Público Urbano	616	15.05
Total	869	70.13

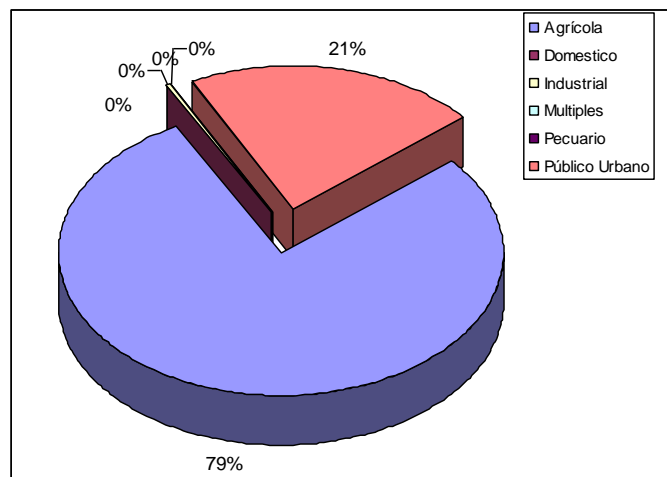


Figura No. 10 Porcentaje del volumen superficial por uso e inscrito en el REPDA

5.5.4 Uso del agua subterránea

Uso agrícola

En la región donde se localiza el acuífero Valle de Tehuacán, Pue. el agua se utiliza de manera preponderante en la agricultura, que es base del sustento y desarrollo de su población y actividad prioritaria de la misma. Para el riego de los cultivos se requieren diferentes láminas de agua, lo que está en función de diversos parámetros

En general los pozos de uso agrícola son operados por ejidatarios, grupo de comuneros o dueños de parcelas y no se tienen bien cuantificadas las extracciones que se realizan por bombeo, y regularmente se desconocen los niveles estáticos y dinámicos del agua subterránea, al inicio y término de los ciclos agrícolas.

En el valle de Tehuacán los volúmenes de agua que se aplican en el uso agrícola son del orden de 182 hm³/año, mediante la operación de 159 aprovechamientos, según los estudios de campo realizados y para el año 2001.

Mientras que según el REPDA, existe un volumen concesionado para uso agrícola de 131 hm³/año, de los cuales 76 hm³/año son subterráneos y 55 hm³/año superficiales, como se puede ver en la Tabla 6. Este último volumen se puede interpretar como proveniente de galerías filtrantes.

Tabla No. 6 Número de títulos y volumen concesionado

Uso	Subterráneo		Superficiales	
	Número de concesiones	Volumen hm ³ /año	Número de Concesiones	Volumen hm ³ /año
Agrícola	144	75.82	220	54.87
Domestico	15	0.14	15	0.16
Industrial	23	1.82	1	0.01
Múltiples	5	0.04	14	0.02
Pecuario	42	1.45	3	0.02
Público Urbano	40	4.69	616	15.05
Servicios	17	0.09	869	70.13
Total	286	84.05	220	54.87

Uso Público urbano

Del censo de aprovechamientos subterráneos de 2001 realizado en toda la zona que cubre el acuífero Valle de Tehuacán, se obtuvo un volumen de 18.8 hm³/año para uso público urbano y de 1.2 hm³/año para uso doméstico, lo que hacía un total de 20 hm³/año para cubrir las necesidades de uso residencial de la población de esta región, volumen semejante al concesionado para este uso.

Uso Pecuario

Los volúmenes de agua destinados al uso pecuario son prácticamente nulos, de acuerdo con la última información que se dispone, los volúmenes de agua subterrá-

nea que se extraían del acuífero en estudio son del orden de $0.01 \text{ hm}^3/\text{año}$. De acuerdo con el REPDA al uso pecuario le corresponden $1.5 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Uso Industrial

El agua destinada al uso industrial en la zona representa solamente el 4% del total del agua subterránea que se extrae, es decir se emplean $8.2 \text{ hm}^3/\text{año}$ según censo de 2001, mientras que el REPDA reporta $2 \text{ hm}^3/\text{año}$ para ese uso.

5.5.5 Comportamiento piezométrico

Elevación del nivel estático

La configuración de la elevación del nivel estático más antigua que se dispone para el acuífero de Valle de Tehuacán corresponde al año de 1974, la cual se muestra en la Figura 11. Para ese año el flujo de agua subterránea seguía una trayectoria de sentido NW-SE, proveniente de Tecamachalco hacia la ciudad de Tehuacán. También se puede observar otra entrada proveniente del norte y señalada por la curva de elevación 2020 msnm a la altura del poblado de Azumbilla, al norte del poblado Francisco I. Madero.

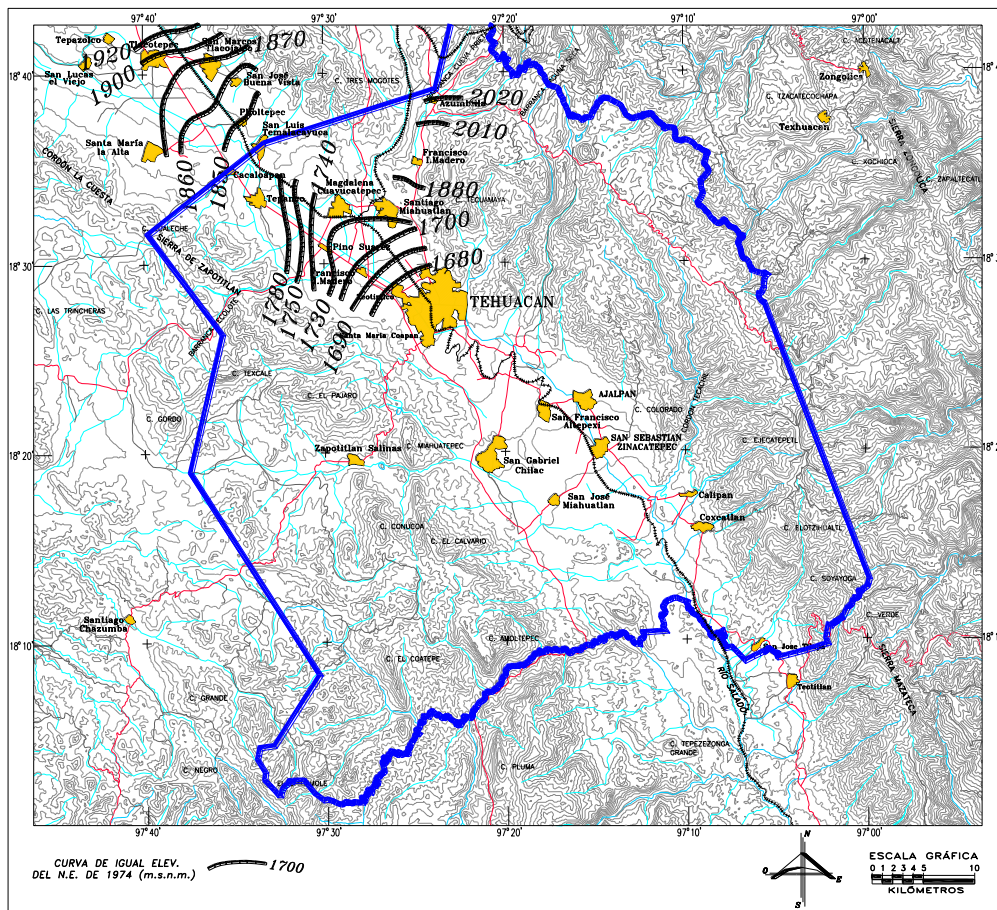


Figura No. 11 Curvas de igual elevación del nivel estático 1974

En la Figura 12 se presenta la configuración más reciente de este tipo para las condiciones de noviembre de 2001. Es de hacer notar que esta configuración abarca una porción más al sur del acuífero y casi hasta Tecamachalco al norte. En esta configuración, tampoco se aprecia el flujo que se marcaba hacia la porción noroeste del acuífero. Se señalan las aportaciones subterráneas de Tecamachalco y de Cañada Morelos, el sentido del flujo subterráneo con dirección SE, pasando por Tehuacán y prosiguiendo hacia la Cañada Oaxaqueña, donde se advierten las curva de menor valor piezométrico, alrededor de 800 msnm.

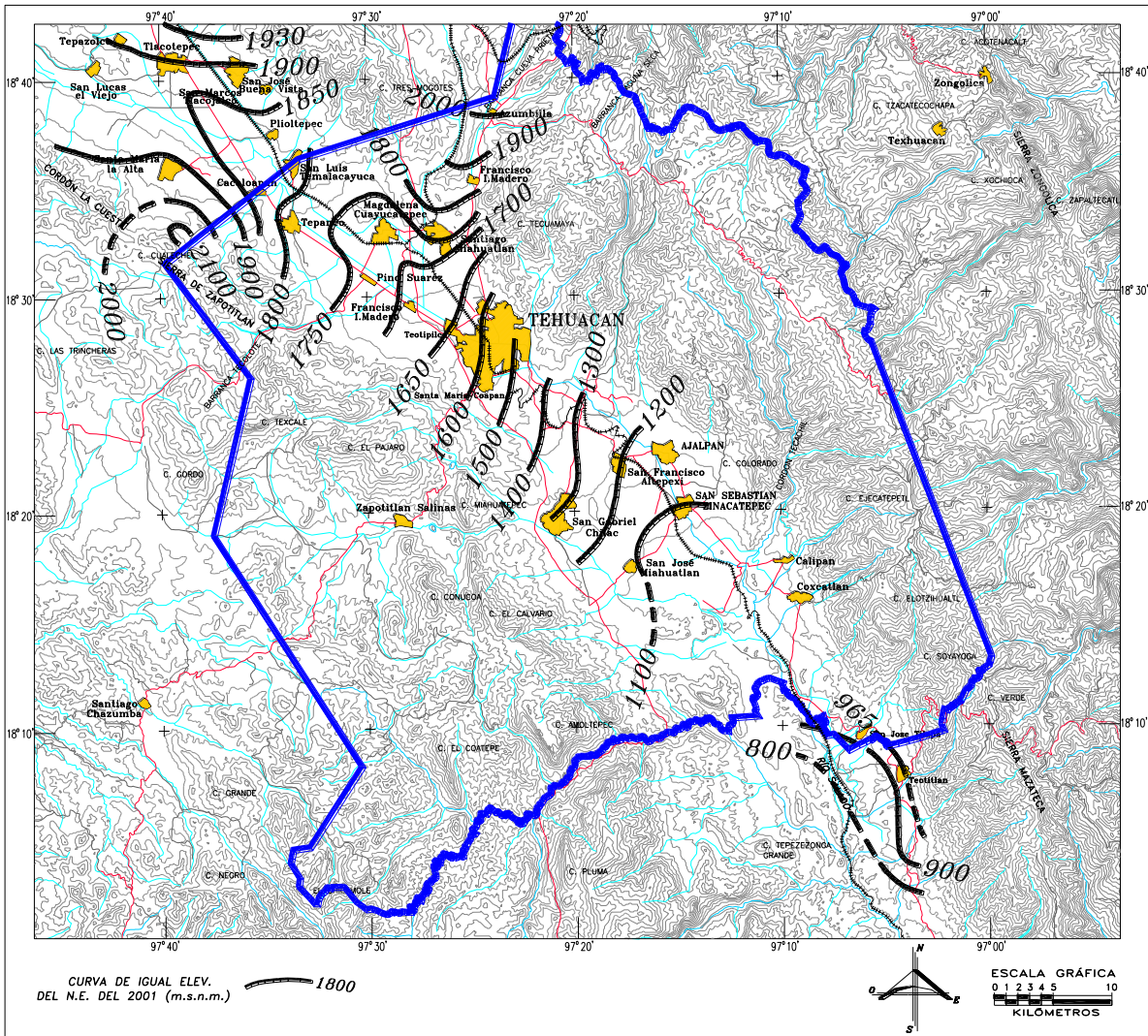


Figura No. 12 Curvas de igual elevación del nivel estático 2001

Profundidad del Nivel Estático

La Figura 13 presenta la distribución espacial las curvas de igual profundidad del nivel estático del año 2000. En general las profundidades varían de 10 a 100 m, presentándose en forma más genérica las de 30 a 60 m. Las profundidades del nivel

estático del orden de 100 m se localizan en los alrededores del poblado de San Luis Tamalacayuca, y las menores, variables entre 10 y 30 m se manifiestan al sur de Tepanco de López y hasta las inmediaciones de la localidad de Francisco I. Madero; asimismo, existen profundidades de los niveles de agua del orden de 30 m al sur de Tehuacán, entre San Marcos Necoxtla y San Gabriel Chilac y de 20 m en San José Miahuatlán.

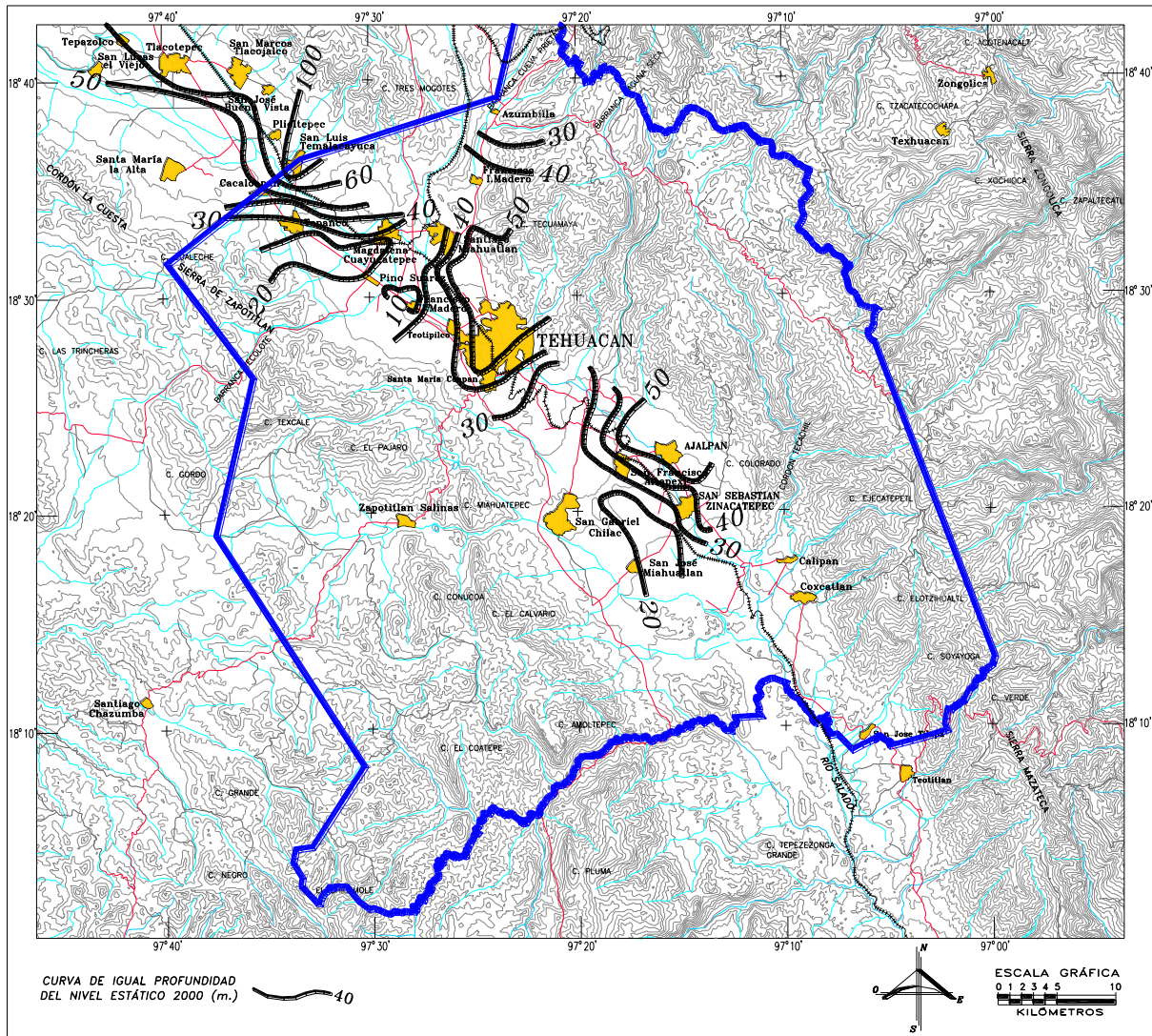


Figura No. 13 Curvas de igual profundidad del nivel estático 2000

Evolución de los niveles estáticos

De la información piezométrica antes analizada resulta difícil determinar las evoluciones del nivel estático en la región, posiblemente debido más que a otra cosa, a que los pozos medidos en las distintas fechas no son los mismos.

Si se observa la evolución de 1978-1981 presentada en la Figura 14, que aunque solo abarca una pequeña parte al noroeste del acuífero, se puede observar un cono de

abatimiento de hasta 12 metros en las inmediaciones de los poblados de Magdalena Cuayutepec y Francisco I. Madero. Por lo que se puede suponer que en esa zona existen abatimientos mayores.

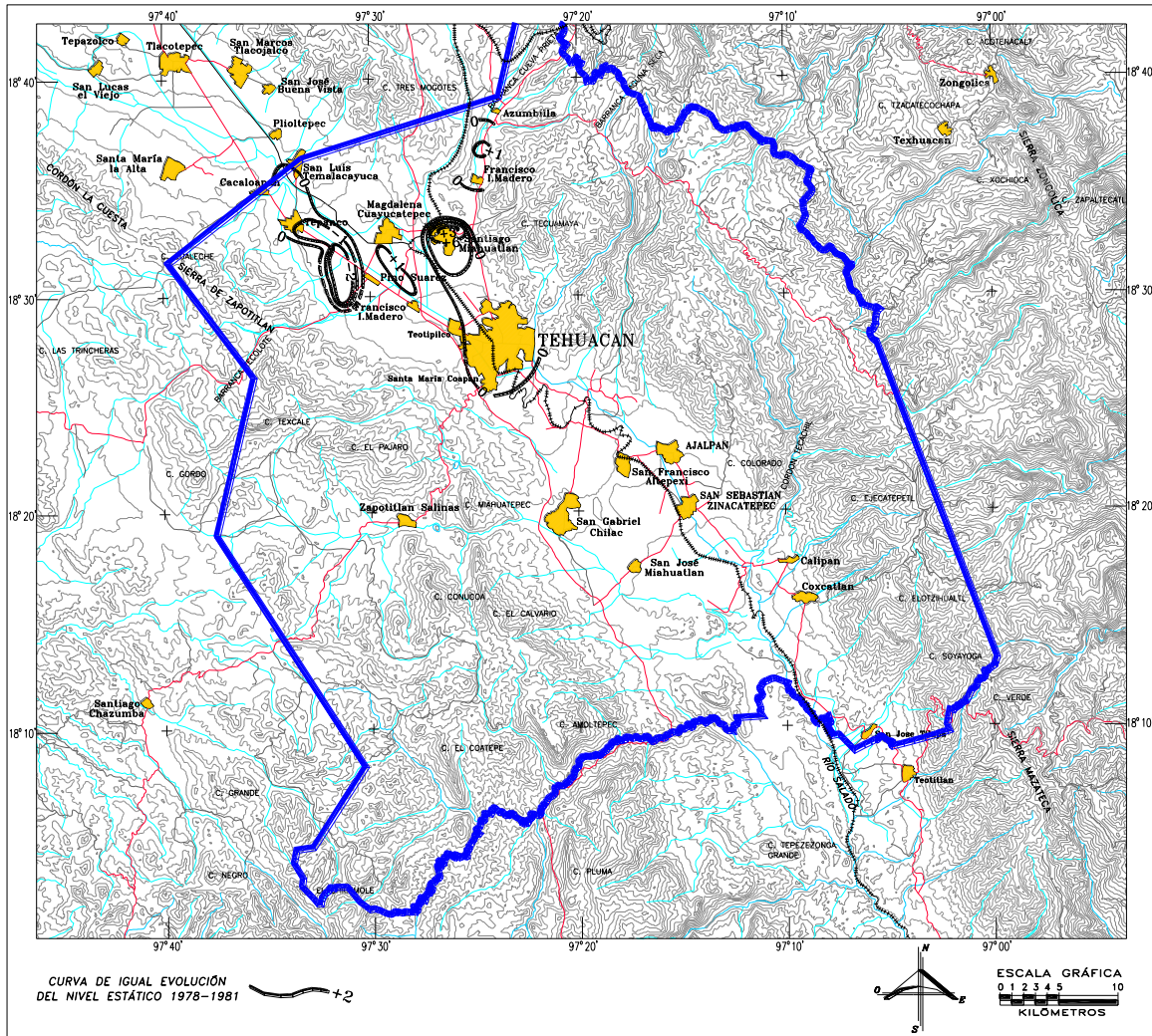


Figura No. 14 Curvas de igual evolución del nivel estático 1978-1981

En la Figura 15, que muestran las curvas de igual evolución del nivel estático para el período 1996-2000, ¹⁶ se observa que en la zona norte de estudio se presentan variaciones de los niveles estáticos en forma positiva y negativa, esto es, recuperaciones y abatimientos piezométricos. Las evoluciones negativas se localizan fundamentalmente en la ciudad de Tehuacán; en las inmediaciones de Pino Suárez, poblado ubicado al noroeste de Tehuacán y en los alrededores de Azumbilla; dichas evoluciones son del orden de -1.0 m (-0.25 m/año) en el período 1996-2000.

¹⁶ CNA, Estudio Geohidrológico de los Acuíferos de la Cañada Poblano – Oaxaqueña, y Sierra de San Andrés en el Estado de Veracruz, Ariel Consultores, S.A., 2001

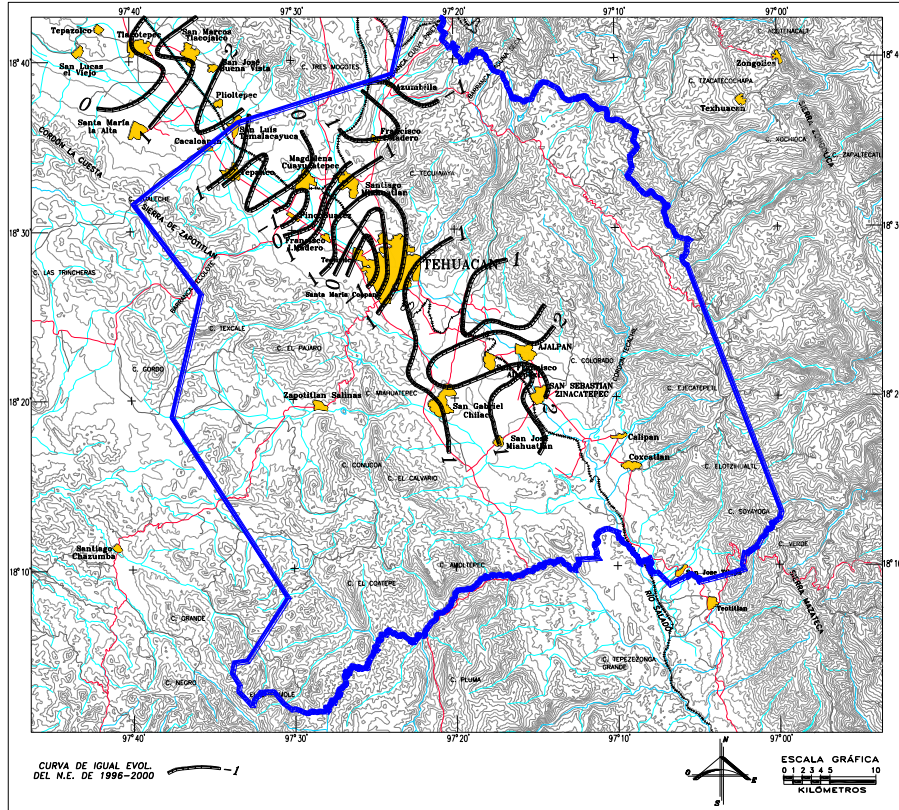


Figura No. 15 Curvas de igual evolución del nivel estático 1996-2000

Adicionalmente se obtuvieron las elevaciones medias del nivel estático a partir de las configuraciones de los años 1994, 1996, 2000 y 2001 ya que son las que cuentan con información en toda el área del acuífero. En la Figura 16 se presenta la variación de la elevación media del nivel estático sin considerar la del año 2001, por presentar algunas inconsistencias. La tendencia presenta un ligero abatimiento generalizado del acuífero.

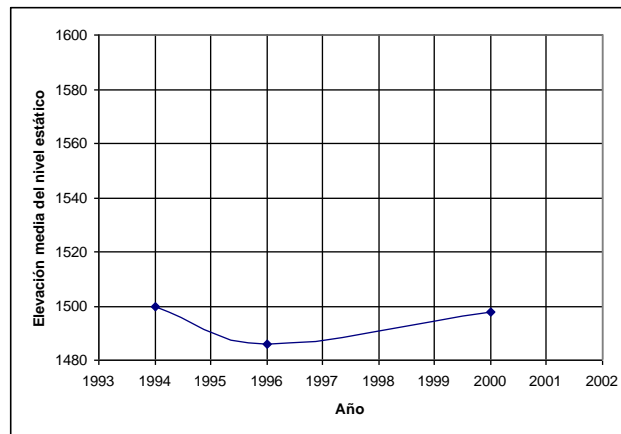


Figura No. 16 Elevación media del nivel estático

Finalmente en la Figura 17 se ha hecho un promedio de los niveles en los pozos en que se tienen historia piezométrica y se puede deducir un abatimiento medio de 0.25 m/año en los pozos de observación.

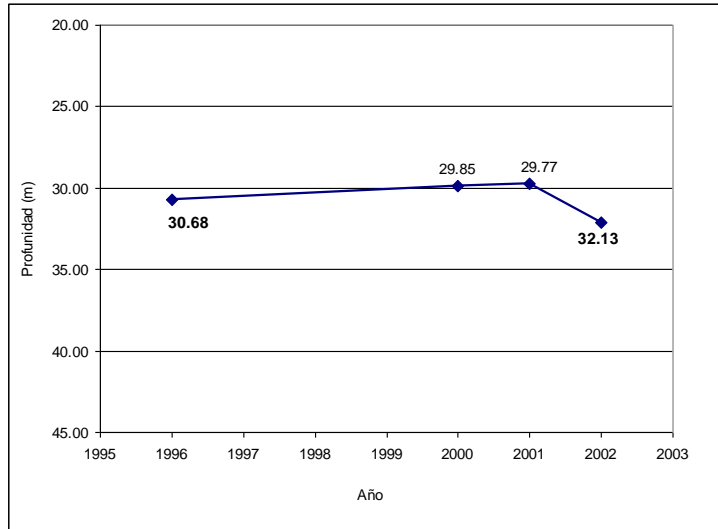


Figura No. 17 Tendencia actual de lo niveles de agua subterránea

5.5.6 Calidad del agua subterránea

De los análisis físico-químicos efectuados a muestras obtenidas en el área durante el año de 1981, se obtuvieron resultados de bicarbonatos, calcio, cloruros, magnesio, sólidos totales disueltos y sulfatos, para galerías y pozos por separado.

Con respecto a los bicarbonatos encontrados en las galerías filtrantes y manantiales se tienen que las concentraciones varían de 300 a 660 ppm, las concentraciones mayores se tiene en la zona de la ciudad de Tehuacán y las menores al sur en las inmediaciones del poblado San José Miahuatlan. Por lo que respecta a los bicarbonatos para los pozos y norias las concentraciones varían entre 200 y 600 ppm un poco menor a la presentada en galerías y manantiales, en la parte norte de la ciudad de Tehuacán se tienen las concentraciones mayores de 600 ppm y en sur de 200, mientras que en el resto del acuífero se tiene un valor promedio de 420 ppm.

De las configuraciones de igual contenido de calcio se puede observar que los valores para galerías filtrantes y manantiales el valor varía de 20 a 100 ppm con un promedio en el acuífero de 40 ppm y las mayores concentraciones de 100 ppm se encuentran en los alrededores del poblado Santiago Miahuatlan al igual que para las concentraciones encontradas en pozos y norias.

Las concentraciones de cloruros varían de 100 a 400 ppm para las galerías filtrantes y manantiales, mientras que para los pozos y norias van de 40 a 700 ppm, las menores concentraciones se localizan al noroeste del acuífero cerca del poblado de Te-

peaca y van aumentando hacia el sureste hasta llegar a 700 ppm en San Sebastián Zinacatepec.

Por lo que respecta a las concentraciones de magnesio en las galerías filtrantes y manantiales se tienen desde 10 ppm hasta 100 ppm las menores concentraciones se presentan en el poblado de Santiago Miahuatlan y las mayores el oeste del poblado de Coxcatlan aumentado gradualmente, en la ciudad de Tehuacán se presentó una concentración de 60 ppm, mientras que la presentada en pozos y norias fue de 80 para esta misma ciudad. La concentración de magnesio en pozos y norias es mayor variando de 20 ppm en Tepanco hasta 160 ppm en el poblado de Zinacatepec.

Otras de las concentraciones obtenidas fue el de los sulfatos los cuales variaron de 50 ppm hasta 350 ppm para las galerías filtrantes y manantiales, valores muy cercanos a los obtenidos para pozos y norias el cual fue de 40 ppm a 360 ppm. Las menores concentraciones fueron localizadas en el poblado de Santiago Miahuatlan y las mayores en el poblado de Francisco I. Madero para el caso de pozos y al este de San José Miahuatlan para el caso de manantiales.

Para las galerías filtrantes y manantiales las concentraciones de sólidos totales disueltos variaban de 850 a 2300 ppm siendo estos valores puntuales ya que en general en el valle las concentraciones estaban alrededor de los 1400 ppm al igual que para las pozos y norias

Es de esperarse que la calidad del agua subterránea 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.

5.5.7 Condiciones de explotación de agua subterránea

Actualmente el acuífero Valle de Tehuacán que tiene una ligera sobre-explotación que se manifiesta en un abatimiento medio de 0.25 m/año. Además y según los censos realizados las galerías filtrantes han tenido un descenso importante en su producción.

De acuerdo con el balance de aguas subterráneas, realizada en el área de valle, el acuífero recibe una alimentación natural de 120 hm³/año y por recarga inducida 116 hm³/año, haciendo un total de 236 hm³/año. La descarga por medio de aprovechamientos es del orden de 257 hm³/año y una salida por flujo horizontal subterráneo de aproximadamente 40 hm³/año, con lo cual se obtiene una salida total de 297 hm³/año, lo que origina un minado de 61 hm³/año, según se muestra en la Tabla 7.

**Tabla No. 7 Funcionamiento actual del acuífero
Valle de Tehuacán, Pue.**

Balance Aguas Subterráneas Acuífero Valle de Tehuacán			2003	Pozos	Galerías	Total
				Zona inferior	Zona superior	
Área total del acuífero		km ²	3,750	3,750	3,750	3,750
RECARGA						
Área de valle		km ²	750	750	750	750
Coeficiente	I ₁		0.09	0.09	0.09	0.09
Precipitación		mm/año	450	450	450	450
Recarga natural por lluvia		hm ³ /año	30.4	9.9	20.5	30.4
Entradas horizontales y zonas altas	Eh	hm ³ /año	90.0	60.0	30.0	90.0
Total de recarga natural		hm ³ /año	120.4	69.9	50.5	120.4
Público Urbano	I ₂		0.25	0.25	0.25	0.25
Retorno del uso Público Urbano		hm ³ /año	11.8	3.831	7.9	11.8
Agrícola más otros agua subterránea	I ₃		0.45	0.45	0.45	0.45
Retorno de riego, pozos		hm ³ /año	33.2	10.821	22.4	33.2
Agrícola agua subterránea	I ₃		0.423	0.42	0.42	0.42
Retorno de riego, galerías		hm ³ /año	54.3	17.7	36.6	54.3
Agrícola derivaciones río Salado (43.2 hm ³ /año)	I ₃	0	0.40	0.40	0.40	0.4
Retorno de riego, galerías		hm ³ /año	0.0	0.0	0.0	0.0
Agrícola Distrito (40.9 hm ³ /año)	I ₃	40.9	0.40	0.40	0.40	0.4
Retorno de riego, Distrito		hm ³ /año	16.4	5.3	11.0	16.4
Retorno total			115.6	37.7	77.9	115.6
RECARGA TOTAL	Rt	hm³/año	236.0	107.6	128.4	236.0
DESCARGA						
Salidas horizontales	Sh	hm ³ /año	40.0	40.0	0.0	40.0
Caudal base	Q _{base}	hm ³ /año	0.0	0.0	0.0	0.0
Manantiales (52.8)			0.0	0.0	0.0	0.0
Extracción total bruta agua subterránea		hm ³ /año	257.4	129.0	128.4	257.4
Agrícola pozos		hm ³ /año	72.2	72.2	0.0	72.2
Agrícola galerías y manantiales		hm ³ /año	128.4	0.0	128.4	128.4
Público urbano		hm ³ /año	47.0	47.0	0.0	47.0
Industrial		hm ³ /año	8.2	8.2	0.0	8.2
Otros		hm ³ /año	1.5	1.5	0.0	1.5
DESCARGA TOTAL		hm³/año	297.4	169.0	128.4	297.4
Minado	ΔA	hm ³ /año	-61.4	-61.4	0.0	-61.4
Coeficiente de almacenamiento	S		0.3	0.3		0.3
Volumen drenado	Vd	hm ³ /año	188	188		188
Abatimiento		m/año	0.25	0.25		0.25

De acuerdo con la última información que se dispone sobre el censo de aprovechamientos corresponde al realizado en el año 2001, contiene 275 aprovechamientos, correspondientes a 169 pozos, 18 norias, 18 manantiales y 70 galerías filtrantes; con los cuales se aprovechan 257 hm³/año.

De acuerdo al REPDA se tienen registrados 286 aprovechamientos subterráneos con una extracción total de 84 hm³/año, sin embargo en este registro solo se tiene a los pozos y norias, si a estas concesiones se le adiciona las superficiales, de 220 con un volumen concesionado de 55 hm³/año, que la mayoría debe corresponder a manantiales y galerías, el total del volumen concesionado asciende a 140 hm³/año, de todas maneras un 40% inferior al volumen de extracción estimado en estudios de campo.

5.6 Agua superficial

5.6.1 Hidrografía

La zona de estudio pertenece a la región administrativa X, Golfo Centro y desde el punto de vista de aguas superficiales queda dentro de la cuenca hidrológica del río Papaloapan

La corriente superficial más importante en la región donde se ubica el área de estudio es el río Salado que drena al Valle Poblano Oaxaqueño y a la alta Mixteca, tiene la subcuenca más árida y deforestada del sistema, produciendo por esta razón más del 60% de los azolves que llegan al río Papaloapan. En Quiotepec se une al río Grande que sirve de dren a la sierra de Juárez y las estribaciones de la Sierra de Oaxaca, formando entre ambos el río Santo domingo, que además drena en su recorrido al Cañón del mismo nombre, constituyéndose aguas abajo en el cace principal del río Papaloapan, después de recibir por la margen derecha las aportaciones de los ríos Santa Rosa y Valle Nacional y por la izquierda al río Tonto.¹⁷

La zona de estudio, en su parte alta, tiene conexión con la cuenca del río Balsas, a través del Distrito de Riego que 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 Manual Ávila Camacho.

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

¹⁷ SRH. 1971. Comisión del Papaloapan. Boletín Hidrométrico No. 18

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.

Las segunda y tercera unidades se ubican dentro del acuífero de Tecamachalco y la tercera unidad en el acuífero Valle de Tehuacán, motivo por el cual existe una transferencia entre las dos cuencas, Balsas y Papaloapan.

La hidrometría es escasa en la región, la estación la angostura sobre el río Salado, dren general de del valle, presenta escurrimientos base del orden de $2 \text{ m}^3/\text{s}$, valor disminuido por las aportaciones aguas arriba disminuye a mas o menos un m^3/s .

5.6.2 Calidad del agua superficial

Como se mencionó anteriormente la principal fuente de abastecimiento al Distrito de Riego, lo representa la presa Valsequillo, receptor de las aguas residuales producidas por la ciudad de Puebla. Asimismo si se consideran las galerías como agua superficial, deben estar contaminadas por lo menos con las filtraciones de los drenajes de las zonas urbanas ubicadas en la zona de estudio.

5.6.3 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, en esta zona, no existe una disponibilidad adicional. El volumen que actualmente se utiliza en el distrito de riego es de $41 \text{ hm}^3/\text{año}$.

Por otro lado la descarga de las galerías han bajado de $334 \text{ hm}^3/\text{año}$ en 1981 a $86 \text{ hm}^3/\text{año}$ en 2001, por lo tanto tampoco hay disponibilidad por lo que respecta a las galerías.

5.7 Agua residual

5.7.1 Calidad

Por lo que respecta a las descargas de aguas residuales en la región no existen plantas de tratamiento, por lo tanto la calidad no debe ser buena, aunque no se tiene análisis al respecto, con el agravante de que el subsuelo es bastante permeable y los focos de contaminación aunque son pocos fuera del área urbana, es un aspecto que debe cuidarse sobremanera, debido a las características de las galerías filtrantes, que por un lado están fuertemente expuestas a la contaminación y su muchas de ellas se utilizan en giros alimentarios, como puede ser el orgullo de la región, sus aguas minerales.

5.7.2 Características básicas de disponibilidad y uso del agua residual tratada y sin tratar

De acuerdo con las estimaciones de los requerimientos de agua para uso público urbano, los volúmenes de aguas residuales generadas en los núcleos urbanos debe alcanzar la cifra de unos 25 hm³/año, al considerar que se descarga el 50% de la dotación total en este sector. Sin embargo, la población está muy dispersa en la región y sus descargas son hacia los arroyos ubicados aguas abajo, por lo tanto no tienen aprovechamiento alguno. Aún en el caso de Tehuacán deberán tener un tratamiento previo para su uso.

5.8 Costo del agua

El costo total del agua se calculó como la suma del costo producto de la reducción de la descarga de las galerías más la reducción de la cámara de bombeo más el valor de la escasez y el costo de oportunidad, lo que da un total de 7.17 pesos por metro cúbico para el año 2002.

Tabla No. 8 Costo total

Costo de Extracción	Reducción en descarga de las galerías	Reducción cámara de bombeo	Valor de la Escasez	Costo de Oportunidad	Costo Total
\$/m³	\$/m³	\$/m³	\$/m³	\$/m³	\$/m³
0.19	0.34	0.27	6.31	0.06	7.17

El valor de la escasez se calculó según la Ley Federal de Derechos en Materia del Agua, ¹⁸ el municipio de Tehuacán se localiza en una zona de disponibilidad 4 donde el costo del agua para el uso industrial es de \$7.3636 por metro cúbico. Otros municipios dentro del acuífero corresponden a diferente zona de disponibilidad, pero la más desfavorable es la zona 4 donde además se localizan los municipios más importantes del acuífero. La zona de mayor disponibilidad es la 9, donde el costo del agua es de \$1.0509 por metro cúbico, por lo tanto el valor de la escasez en la región es de \$6.3127 por metro cúbico.

El costo de oportunidad se determinó a través de la productividad marginal del agua, la cual se puede entender como la máxima cantidad de dinero que un usuario podría estar dispuesto a pagar por tener disponible una unidad adicional de recurso en el proceso productivo. ¹⁹

Tomado en cuenta los cultivos de la zona ordenados de acuerdo al beneficio, se obtuvo una línea de tendencia para el volumen acumulado contra el beneficio total neto acumulado la cual se derivó para obtener la Productividad Marginal del Agua, dicha

¹⁸ Ley Federal de Derechos en Materia del Agua, Comisión Nacional del Agua, Enero 2002

¹⁹ Palcios Vélez y Exebio Garcia, Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego, Centro de Hidrociencias, Colegio de Posgraduados, 1989

función fue: $PMA = 14.096 \frac{1}{volumen}$. Tomando en cuenta un volumen de 200.7 hm³/año, da como resultado una productividad marginal del agua de 0.07 \$/m³. La productividad marginal también se puede calcular tomando en cuenta el volumen de recarga, la cual es de 236 hm³/año, con lo cual se obtiene una productividad marginal de 0.06 \$/m³.

Una estimación de los costos ambientales causados por la sobreexplotación se puede inferir suponiendo que el costo de extracción para 1981 es resultado de la extracción de agua a un nivel dinámico original, a partir de ahí la disminución de dicho nivel se le atribuye a la sobreexplotación, por lo tanto la diferencia de costos de extracción entre el nivel dinámico de 1981 y cualquier otro año dado se consideró como un costo ambiental debido a la sobreexplotación. En la Figura 18 se graficó el costo del aumento del nivel dinámico a través de los años.

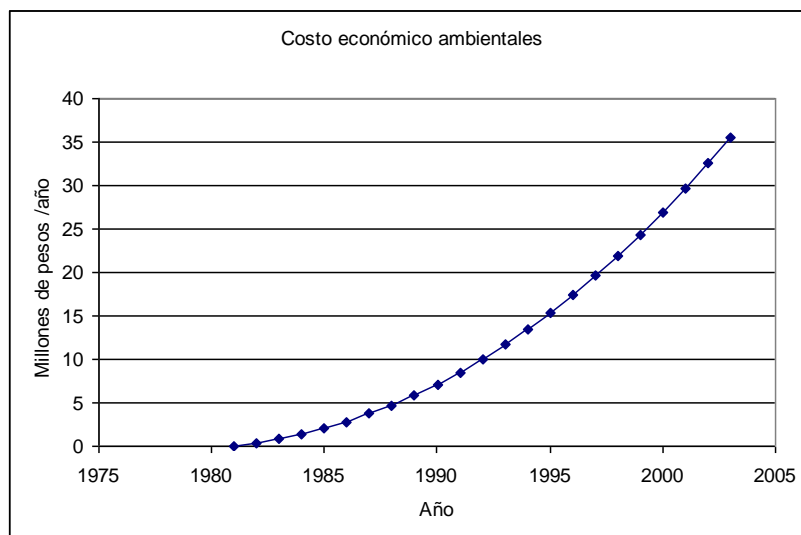


Figura No. 18 Costos debidos al aumento en la cámara de bombeo

Por otro lado en la zona se tienen un gran número de galerías filtrantes las cuales han disminuido su descarga en los últimos años. En la Figura 18 se muestra el volumen de extracción de los pozos registrado en los censos de 1981, 1994 y 2001, en esta figura se puede observar que a medida que la extracción en los pozos ha aumentado la descarga en las galerías a disminuido, por lo que se podría pensar que la disminución de las galerías se debe al aumento en la extracción de agua en los pozos.

La disminución de las descargas de las galerías se ha modificado linealmente con relación al aumento en la extracción de los pozos.

El costo en la disminución en la descarga de las galerías se cuantificó considerando que el la reducción en la descarga tiene que ser sustituida por agua de pozo, y lo que costaría la extracción de dicho volumen. Se consideró que la descarga de las gale-

rías filtrantes en el año 1981 era la original, por lo tanto para este año no hubo ningún costo. A partir de ahí se calculó lo que costaría bombear el volumen faltante al nivel dinámico calculado para cierto año. En la Figura 20 se muestra la variación del costo de la reducción de la descarga de las galerías como un costo de bombeo a través de los años, donde se puede observar que el costo de la disminución de las galerías para el año 2003 es de 36.3 millones de pesos

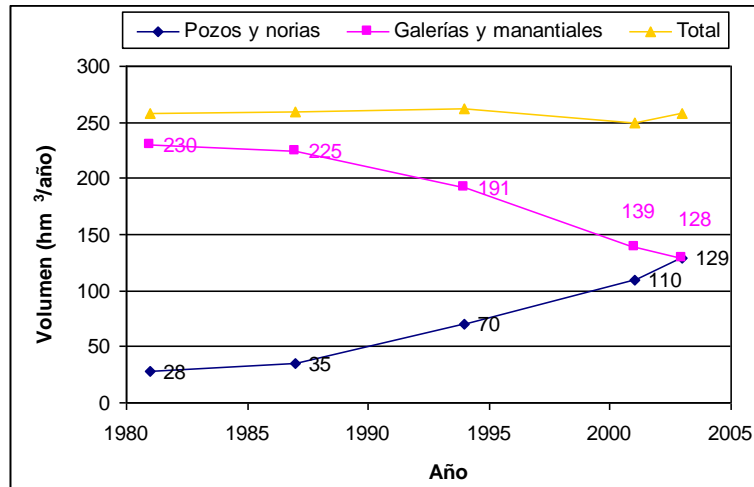


Figura No. 19 Volúmenes en pozos y norias, galerías y manantiales

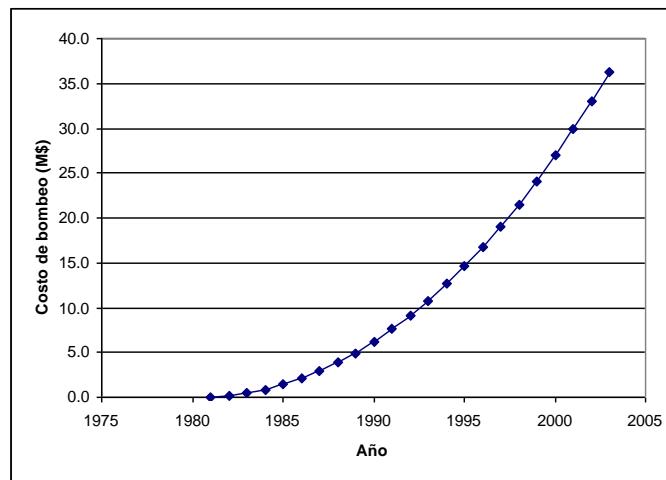


Figura 20 Costo de la disminución de la descarga de las galerías

5.9 Beneficios Económicos Producto de la Sobreexplotación

Los beneficios económicos de la sobreexplotación resultan negativos ya que el volumen total de agua utilizada entre los pozos (agua subterránea según REPDA) y las galerías (agua superficial según REPDA) resultan prácticamente iguales, según se puede ver en la Figura 19.

Por lo tanto, no existe un volumen adicional aprovechado y lo único que sucede es que en vez de tener el agua producto de las galerías sin ningún costo, ahora es necesario bombear y erogar ese costo asociado.

6. PROYECCIONES

6.1 Proyecciones del volumen de agua utilizable

De acuerdo con los antecedentes descritos anteriormente, resulta obvio que no existe una disponibilidad adicional de los recursos hídricos en el acuífero Valle de Tehuacán, de hecho el acuífero se encuentra en una situación de sobreexplotación.

Aguas Superficiales

La corriente superficial más importante dentro del acuífero es el río Salado, la cual no cuenta con ninguna estación hidrométrica dentro de los límites del acuífero, la estación más cercana es La Angostura, que se localiza al sur del acuífero. Para estimar los escurrimientos del río Salado a la salida del acuífero se tomó el volumen registrado en la estación Angostura y se le restó el de los tributarios Xiquila y Zapotitlán medidos en las estaciones Xiquila y Axusco respectivamente, como resultado se puede observar que el escurrimiento se ha reducido a través de los años, aunque es difícil hacer una proyección de los escurrimientos, es de suponerse que de continuar la explotación de las aguas como se hace en la actualidad esta tendencia seguirá presentándose.

Aguas Subterráneas

De acuerdo a la información de los censos que se tienen desde 1981, las descargas en las galerías han disminuido considerablemente. De seguir las mismas condiciones de extracción se puede considerar que la disponibilidad de las aguas descargadas por las galerías filtrantes seguirá disminuyendo o por lo menos se conservará constante e igual a la disponibilidad actual.

Actualmente se utilizan 128.4 hm³/año de agua de galerías y manantiales en la agricultura, por lo que estas se utilizan en su totalidad.

Respecto a la disponibilidad de las aguas subterráneas obtenidas por medio de pozos, en la actualidad se considera que el acuífero de Tehuacán está en desequilibrio, con un minado de 61.4 hm³/año, por lo que se considera que no hay disponibilidad.

Aguas Residuales

Las aguas residuales generadas en los núcleos urbanos actualmente deben de ser de alrededor de 25 hm³/año, sin embargo la población está muy dispersa en la región y sus descargas no están localizadas en una sola parte, por lo que su aprovechamiento es poco.

La disponibilidad de las aguas residuales va ir en aumento en proporción con el crecimiento de la población en la región, y se estima que para el año 2030 se estima que se van generar aproximadamente 33 hm³/año.

6.2 Proyección de la demanda

Sector Público Urbano

Bajo las condiciones de crecimiento actual de la población en la región, obtenidos a partir de los censos de población y la demanda de agua, la dotación total en el año 2025 serán del orden de 36.5 hm³/año, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla No. 9 Proyección de la demanda para uso público urbano

Año	2003	2005	2010	2015	2020	2025
l/s	1 493	1 518	1 653	1 765	1 882	1 992
hm ³ /año	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8
Población	506 737	522 053	560 186	598 147	638 051	675 257

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

- * Los consumos domésticos según niveles socioeconómicos son: bajo con una dotación de 110 l/hab/día; medio con un dotación de 180 l/hab/día y alto de 600 l/hab/día (se desprecia este tipo de nivel en la región)
- * En lo referente a los usuarios comerciales, industriales y de servicios se estimó que se tienen 17,951 consumidores menores, cuyo consumo unitario es de aproximadamente de 1.6 m³/s.
- * Las fugas consideradas fueron del 35%.

Sector Agrícola

La agricultura de riego en la zona es de tipo tradicional, con sistemas de riego por gravedad o rodado. En las zonas de riego con fuentes superficiales, el 80% de las regaderas son con canales de tierra y el 20% con canaletas de concreto, mientras que en los pozos profundos y galerías filtrantes, el porcentaje de conducción en canales de tierra es de 40% y el resto, 60%, se conduce mediante canaletas de concreto.

El tamaño medio de las parcelas es de entre 1.0 y 1.5 hectáreas, con sistemas de melgas y surcos. El manejo del agua en las parcelas es generalmente deficiente, ya que se aplican láminas altas por inundación en cada riego. Existen sistemas de riego por goteo y acolchados en hortalizas; sin embargo, la extensión de este tipo de riego no se ha determinado, aunque no es significativa respecto al total. De acuerdo con información de productores locales, existen 130 hectáreas de riego por aspersión en alfalfa.

Desde hace como 15 años se introdujeron los primeros invernaderos para producción de plántulas, principalmente en Zinatepec; asimismo, en los últimos años se ha aprovechado el apoyo financiero existente para la construcción de invernaderos,

pero por falta de asistencia técnica se han presentado experiencias negativas en la instrumentación de este tipo de tecnología.

Los principales cultivos sembrados dentro del acuífero en el año agrícola 2002 fueron: maíz elotero y para grano, caña de azúcar, alfalfa y frijol. El maíz representa el 73% de la superficie cosechada en la agricultura de riego y el 85% de la agricultura de temporal. La superficie cosechada en el año agrícola 2002, fue de 24,169 hectáreas, de las que 3,149 ha se regaron con aguas de la presa Manuel Ávila Camacho y 1,905 corresponden a caña de azúcar regadas con derivaciones directas del Río Salado, por lo que la diferencia, 19,115 ha, se riegan con agua proveniente del subsuelo (Tabla 10).

Tabla No. 10 Superficies cultivadas en el acuífero Valle de Tehuacán 2002

Fuente	Superficie ha	Volumen hm ³ /año
Tercera unidad Distrito de riego	3,149	40.9
Aguas subterráneas pozos	6,881	72.2
Aguas subterráneas galerías	12,233	128.4
Derivaciones río Salado	1,905	43.2
Total	24,169	

La productividad media de las áreas bajo riego es cuatro veces superior a la de las de temporal, ya que esta productividad fue de 11,980 \$/ha para el año 2002 en las áreas bajo riego, mientras que para las áreas de temporal fue de 3001 \$/ha.

6.3 DESCRIPCIÓN DE ESCENARIOS

ESCENARIO 1. INERCIAL

En este escenario se consideró que la tendencia de extracción de agua subterránea será la misma que se ha venido presentando en los últimos años para los diferentes usos. En este escenario no se contempla ninguna aplicación de programas de usos eficientes del agua, así como ninguna reducción o incrementos de extracciones por motivos de importaciones o exportaciones de agua provenientes de alguna fuente externa o para utilizarla en otra cuenca. Con este escenario se pueden conocer los impactos que se tendrían en un futuro si no se toma ninguna acción para estabilizar el acuífero.

Por lo tanto, considerando la tendencia de crecimiento poblacional que actualmente se tiene, se supuso que para el año 2030 se tendrían aproximadamente 714,000 habitantes. De acuerdo a las estimaciones realizadas para determinar las demandas futuras de agua potable de la población de esta región, será necesario incrementar la extracción de agua subterránea durante el periodo 2003-2030 en un volumen del orden de 19.3 hm³/año, es decir, el volumen de agua que actualmente se destinan para este uso pasara 47.0 a 66.3 hm³/año durante ese período.

En el modelo los volúmenes destinados al uso industrial se mantuvieron constantes, por considerar que los incrementos en este rubro serán pequeños y no muy significativos, ya que actualmente representan del orden del 6 % de la extracción total que se realiza a través de pozos.

En el planteamiento de este escenario los volúmenes de agua que se explotan del acuífero para uso agrícola y pecuario se suponen iguales a las actuales hasta el año 2030. Los volúmenes actuales que se destinan para estos usos son del orden de 73.5 hm³/año, correspondiendo la mayor parte al uso agrícola con 72.0 hm³/año ya que el uso pecuario es despreciable.

En la actualidad el acuífero es explotado en aproximadamente 129.0 hm³/año a través de pozos y se estima que bajo este escenario la extracción bruta, para el año 2030 se incremente hasta 148.3 hm³/año.

Para conocer el comportamiento del acuífero ante el escenario inercial, en el período 2003-2030, se realizó una simulación con el modelo matemático, para lo cual, además de tomar en cuenta la variación del volumen antes señalado, se consideraron los siguientes aspectos: los volúmenes aplicados al riego con agua subterránea que retornan al acuífero son del orden del 45% del volumen utilizado en esta actividad y para el riego realizado con agua superficial utilizadas en la Tercera Unidad del Distrito de Riego No. 03 Valsequillo, son del orden del 40%. En cuanto a los retornos del agua destinada al uso al público urbano, debido a fugas en los sistemas de abastecimiento, los volúmenes que se infiltran hacia el acuífero son del orden del 25%. Asimismo, se estima que del agua empleada en el riego proveniente de galerías se infiltra hacia el acuífero del orden de un 42%. Es conveniente mencionar que no toda el agua que se infiltra al subsuelo llega a la zona del acuífero explotado por pozos, sino que una parte del volumen infiltrado es captado por las galerías, dicha proporción, de acuerdo a balances realizados en forma tradicional y con base a la ley de la conservación de la masa, se calcula que cambiará con en el tiempo y se estima que en el período 2003 a 2030 será del orden de un 32% a un 47% respectivamente.

Las entradas por flujo de agua subterránea en forma horizontal, provenientes básicamente de la zona norte y noroeste del acuífero, continuarán a través del tiempo; estas recargas son variables y estarán en función de las condiciones de la piezometría. Asimismo, se considera que las salidas hacia el sureste también continuarán, y estarán sujetas a los cambios de las elevaciones piezométricas que se originen por la explotación del acuífero.

Se obtuvieron los resultados que se anotan en la Tabla 11, donde se aprecia que para el período 2003-2030 el minado del acuífero explotado por pozos pasará de -61.4 hm³/año en el año 2003 a -62.1 hm³/año para el año 2030; como se observa la variación final entre el minado actual y el esperado es muy pequeño.

Tabla No. 11 Escenario Inercial, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Año	Escenario 1 Inercial							Resultados de Modelo						
	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8	66.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8	66.3							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	130.5	134.1	137.6	141.3	144.8	148.3	128.67	130.16	133.76	137.26	140.96	144.44	147.94
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.72	39.68	39.56	39.39	39.15	38.88	38.57
SALIDAS TOTALES	169.0	170.5	174.1	177.6	181.3	184.8	188.3	168.39	169.84	173.32	176.65	180.11	183.32	186.51
Riego con agua de galerías	128.4	123	120	116	112	108	104							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
	125	123	120	116	112	108	104							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	10.6	11.5	12.2	12.8	13.7	14.3							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.56	49.43	49.79	50.05	50.09	50.00	49.79
Recarga lluvia en zonas altas adicionales a contemplada en Eh								10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40
Recarga superficial Distrito	5.3	5.7	6.2	6.5	6.9	7.4	7.7							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	4.2	4.9	5.6	6.2	7.1	7.8							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	11.62	12.5	13.3	13.9	14.9	15.6							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	18.268	19.1	19.6	19.9	20.6	20.8							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	110.5	114.3	117.1	119.7	123.6	126.3	106.51	110.20	114.44	117.52	120.07	123.86	126.62
Minado (hm³/año)	-61.4	-60.0	-59.8	-60.5	-61.6	-61.2	-62.1	-61.9	-59.6	-58.9	-59.1	-60.0	-59.5	-59.9
Retorno galerías	77.9	74.0	70.4	67.5	64.8	61.1	58.4							
Profundidad del nivel estático (m)								30.0	30.5	31.7	32.9	34.1	35.3	36.5
Profundidad del nivel dinámico (m)								45.0	45.5	46.7	47.9	49.1	50.3	51.5
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.25	-0.25	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24
Elevación del nivel estático (msnm)								1385.0	1,384.5	1,383.3	1,382.1	1,380.9	1,379.7	1,378.5

Lo anterior obedece a que el incremento de extracción que repercutiría en un mayor minado, se ve compensado en parte con los retornos de agua, factor muy importante, ya que los mayores volúmenes de retorno son debidos a la aplicación del riego que en este escenario y en los que no se toma en cuenta el uso eficiente.

Las configuraciones de las curvas de igual elevación de los niveles estáticos obtenidas del modelo para los años 2005 y 2030 se muestran en las Figuras 21 y 22 respectivamente.

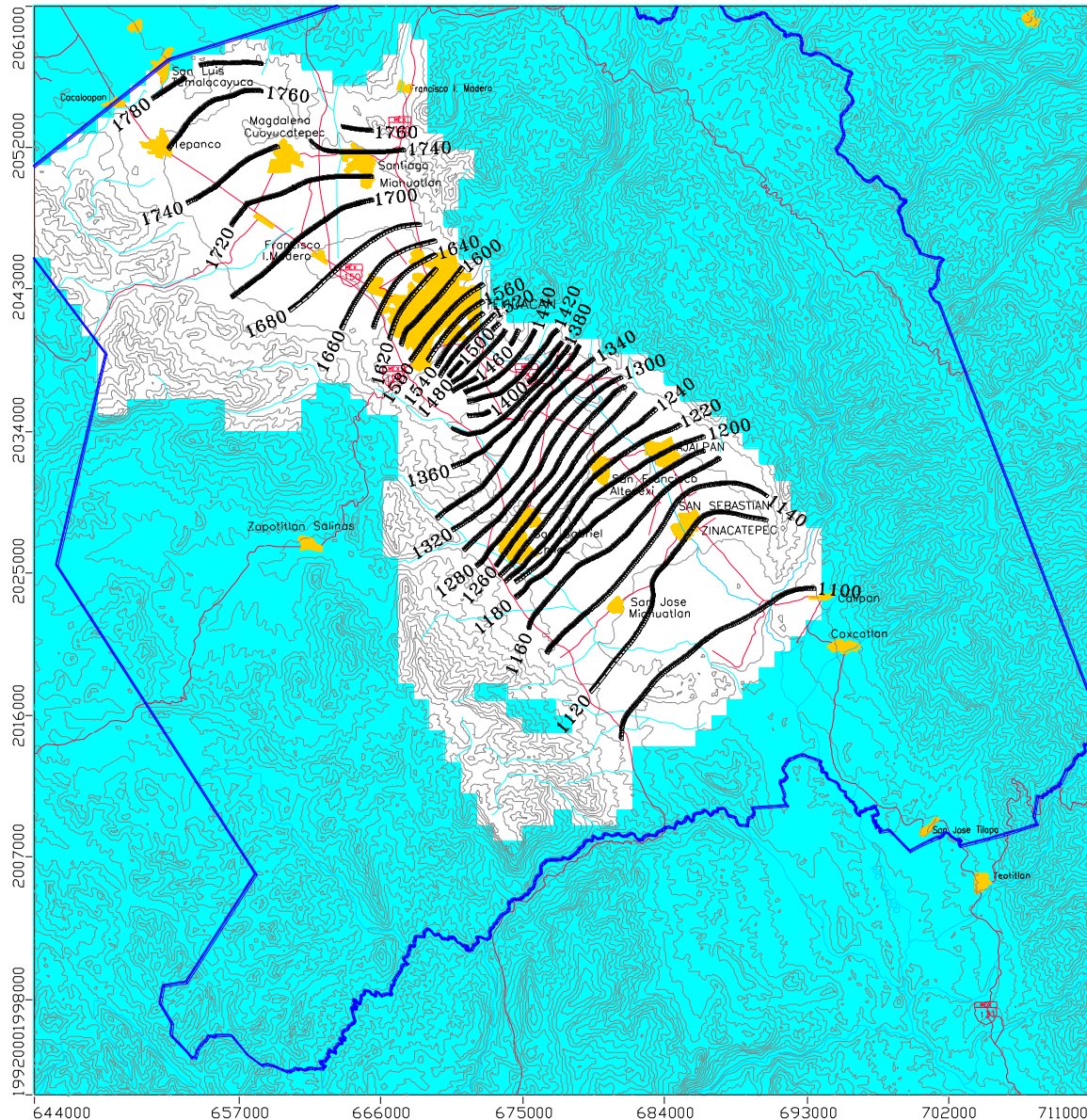


Figura No. 21 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2005 Escenario 1, inercial

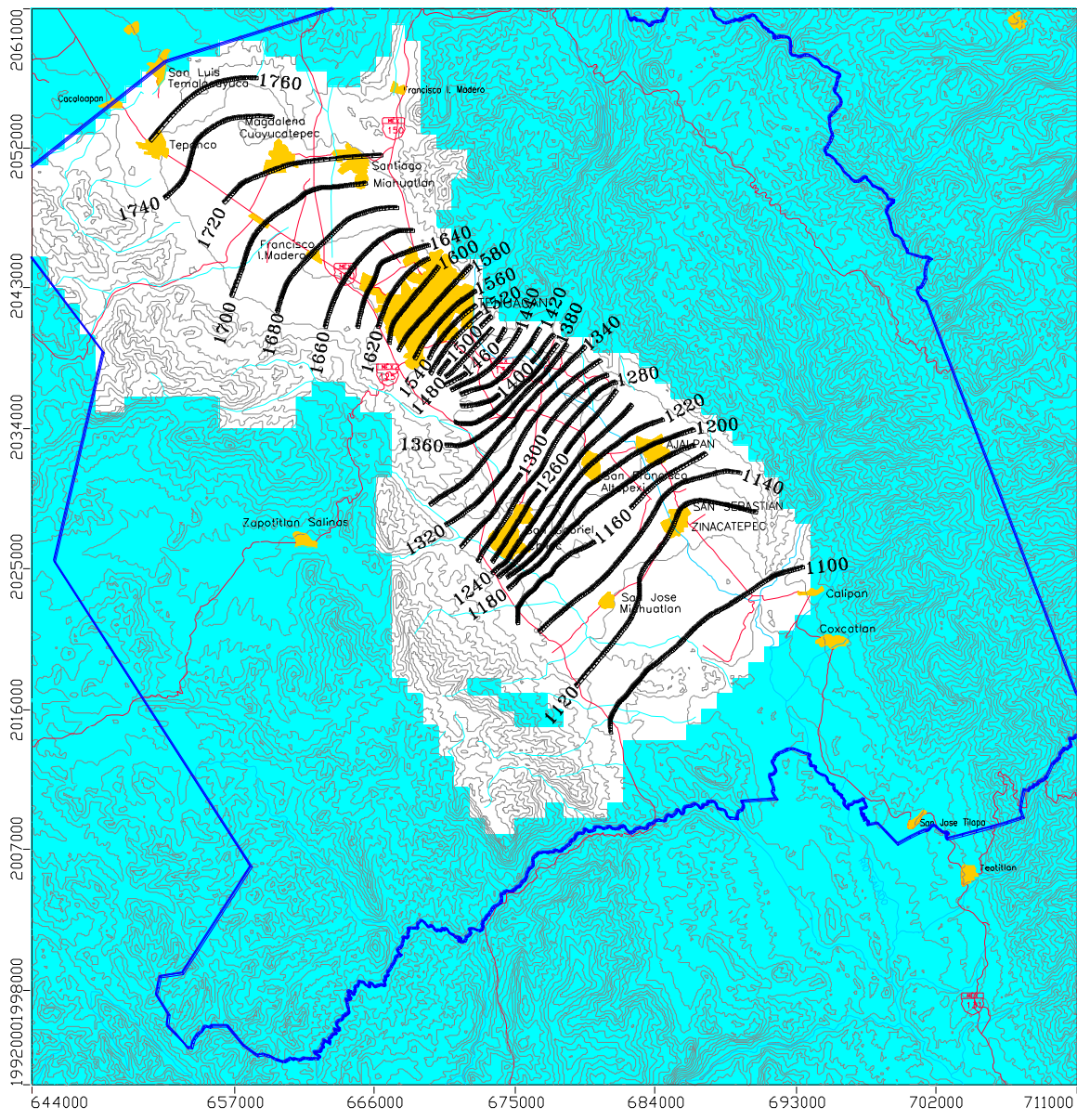


Figura No. 22 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2030 Escenario 1, inercial

El minado del acuífero provocará que los abatimientos de los niveles estáticos continúen, los cuales de acuerdo al modelo, serían como los que se muestran en la Figura 23 correspondientes al período 1981-2030. Estos descensos del nivel estático llegarían a ser hasta de -40.0 m en las cercanías y norte del poblado de Tehuacán, de -35.0 m hacia el este del poblado de Tepanco, asimismo, se presentarían valores entre -10.0 y -30.0 m en forma más distribuida a lo largo y ancho del acuífero, excepto hacia los alrededores de San Gabriel Chilac y hacia el sureste de los poblados de Ajalpan, San Sebastián Zinacantepec y San José Miahuatlán donde los valores

son cercanos a -5.0 m, así como valores aislados de recuperación del orden de 5.0 m, para ese período, lo que denota que esa área prácticamente continuaría estando en equilibrio. La existencia de algunos valores de recuperación se presentan prioritariamente en áreas donde la concentración de pozos de explotación es menor, como el área antes mencionada, así como también en zonas donde se presentan una mayor infiltración de agua al acuífero las cuales subyacen a zonas de riego con agua de galerías y en algunas zonas cercanas a las sierras.

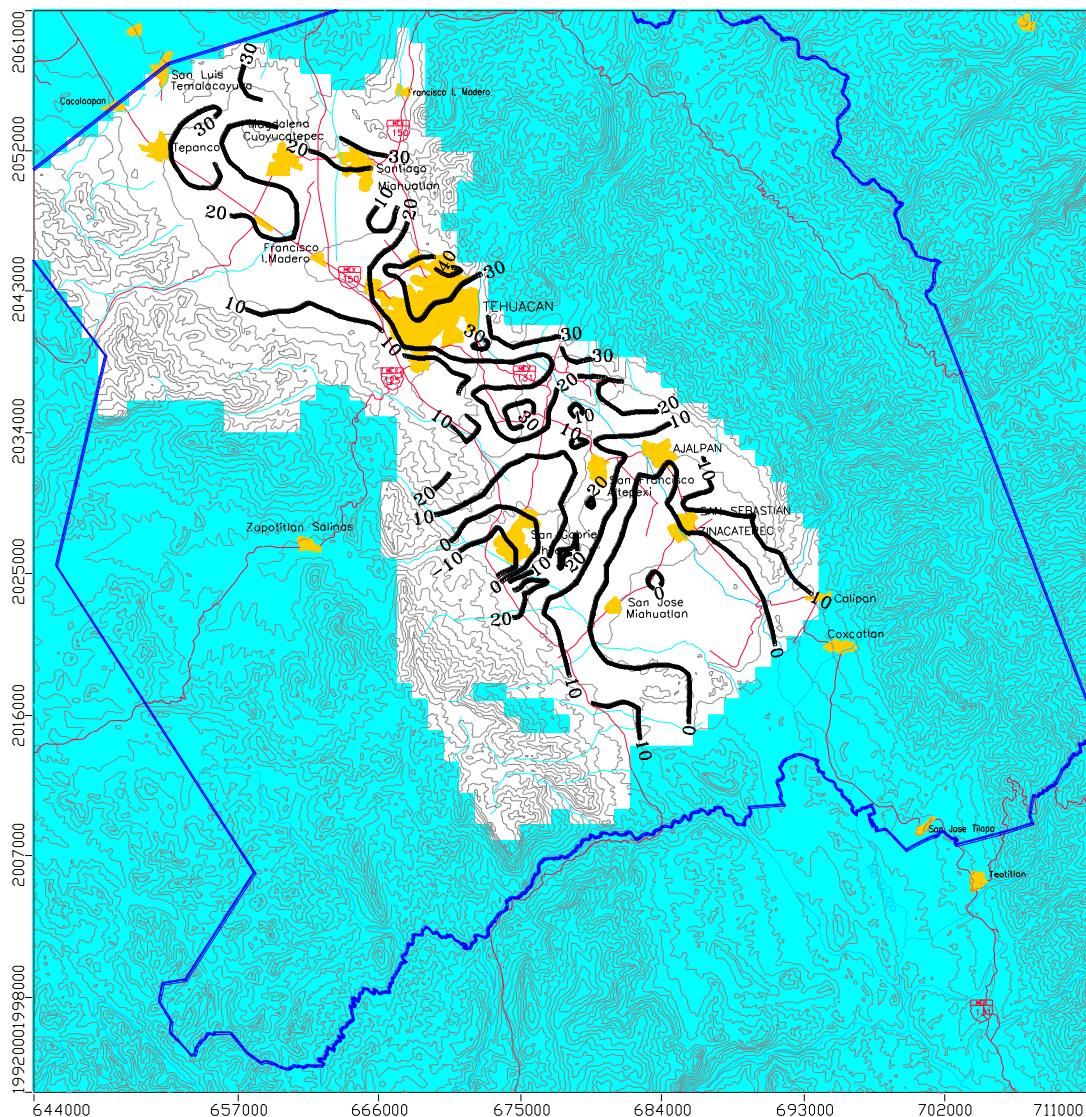


Figura No. 23 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2030 Escenario 1, inercial

Con los resultados que ofrece el modelo se obtuvieron promedios generales tanto de las elevaciones de los niveles estáticos, como de las profundidades y abatimientos de los mismos niveles estáticos, dichos promedios, que se muestran en la Tabla 11. Los promedios obtenidos para cada período deben tomarse como un índice de los cambios generales que se presentaran en el acuífero, y para el caso particular, de

una zona o lugar en el cual se deseen conocer las elevaciones y profundidades de los niveles estáticos deberán de consultarse directamente los resultados que ofrece el modelo.

La Figura 24 muestra una gráfica con los valores de las elevaciones y profundidades de los niveles medios del agua para los períodos de esfuerzo aplicados en el modelo; la profundidad media del nivel estático del año 2003 fue estimada a través de la diferencia de elevaciones entre la elevación promedio del terreno y la elevación promedio del nivel estático para esa fecha; el valor obtenido fue de 30.0 m valor semejante al obtenido como promedio con los pozos piloto, al respecto es oportuno mencionar que estos no cubren toda el área de estudio. Por falta de mayor información, se estimó que el nivel dinámico se encuentra en promedio y en todo el acuífero a 15.0 m del nivel estático.

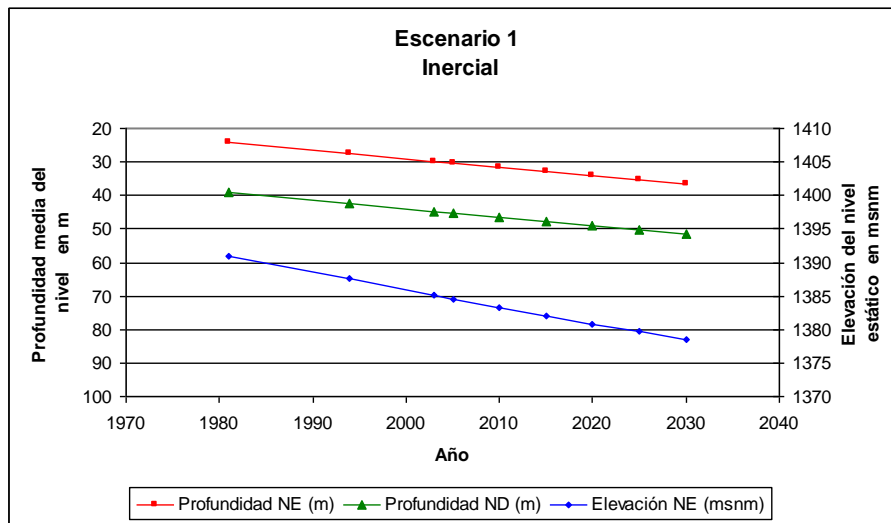


Figura No. 24 Evolución de los niveles medios de agua entre 1981-2030 escenario 1, Inercial

En este escenario se observa que de continuar la explotación del acuífero los minados del mismo continuaran, provocando la profundización de los niveles estáticos y dinámicos como se mencionó anteriormente, que a su vez incrementará los costos de bombeo, además de la necesidad de reposición de pozos e incremento en los costos ambientales entre otros efectos negativos. Adicionalmente a lo anterior y con la finalidad de conocer en forma local el comportamiento de los niveles estáticos del acuífero a través del tiempo a continuación se muestran los hidrógrafos de puntos seleccionados dentro del acuífero en estudio y que están señalados en la Figura 25.

Los hidrógrafos en general muestran una clara tendencia de abatimiento pero que difiere en su velocidad de un punto a otro como también se muestra en la Tabla 12 donde se indican los abatimientos acumulados desde 1981 y los anuales para el período 1981-1990.

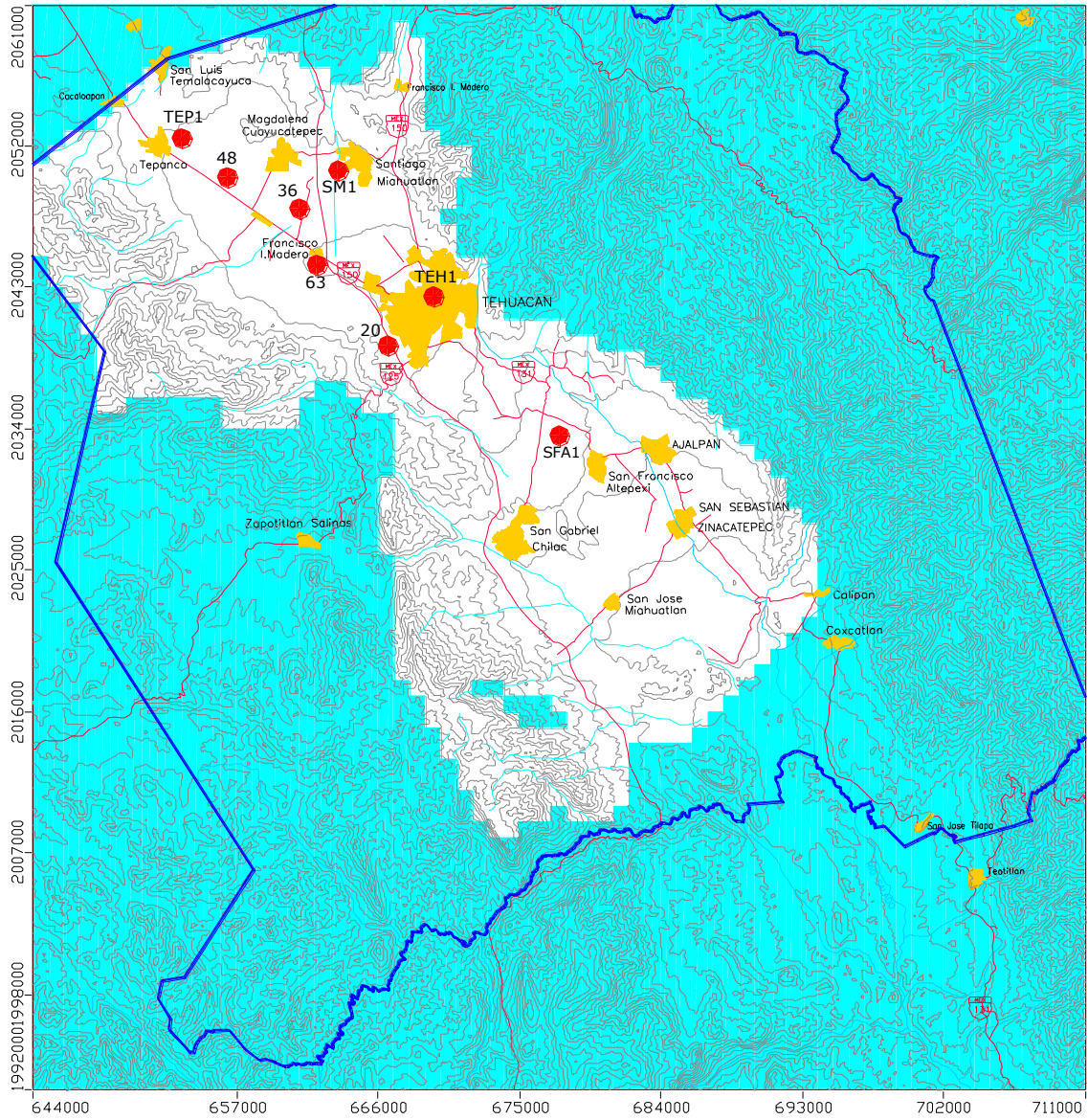


Figura No. 25 Localización de puntos para determinar la variación del nivel estático con hidrógrafos

Tabla 12 Abatimientos promedio en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacan. Escenario 1

Punto	Abatimiento total (m) 1981-2030	Abatimiento promedio anual (1981-2030)
P-20	-2.03	-0.04
P-36	-16.67	-0.34
P-48	-25.45	-0.52
P-63	-15.72	-0.32
P-SFA1	-11.16	-0.23
P-SM1	-18.20	-0.37
P-TEH1	-30.59	-0.62
P-TEP1	-34.06	-0.70

ESCENARIO 2, STATUS QUO EXTRACCIÓN ACTUAL

El presente escenario tiene como objetivo primordial conocer el comportamiento futuro del acuífero al considerar que no se presentará variación en el volumen de extracción anual, de manera que la demanda actual de agua se supone constante durante el período que cubre el análisis donde, también se considera que las recargas al acuífero son las que prevalecen en la actualidad.

Con los resultados obtenidos de la simulación se elaboró la Tabla 13 donde se aprecia que el acuífero se comporta prácticamente de la misma forma que para el escenario inercial, ya que las profundidades, elevaciones y evoluciones medias de los niveles de agua son básicamente las mismas. Esta situación se debe a que en el escenario inercial sólo se incrementó la extracción de agua subterránea para cubrir las demandas futuras de la población, ese incremento de extracción es bajo y por otro lado las recargas inducidas en el inercial son mayores, como también se puede apreciar en la tabla mencionada.

Tabla No. 13 Escenario Status Quo Extracción actual, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacan, Pue.

Escenario 2 Status Quo Extracción actual								Resultados de Modelo						
Año	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8	66.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0	47.0							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0	129.0	128.7	128.7	128.7	128.7	128.7	128.7	128.7
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.7	39.7	39.5	39.4	39.2	38.9	38.7
SALIDAS TOTALES	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	169.0	168.4	168.4	168.2	168.0	167.8	167.6	167.3
Riego con agua de galerías	128.4	128	128	128	128	128	128							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.6	49.4	49.9	50.2	50.3	50.3	50.2
Recarga lluvia en zonas altas adicionales a contemplada en Eh								10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
Recarga superficial Distrito	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	10.82	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	17.710	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	106.6	107.3	107.8	108.1	108.2	108.2	108.1
Minado (hm³/año)	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4	-61.8	-61.0	-60.5	-59.9	-59.6	-59.3	-59.2
Retorno galerías	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9	77.9							
Profundidad del nivel estático (m)								30.0	30.4	31.7	32.9	34.1	35.3	36.50
Profundidad del nivel dinámico (m)								45.0	45.4	46.7	47.9	49.1	50.3	51.50
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.22	-0.26	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24
Elevación del nivel estático (msnm)								1385.03	1384.60	1383.30	1382.10	1380.90	1379.70	1378.50

Las configuraciones de las curvas de igual elevación de los niveles estáticos obtenidas del modelo, para los años 2005 y 2030 se muestran en las Figuras 26 y 27 respectivamente.

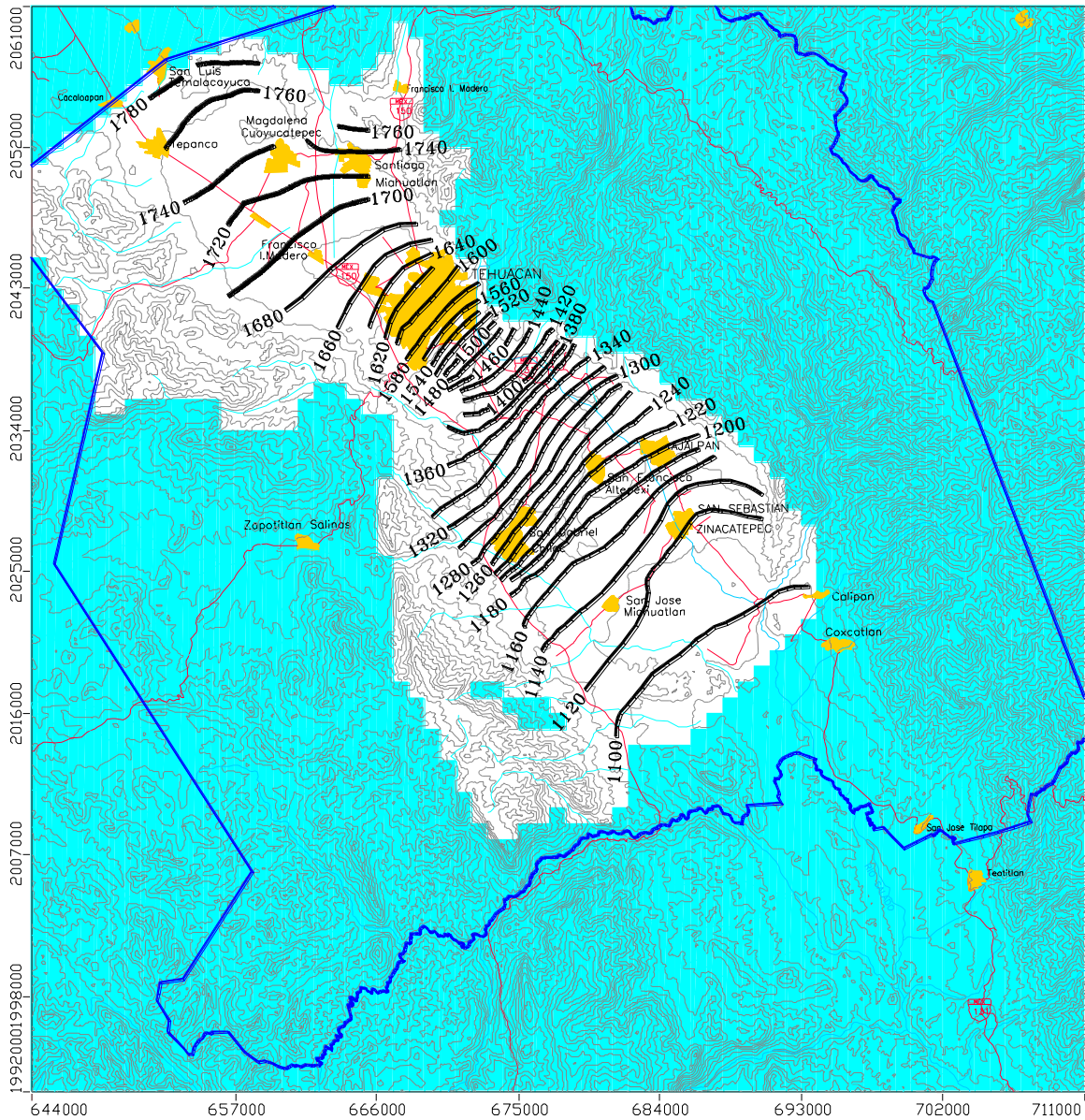


Figura No. 26 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2005 Escenario 2, Status Quo extracción actual

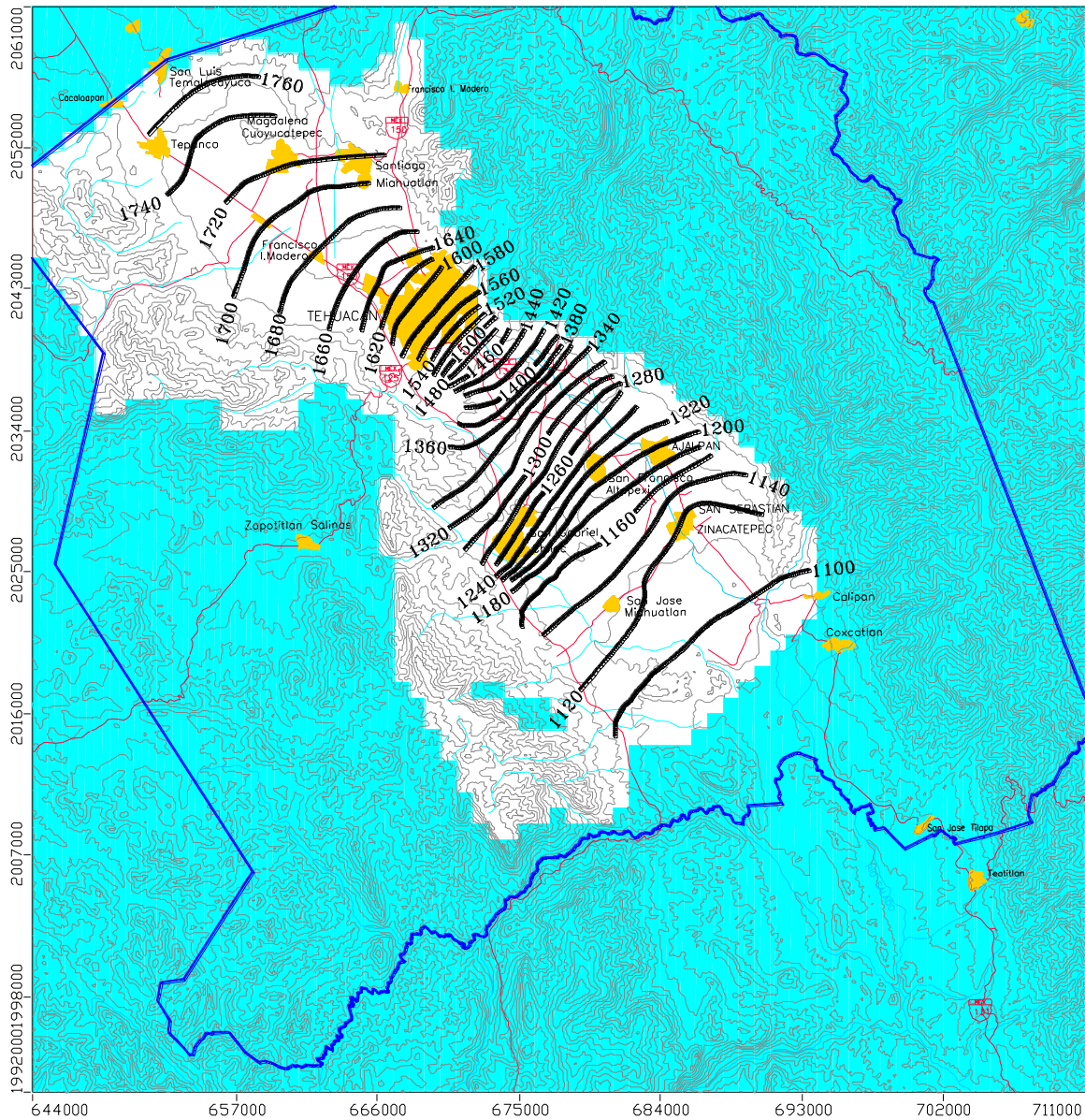


Figura No. 27 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2030 Escenario 2, Status Quo extracción actual

Debido a que la extracción supera a la recarga el minado del acuífero continuará, y por ende, los efectos secundarios como es el caso del descenso de los niveles estáticos del acuífero explotado por pozos, presentándose a razón de 0.25 m/año. En forma acumulativa, en el período 1981-2030, los abatimientos de los niveles de agua subterránea bajo este escenario, llegarán a ser hasta de -40 m al noreste del poblado de Tehuacán, de -35.0 m se presentarían al este del poblado de Tepanco y en algunos otros puntos aislados del acuífero; los abatimientos comprendidos entre -10.0 m y -30.0 m se presentarían distribuidos en toda el área de estudio excepto hacia la parte sureste de las poblaciones de San Sebastián Zinacantepec y San José

Miahuatlán donde la variación de los niveles es muy baja y con tendencias a la recuperación debido a que se ubican en zonas de riego y de poca explotación a través de pozos. La configuración de curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2030 se muestra en la Figura 28.

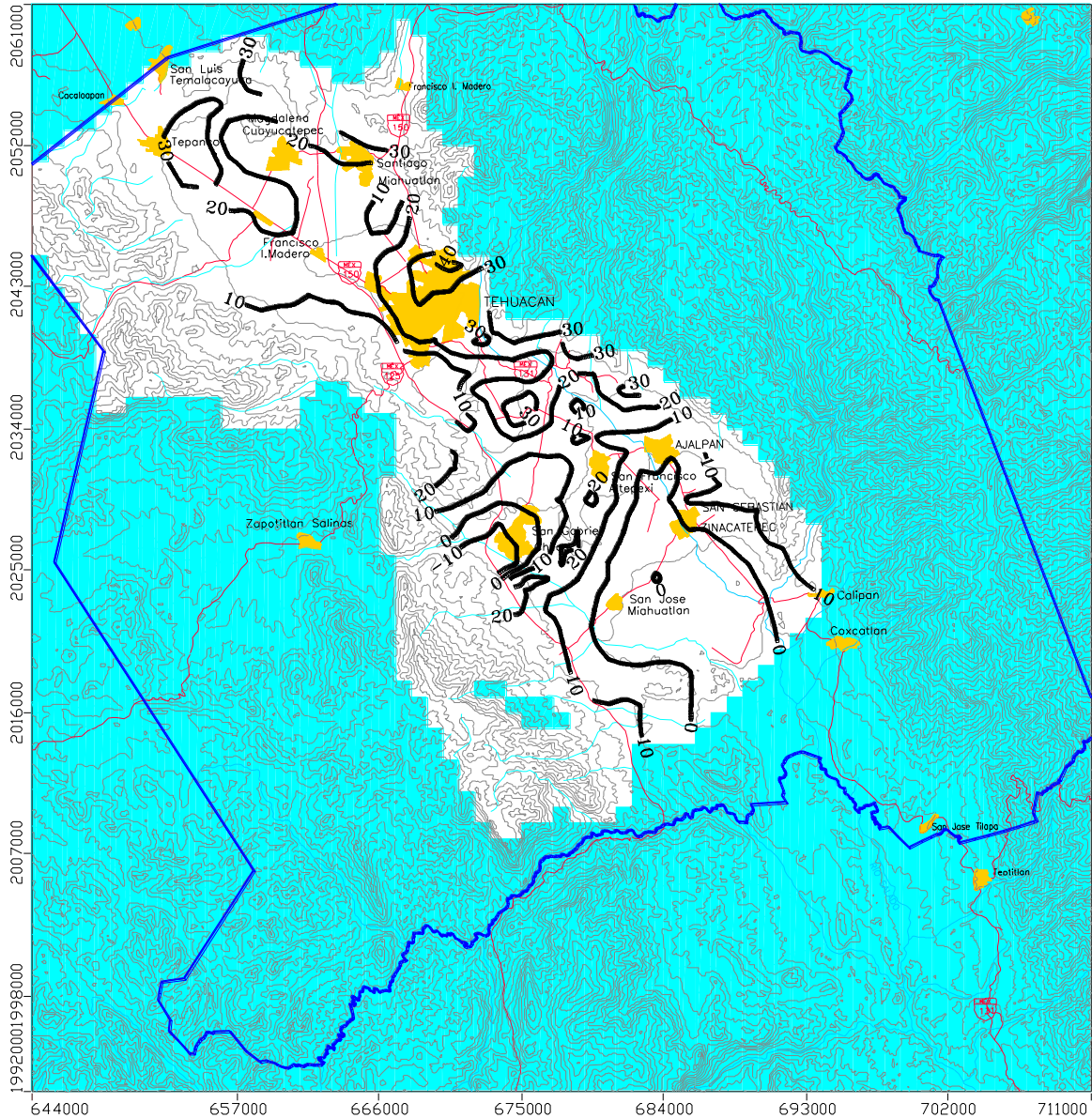


Figura No. 28 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2030 Escenario 2, Status Quo extracción actual

De acuerdo con los resultados ofrecidos por la simulación se obtuvieron los promedios de elevación, profundidad y evolución del nivel estático para cada período que se muestran en la Tabla 14. Para obtener dichos promedios se procedió de la misma forma que la indicada en el escenario denominado inercial, y deben tomarse como un índice de los cambios generales que se presentaran en el acuífero. Para el

caso particular de una zona o lugar en el cual se deseen conocer las elevaciones, profundidades y evoluciones de los niveles estáticos deberán de consultarse directamente los resultados que ofrece el modelo. La Figura 29 muestra una gráfica con los valores de las elevaciones y profundidades de los niveles medios del agua para los períodos de esfuerzo aplicados en el modelo.

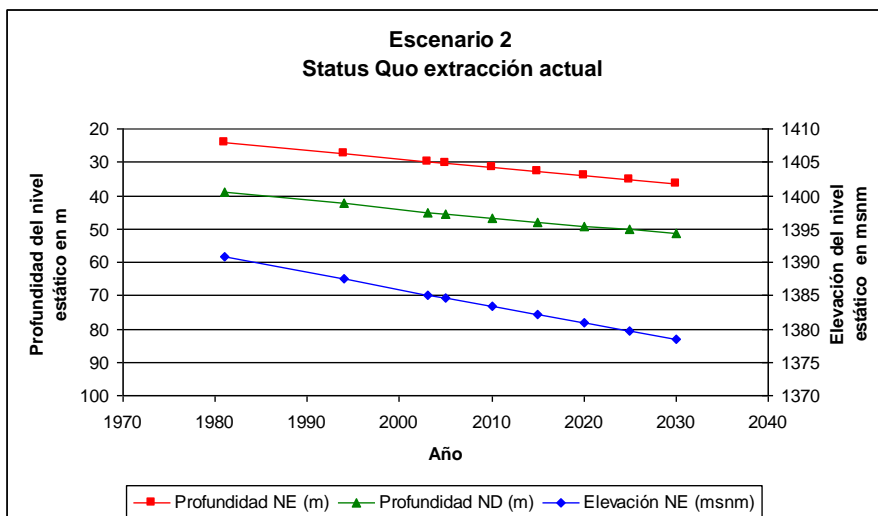


Figura No 29 Evolución de los niveles medios de agua entre 1981-2030 escenario 2, Status Quo extracción actual

Adicionalmente a lo anterior y con la finalidad de conocer en forma puntual el comportamiento de los niveles estáticos del acuífero a través del tiempo, a continuación se muestran los hidrógrafos de puntos seleccionados dentro del acuífero en estudio y que están señalados en la Figura 25. Los hidrógrafos en general muestran una tendencia al abatimiento del nivel estático, pero cada punto difiere en su velocidad de abatimiento como se muestra tanto en los hidrógrafos como en la Tabla 14 que señalan abatimientos acumulados y anuales.

Tabla 14 Abatimientos promedio en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacán. Escenario 2

Punto	Abatimiento total en (m) 1981-1930	Abatimiento promedio anual (1981-2030)
P-20	-0.34	-0.01
P-36	-16.54	-0.34
P-48	-26.35	-0.54
P-63	-14.70	-0.30
P-SFA1	-12.20	-0.25
P-SM1	-18.18	-0.37
P-TEH1	-29.19	-0.60
P-TEP1	-35.80	-0.73

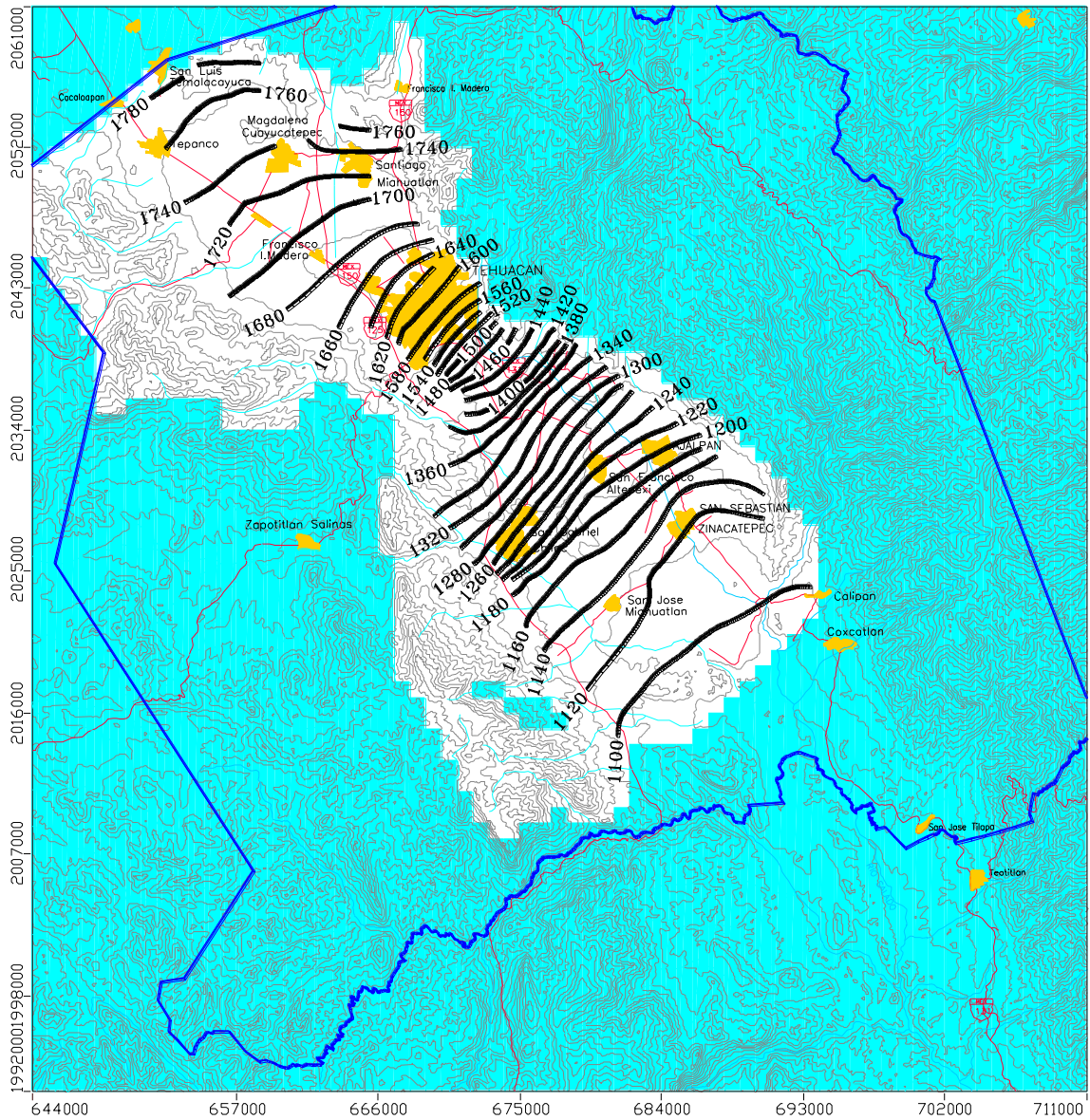
ESCENARIO 3, EXTRACCIÓN REPDA

Para conocer el comportamiento que el acuífero Valle de Tehuacán presentaría si a partir del año 2005 fuera explotado con un volumen igual al inscrito en el REPDA, se planteó el escenario 3. Este escenario contempla que el volumen inscrito en el REPDA será el mismo y continuo hasta el año 2030, que es del orden de 84.1 hm³/año, valor muy inferior a la extracción actual efectuada con pozos y que es de aproximadamente 129.0 hm³/año. En términos generales el presente escenario tiene como objetivo conocer cual sería la situación que prevalecería en el acuífero en el caso de que únicamente se explotare con los volúmenes concesionados. Los resultados de dicha simulación para el período 1981-1930 se presentan en la Tabla 15 donde se visualiza que el acuífero presentaría un minado del orden de 19.4 hm³/año, el que sería mucho menor al actual que es de aproximadamente 61.4 hm³/año.

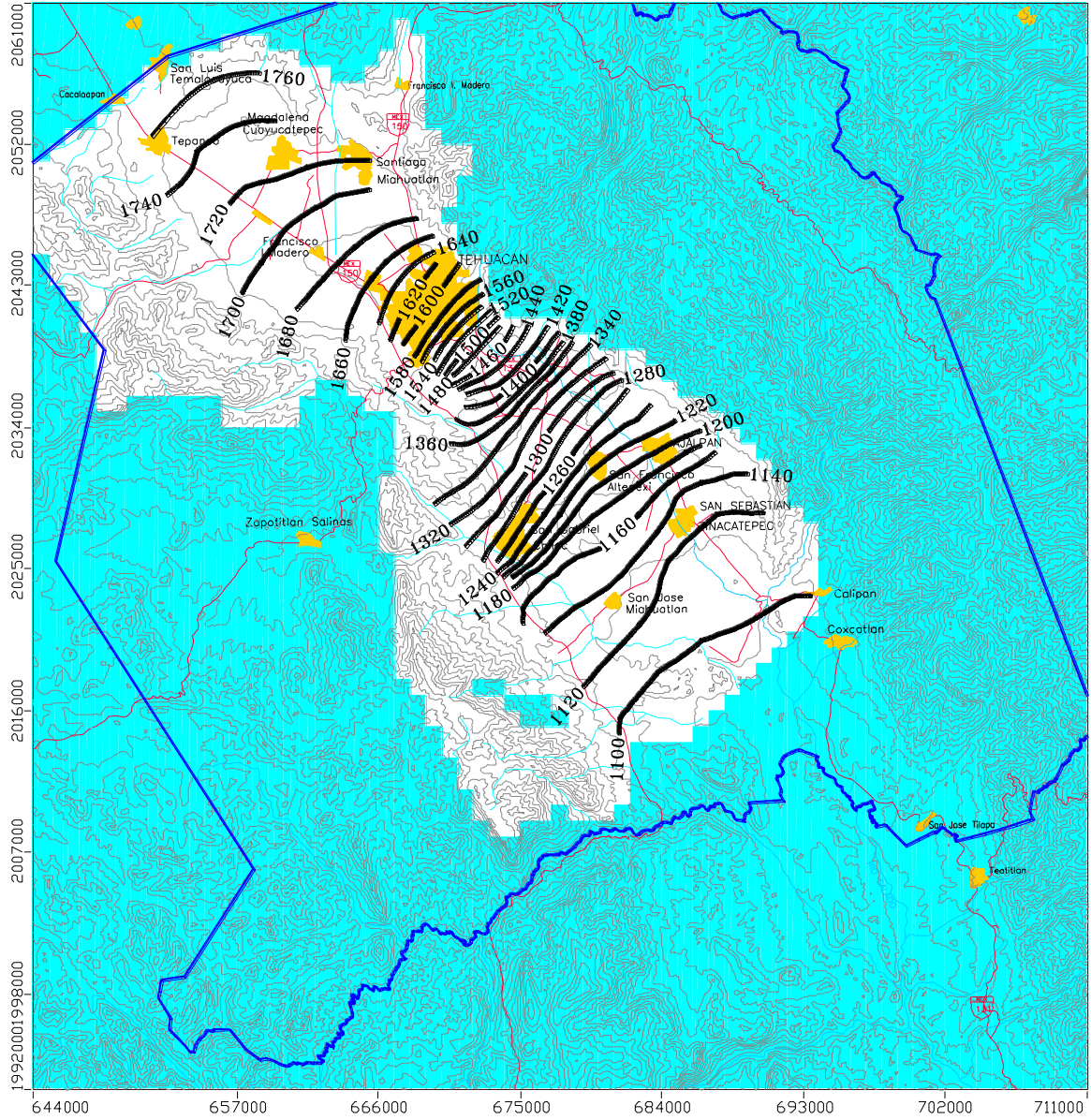
Las configuraciones de curvas de igual elevación de los niveles estáticos obtenidas del modelo, para los años 2005 y 2030 se muestran en las Figuras 30 y 31 respectivamente. En ellas se puede observar que aunque la tendencia de flujo es similar a la actual, es decir, el agua subterránea presenta una dirección preferencial de noroeste a sureste, las altitudes serían menores que en el escenario inercial para los años subsecuentes al de 2005. Como complemento a esta observación las Figuras 32 y 33 muestran las curvas de igual evolución del nivel estático para los períodos 1981-2005 y 1981-2030, en las cuales la velocidad de abatimiento disminuye respecto a las presentadas en el escenario inercial, tal situación también puede determinarse con los datos de promedios de elevaciones, profundidades y evoluciones del nivel estático señalados en la Tabla 15.

Tabla No. 15 Escenario Status Quo REPDA, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

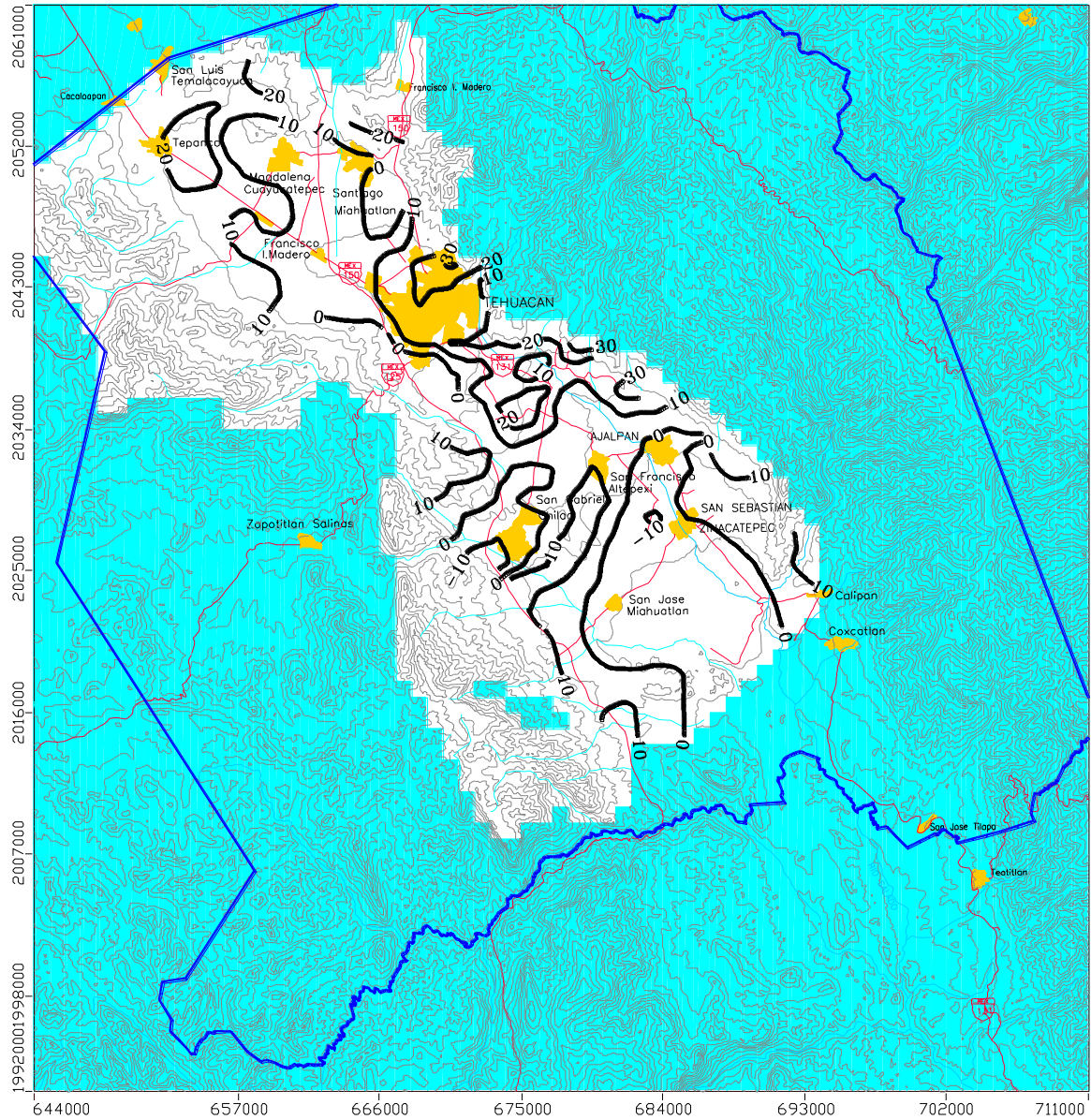
Escenario 3 Status Quo REPDA								Resultados de Modelo						
Año	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8	66.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	47.0	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	76.0	76.0	76.0	76.0	76.0							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	129.0	84.1	84.1	84.1	84.1	84.1	128.7	130.2	83.9	83.9	83.9	83.9	83.9
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.7	39.7	39.7	40.1	40.3	40.6	40.8
SALIDAS TOTALES	169.0	169.0	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1	168.4	169.8	123.6	123.9	124.2	124.4	124.6
Riego con agua de galerías	128.4	128	128	128	128	128	128							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.6	49.4	49.5	49.5	49.3	48.9	48.4
Recarga lluvia en zonas altas adicionales a contemplada en Eh								10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
Recarga superficial Distrito	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	3.8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	10.82	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	17.710	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	107.6	104.7	104.7	104.7	104.7	104.7	106.6	107	105	105	104	104	103
Minado (hm³/año)	-61.4	-61.4	-19.4	-19.4	-19.4	-19.4	-19.4	-61.8	-62.5	-19.1	-19.4	-19.9	-20.5	-21.2
Retorno galerías	77.9	77.9	71.9	71.9	71.9	71.9	71.9							
Profundidad del nivel estático (m)								29.97	30.49	30.82	31.16	31.52	31.88	32.26
Profundidad del nivel dinámico (m)								44.97	45.49	45.82	46.16	46.52	46.88	47.26
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.26	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07
Elevación del nivel estático (msnm)								1,385.03	1,384.51	1,384.18	1,383.84	1,383.48	1,383.12	1,382.74



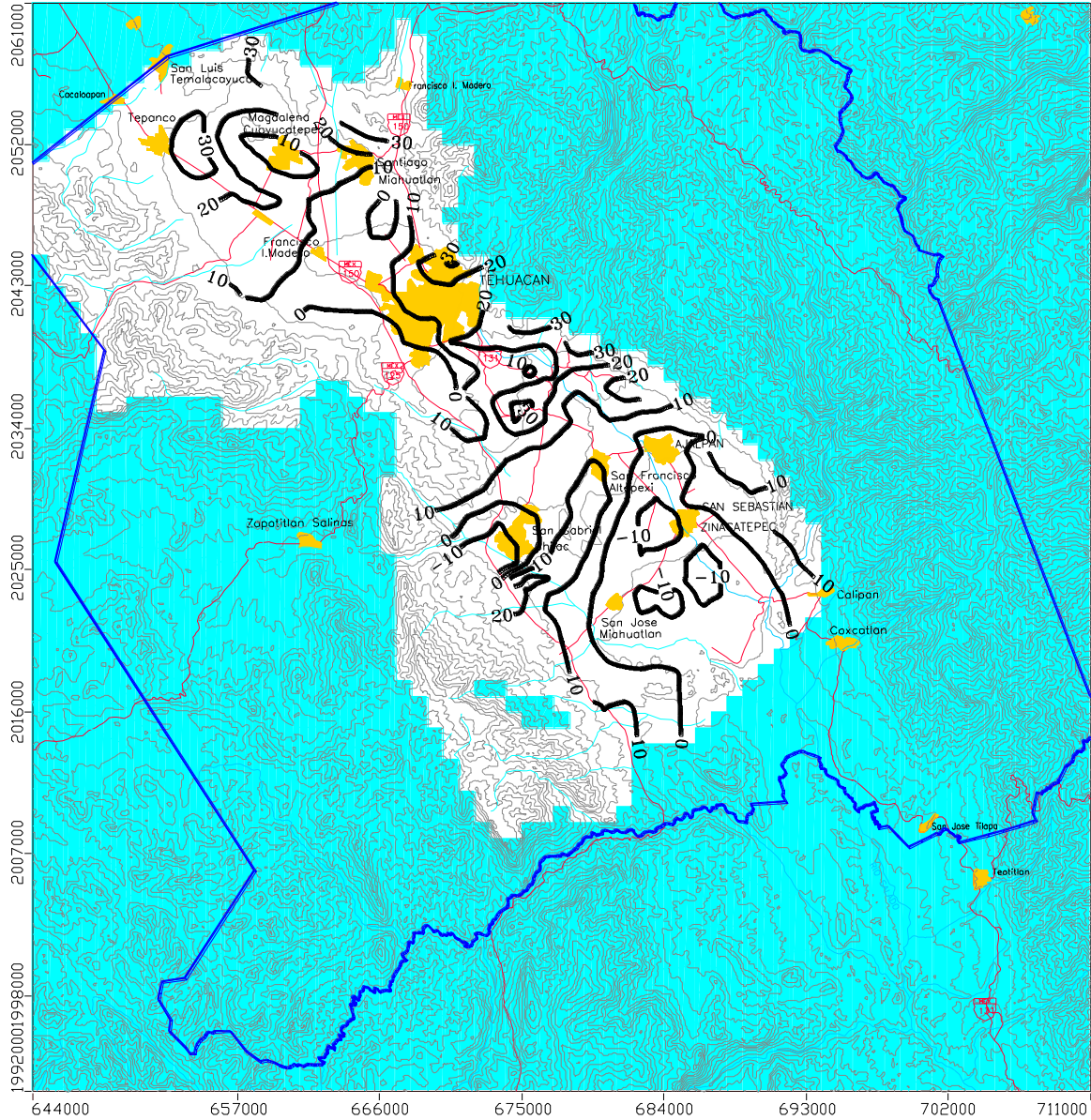
**Figura No 30 Configuración del nivel estático 2005
Escenario 3, extracción REPDA**



**Figura No 31 Configuración del nivel estático 2030
Escenario 3, extracción REPDA**



**Figura No. 32 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2005
Escenario 3, extracción REPDA**



**Figura No. 33 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2030
Escenario 3, extracción REPDA**

La Figura 34 muestra una gráfica con los valores de las elevaciones y profundidades de los niveles medios del agua para los periodos de esfuerzo aplicados en el modelo, en esta gráfica se puede observar como la velocidad de disminución de profundización de los niveles de agua disminuye a partir del año 2005.

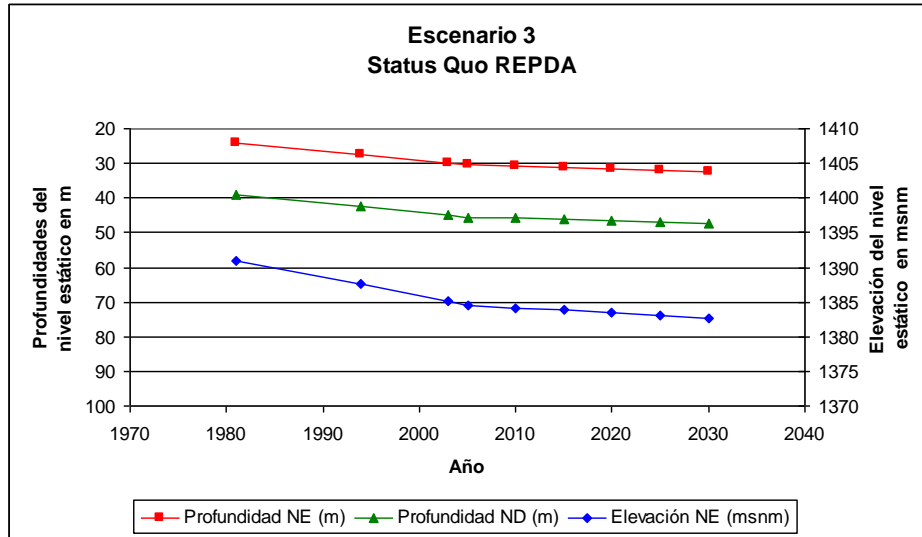


Figura No. 34 Evolución de los niveles medios de agua entre 1981-2030 escenario 2, Status Quo REPDA

Como complemento a lo anterior y con objeto de conocer en forma más local el comportamiento de los niveles estáticos del acuífero a través del tiempo, a continuación se incluyen algunos hidrógrafos de puntos seleccionados dentro del acuífero, Tabla 16.

Tabla 16 Abatimientos promedio en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacán. Escenario 3

Punto	Abatimiento total en (m) 1981-1930	Abatimiento promedio anual (1981-2030)
P-20	11.18	0.23
P-36	-9.80	-0.20
P-48	-22.45	-0.46
P-63	-5.89	-0.12
P-SFA1	-8.86	-0.18
P-SM1	-12.76	-0.26
P-TEH1	-16.29	-0.33
P-TEP1	-33.24	-0.68

ESCENARIO 4, MÁXIMA TECNIFICACIÓN

El presente escenario tiene como objetivo conocer el comportamiento del acuífero al considerar todas las acciones posibles de tecnificación para cada uno de los usos donde se destina el agua subterránea, a efecto de reducir al máximo las demandas de ese líquido en la zona de estudio.

El modelo contempla un período de 1981 a 2030, durante el cual para el período 1981-2003 se consideró que el bombeo y las recargas al acuífero son las que han prevalecido hasta la actualidad, asimismo, la explotación actual se extiende hasta el año 2005, a partir del cual se aplican las acciones de máxima tecnificación hasta el año 2030. De acuerdo a este escenario para el período 2003-2005 el volumen bruto de extracción de agua subterránea requerido sería del orden de $126.4 \text{ hm}^3/\text{año}$, y para el período 2025-2030 se calcula llegaría a ser del orden de $136.3 \text{ hm}^3/\text{año}$.

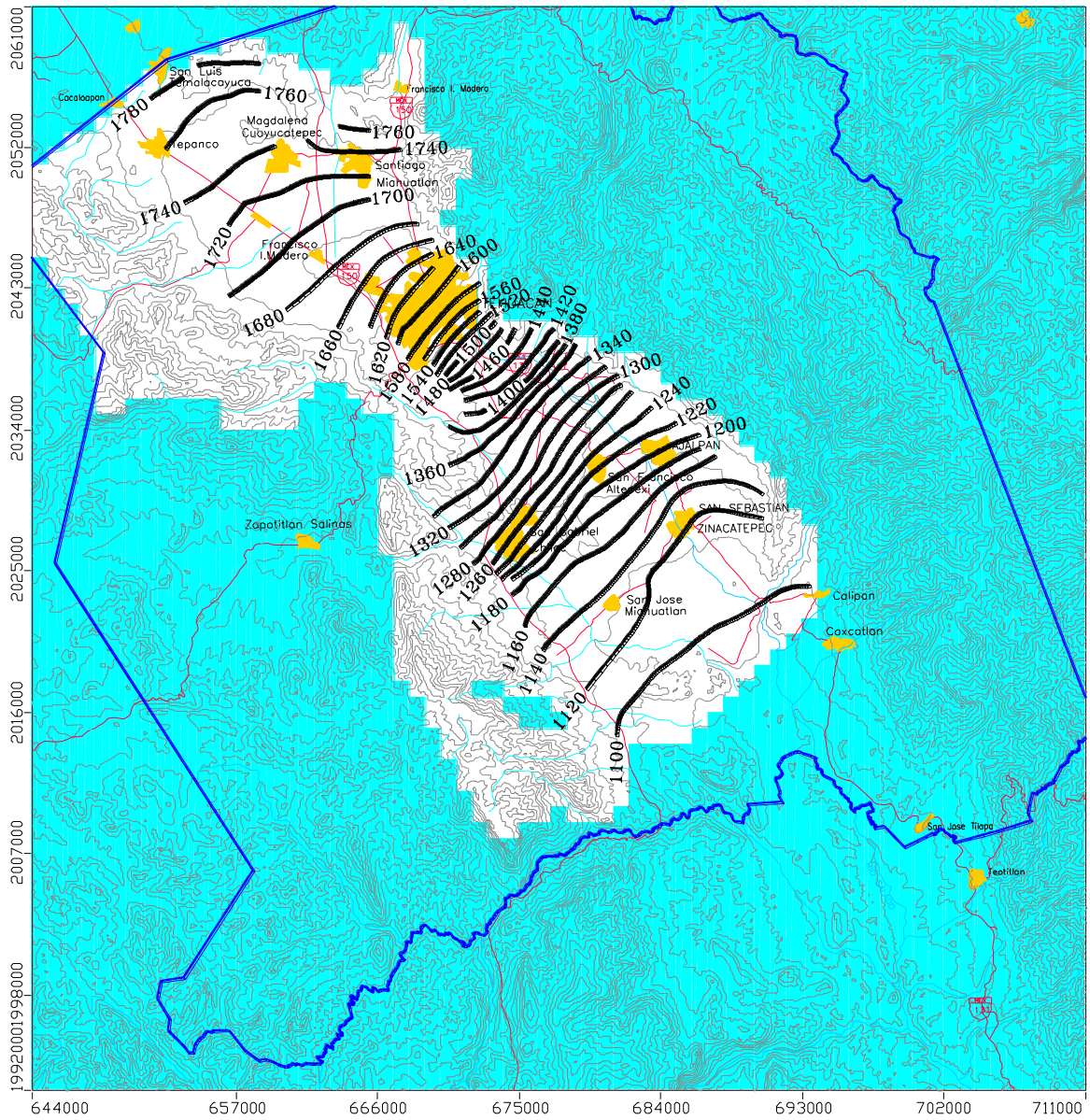
Las acciones de reducción de volúmenes de agua subterránea captadas con galerías y aplicadas al riego, incidirán directamente en una reducción de la recarga al acuífero al disminuir el volumen infiltrado que se deriva actualmente para ese uso y por aplicar los programas de uso eficiente; asimismo, los volúmenes que se llegan a infiltrar por excesos de riego con agua extraída a través de pozos, y por considerar la eliminación de fugas en los sistemas de abastecimiento, la recarga del acuífero se verá reducida a valores mínimos por estos conceptos. En la Tabla 17 se puede percibir como disminuye la recarga y por consecuencia como se incrementa el minado actual del acuífero, al pasar este último de $-61.4 \text{ hm}^3/\text{año}$ a $-77.9 \text{ hm}^3/\text{año}$, considerando desde luego el incremento de agua subterránea para cubrir las necesidades de la población futura estimada hasta el año 2030.

Adicionalmente a los balances que ofrece el modelo al efectuar las predicciones, se obtuvieron las configuraciones de curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2005 y 2030 que se exhiben en las Figuras 35 y 36.

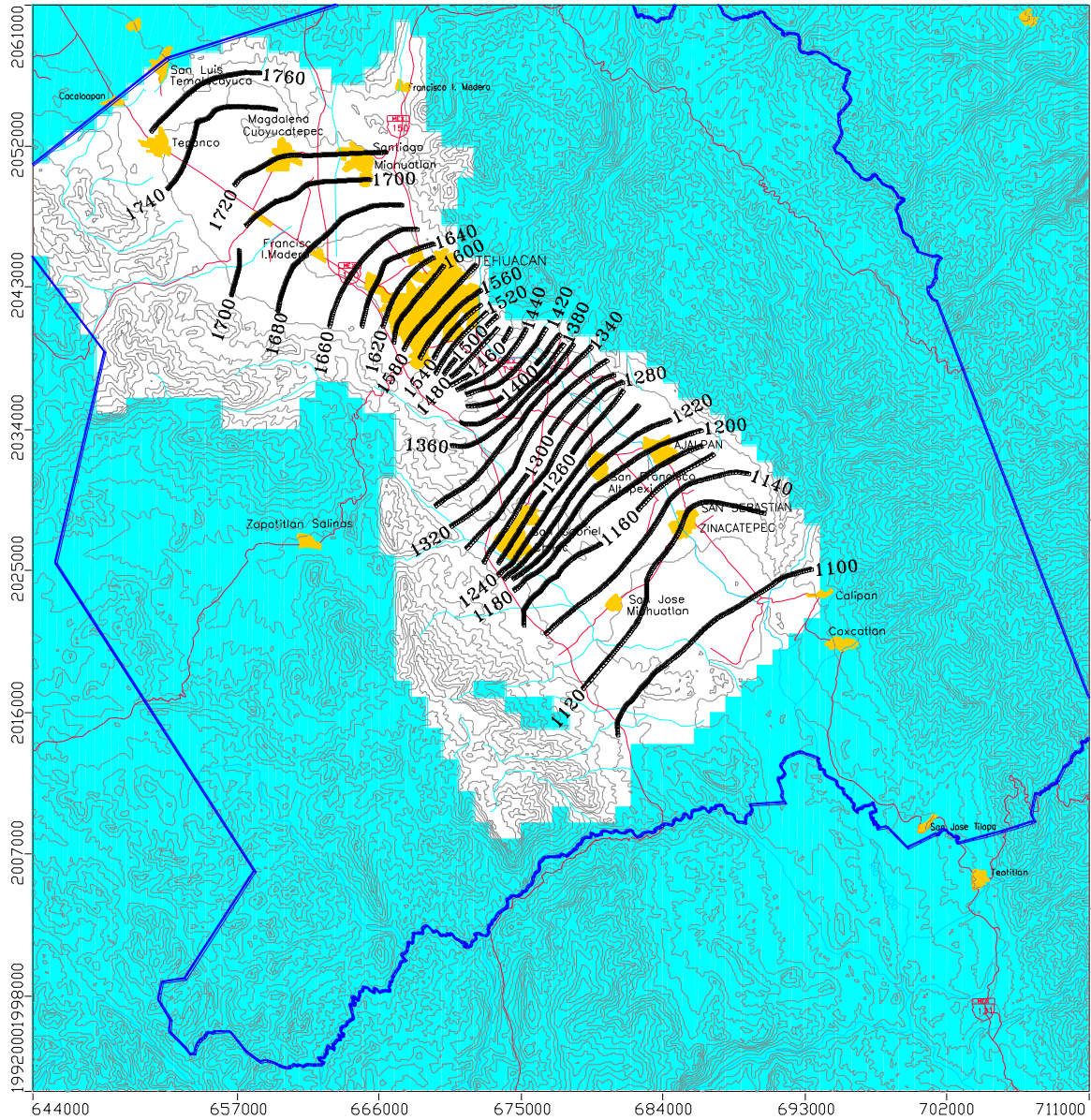
Las curvas de igual abatimiento del nivel estático para el período 1981-2030 muestran que los abatimientos máximos acumulados en ese período serán del orden -40.0 m , localizados principalmente al este del poblado de Tepanco e inmediaciones de la población de Tehuacán; valores de -35.0 m se observarían en las cercanías de los poblados de Santiago Miahuatlán, San Luis Temalacayuca y hacia el sureste de Tehuacán; de igual manera se tendrían abatimientos entre -10.0 m y -30.0 m en forma generalizada en todo el acuífero, a excepción de la zona localizada al sureste de los poblados de Ajalpan y San José Miahuatlán donde los descensos de los niveles estáticos del acuífero son mínimos y con tendencia al equilibrio.

Tabla No. 17 Escenario 4 Máxima tecnificación, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacan, Pue.

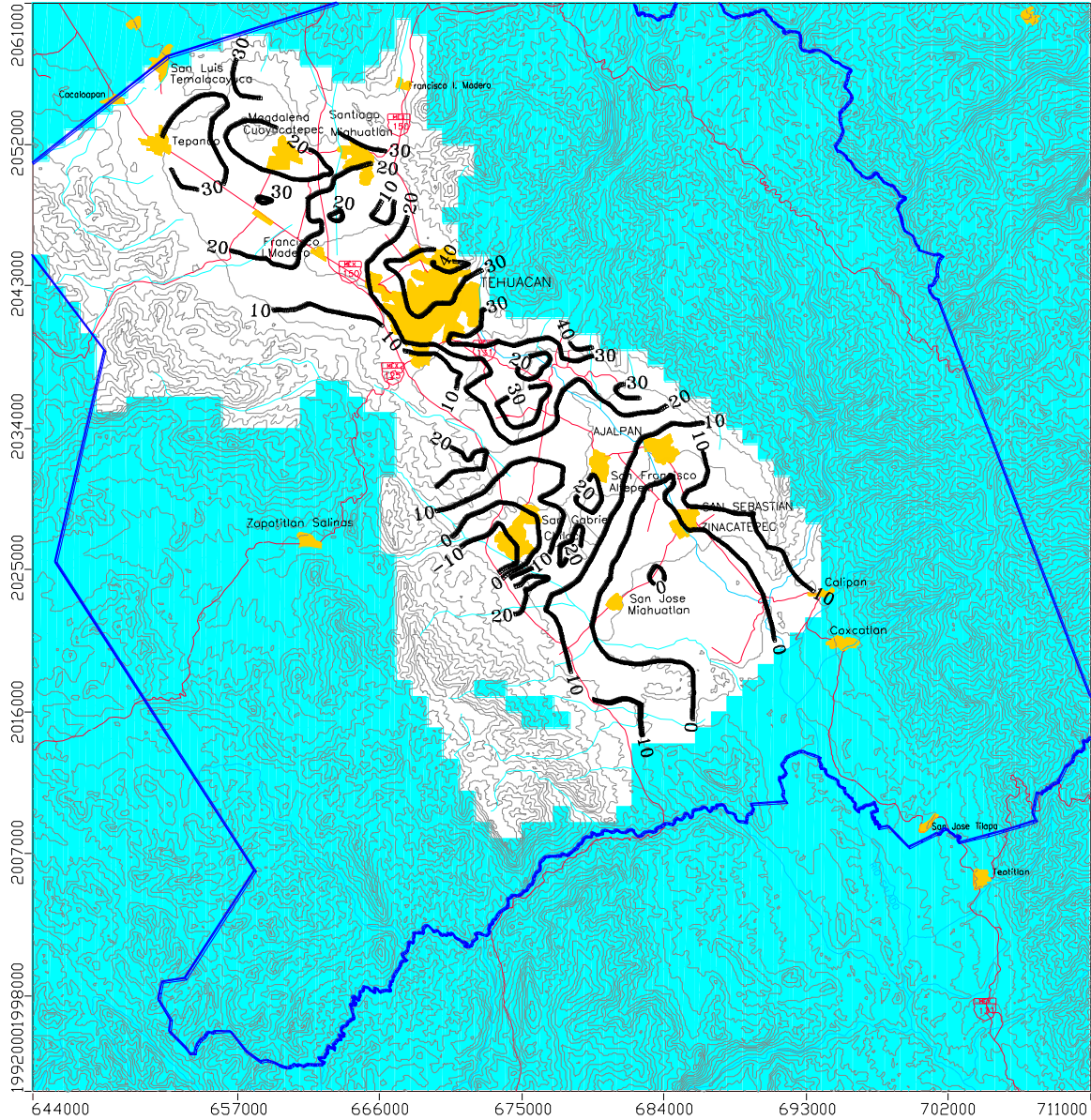
Escenario 4 Máxima tecnificación								Resultados de Modelo						
Año	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	44.4	42.7	45.6	48.6	51.4	54.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	44.4	42.7	45.6	48.6	51.4	54.3							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	126.4	124.7	127.6	130.6	133.4	136.3	128.70	126.06	124.36	127.26	130.26	133.05	135.94
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.70	39.69	39.53	39.29	39.01	38.67	38.28
SALIDAS TOTALES	169.0	166.4	164.7	167.6	170.6	173.4	176.3	168.40	165.75	163.89	166.55	169.27	171.72	174.22
Riego con agua de galerías	128.4	122	93	91	88	85	84							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	10.9	10.3	10.6	11.5	12.2	12.8							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.60	49.40	49.98	50.53	50.84	51.03	51.06
Recarga lluvia en zonas altas adicionales a contemplada en Eh								10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40
Recarga superficial Distrito	5.3	5.9	5.6	5.7	6.2	6.5	6.9							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	4.0	1.5	1.6	1.8	2.1	2.3							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	11.95	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	18.578	13.4	13.5	14.1	14.4	14.9							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	111.3	92.0	92.7	95.2	96.6	98.4	106.6	111.1	92.3	93.5	96.3	97.9	99.7
Minado (hm³/año)	-61.4	-55.1	-72.7	-74.9	-75.5	-76.8	-77.9	-61.8	-54.7	-71.6	-73.0	-73.0	-73.8	-74.5
Retorno galerías	77.9	71.8	42.0	41.0	38.5	36.7	35.4							
Profundidad del nivel estático (m)								29.97	30.42	31.95	33.48	34.97	36.50	37.99
Profundidad del nivel dinámico (m)								44.97	45.42	46.95	48.48	49.97	51.50	52.99
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.23	-0.31	-0.31	-0.30	-0.31	-0.30
Elevación del nivel estático (msnm)								1,385.03	1,384.58	1,383.05	1,381.52	1,380.03	1,378.50	1,377.01



**Figura No. 35 Configuración del nivel estático 2005
Escenario 4, máxima tecnificación**



**Figura No. 36 Configuración del nivel estático 2030
Escenario 4, máxima tecnificación**



**Figura No. 37 Evolución media del nivel estático 1981-2030
Escenario 4, máxima tecnificación**

La Figura 38 muestra una gráfica con los valores de las elevaciones y profundidades de los niveles medios del agua para los periodos de esfuerzo aplicados en el modelo.

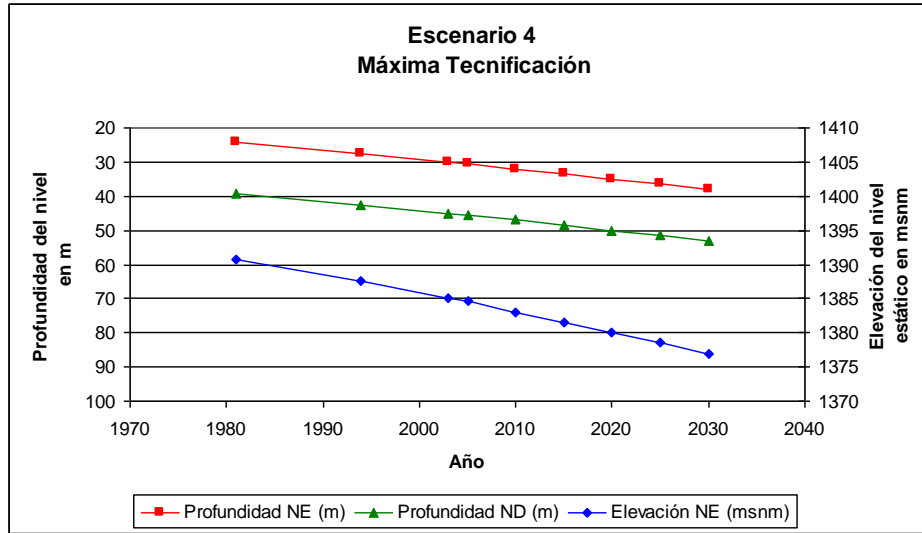


Figura No. 38 Evolución de los niveles medios de agua entre 1981-2030 escenario 4, máxima tecnificación

Para este escenario los hidrógrafos indican abatimientos generales de los niveles estáticos, correspondiendo los mayores a los puntos 4P48, PTEH1 y PTEP1 con valores acumulados entre los años 1981 y 2030 del orden de 29 a 37 m, como se puede observar en la Tabla 18, estos puntos se encuentran en zonas ubicados en las inmediaciones de los poblados de Tepanco y Tehuacán. Los hidrógrafos muestran que el ritmo de abatimiento en la mayoría de los sitios seleccionados se incrementa sensiblemente respecto a los escenarios inercial y al de Status Quo extracción actual.

Tabla 18 Abatimientos promedio en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacán. Escenario 4

Punto	Abatimiento total en (m) 1981-1930	Abatimiento promedio anual (1981-2030)
P- 20	-2.24	-0.05
P-36	-19.77	-0.40
P-48	-28.77	-0.59
P-63	-17.49	-0.36
P-SFA1	-14.62	-0.30
P-SM1	-20.80	-0.42
P-TEH1	-31.96	-0.65
P-TEP1	-36.75	-0.75

ESCENARIO 5, CONDICIONES DE ESTABILIZACIÓN

El acuífero Valle de Tehuacán actualmente se encuentra sobreexplotado y para lograr su estabilización se requiere que el minado del mismo se mantenga en lo futuro en un valor alrededor de cero, es decir, que se conserve el equilibrio entre las entradas y salidas de agua en el acuífero, de tal manera que se eviten cambios en el volumen de almacenamiento de agua subterránea. El presente escenario plantea el equilibrio del acuífero Valle de Tehuacán a través de disminuir las extracciones de agua subterránea hasta lograr la estabilización.

Se modeló un período comprendido entre los años 1981-2030, dentro de él, para el período 1981-2003, se simula que el bombeo y las recargas son las que han prevalecido hasta la actualidad, para el período 2003- 2005 se simula que el acuífero continuará siendo explotado en forma semejante a la actual; después, a partir del año 2005 y hasta el 2030 se aplican y simulan acciones de estabilización, que consisten básicamente en eliminar el bombeo de agua subterránea que se destina al uso agrícola, así como disminuir los volúmenes que se extraen del acuífero con fines de abastecimiento de agua potable; lo anterior tiene como consecuencia inmediata una reducción de la recarga inducida al acuífero por efecto de la eliminación de la infiltración de volúmenes de agua provenientes de los excesos por riego realizado con agua de pozo, así como por un menor volumen inducido al acuífero por disminución de fugas de los diversos sistemas de abastecimiento. Por otro lado se supone que las recargas al acuífero disminuyen, al ser captadas en mayor proporción por las galerías, ya que se ha estimado que a mayor extracción de agua del acuífero se tiene una disminución de la potencialidad de las galerías y viceversa.

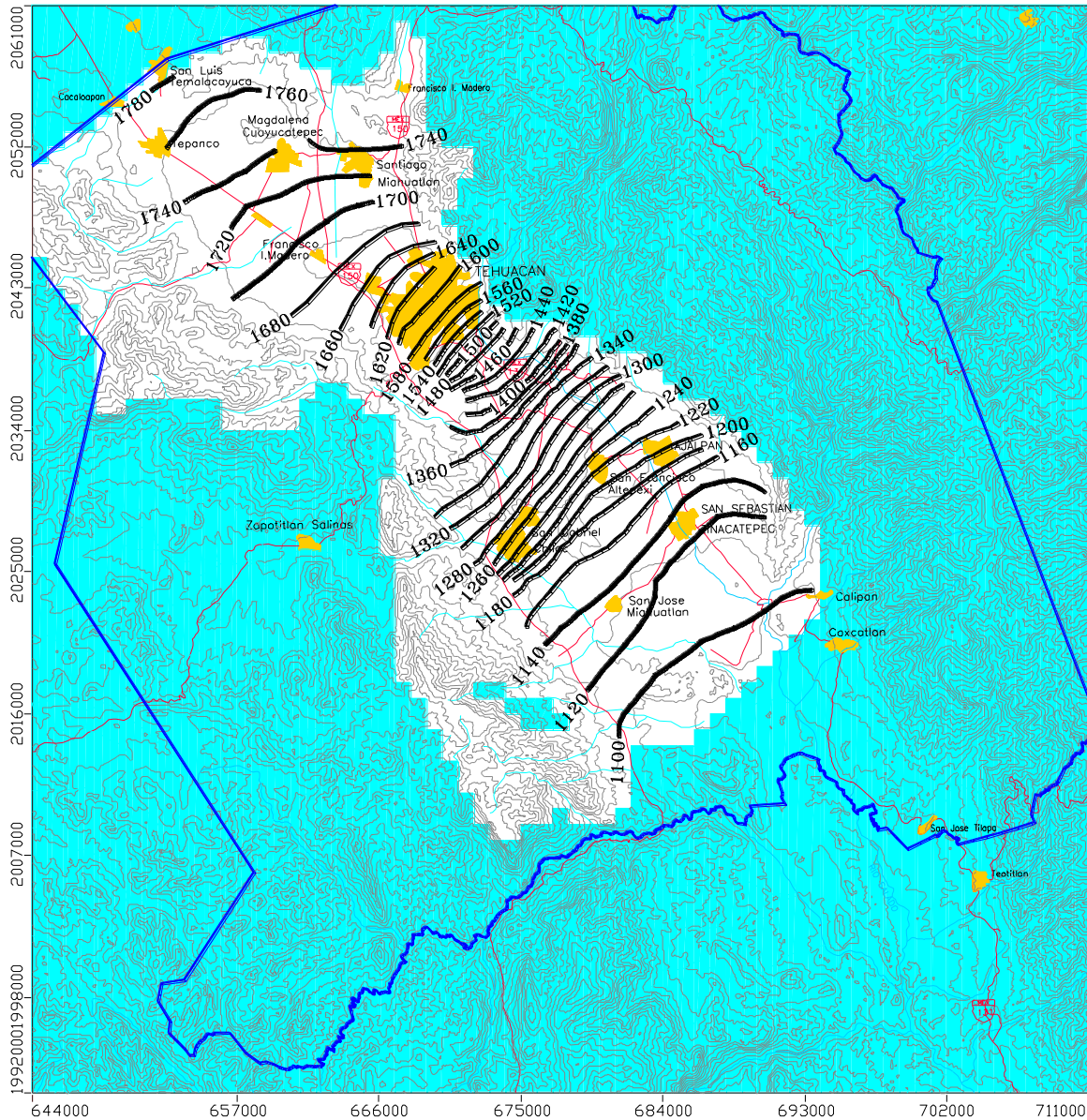
En la Tabla 19 se indican los volúmenes de extracciones y recargas para cada período considerado, así como la variación del cambio de almacenamiento, la cual se requiere sea de cero para lograr el equilibrio; en la parte derecha de esta tabla se anotan los resultados obtenidos de la simulación realizada con el modelo, con el cual se llega a simular el equilibrio del acuífero explotado con pozos.

Como se observa, en la citada tabla, el volumen de agua subterránea que se requiere extraer por medio de pozos a efecto de estabilizar el acuífero es del orden de 27.9 hm³/año, en lugar de los 129.0 hm³/año de agua que se extraen actualmente, es decir, se requiere disminuir el bombeo en aproximadamente 100 hm³/año para lograr la estabilización. Es importante observar que el volumen que se propone bombear a través de pozos es muy semejante al que se extraía hasta el año 1981, que era del orden de 28.0 hm³/año.

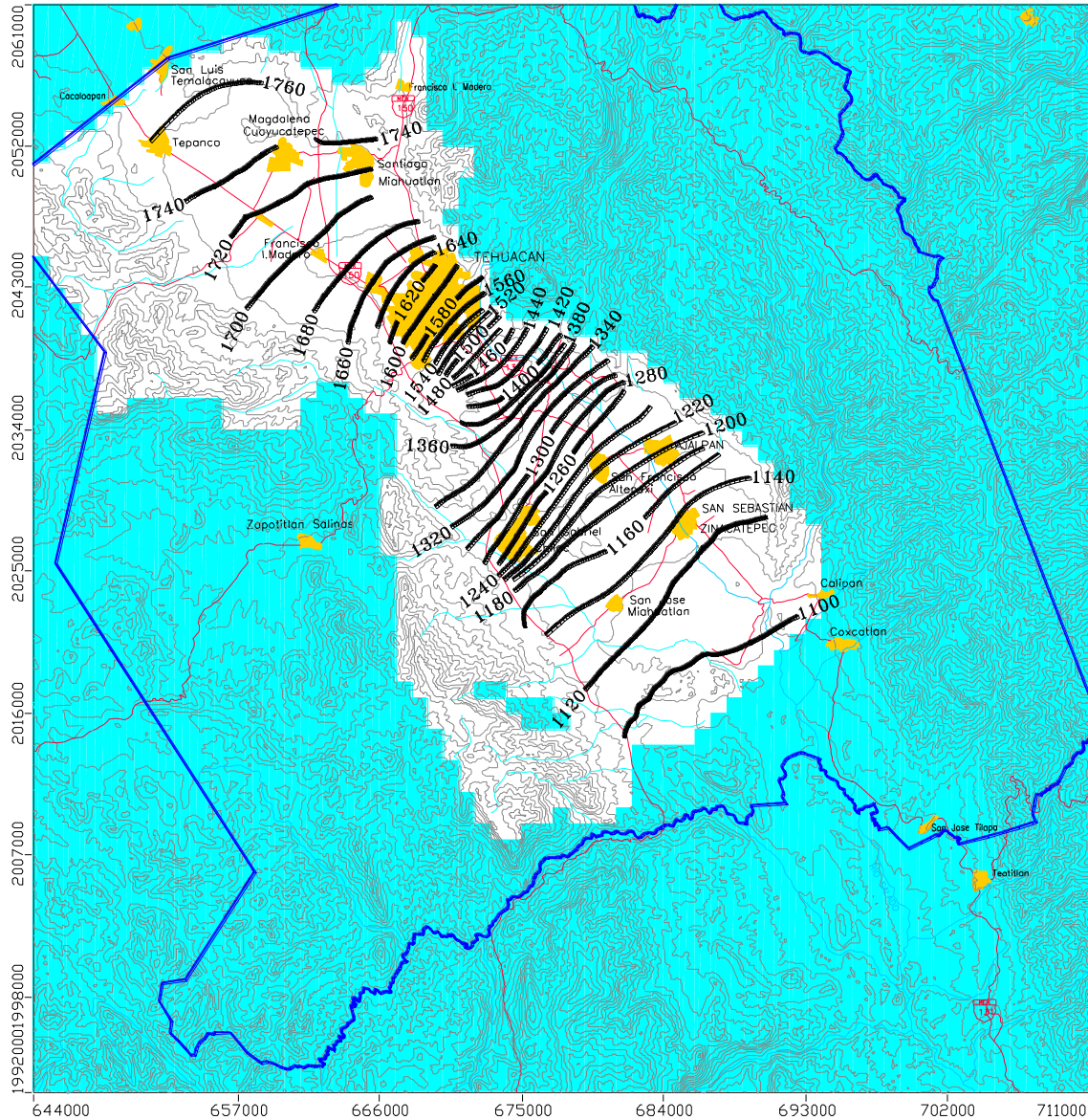
Tabla No. 19 Escenario 5 Estabilización, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacán

Escenario 5 Estabilización								Resultados del Modelo						
Año	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	48.5	52.1	55.6	59.3	62.8	66.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	47.0	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	129.0	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	128.70	128.67	27.80	27.80	27.80	27.80	27.80
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.7	39.68	40.08	40.88	41.63	42.28	42.82
SALIDAS TOTALES	169.0	169.0	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	168.4	168.4	67.9	68.7	69.4	70.1	70.6
Riego con agua de galerías	128.4	128.4	128.4	128.4	128.4	128.4	128.4							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	9.9	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.60	49.44	49.21	48.74	47.91	46.93	45.91
Recarga lluvia en zonas altas adicionales a contemplada en Eh								10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
Recarga superficial Distrito	5.3	5.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	3.8	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	10.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	17.7	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	107.6	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	106.6	107.3	70.2	69.7	68.9	67.9	66.9
Minado (hm³/año)	-61.4	-61.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-61.8	-61.0	2.3	1.0	-0.5	-2.2	-3.7
Retorno galerías	77.9	77.9	70.3	70.3	70.3	70.3	70.3							
Profundidad del nivel estático (m)								30.0	30.5	30.3	30.3	30.3	30.4	30.4
Profundidad del nivel dinámico (m)								45.0	45.5	45.3	45.3	45.3	45.4	45.4
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.26	0.03	0.01	0.00	-0.01	-0.02
Elevación del nivel estático (msnm)								1385.03	1384.52	1384.65	1384.70	1384.69	1384.64	1384.55

Se seleccionaron las configuraciones de curvas de igual elevación del nivel estático para los años 2010 y 2030 que se exponen en las Figuras 39 y 40, en ellas se puede observar que el acuífero puede considerarse estabilizado debido a que las configuraciones de los niveles estáticos son básicamente las mismas para esas fechas, por lo que la variación del almacenamiento es prácticamente nula, tal y como se observa en el balance.

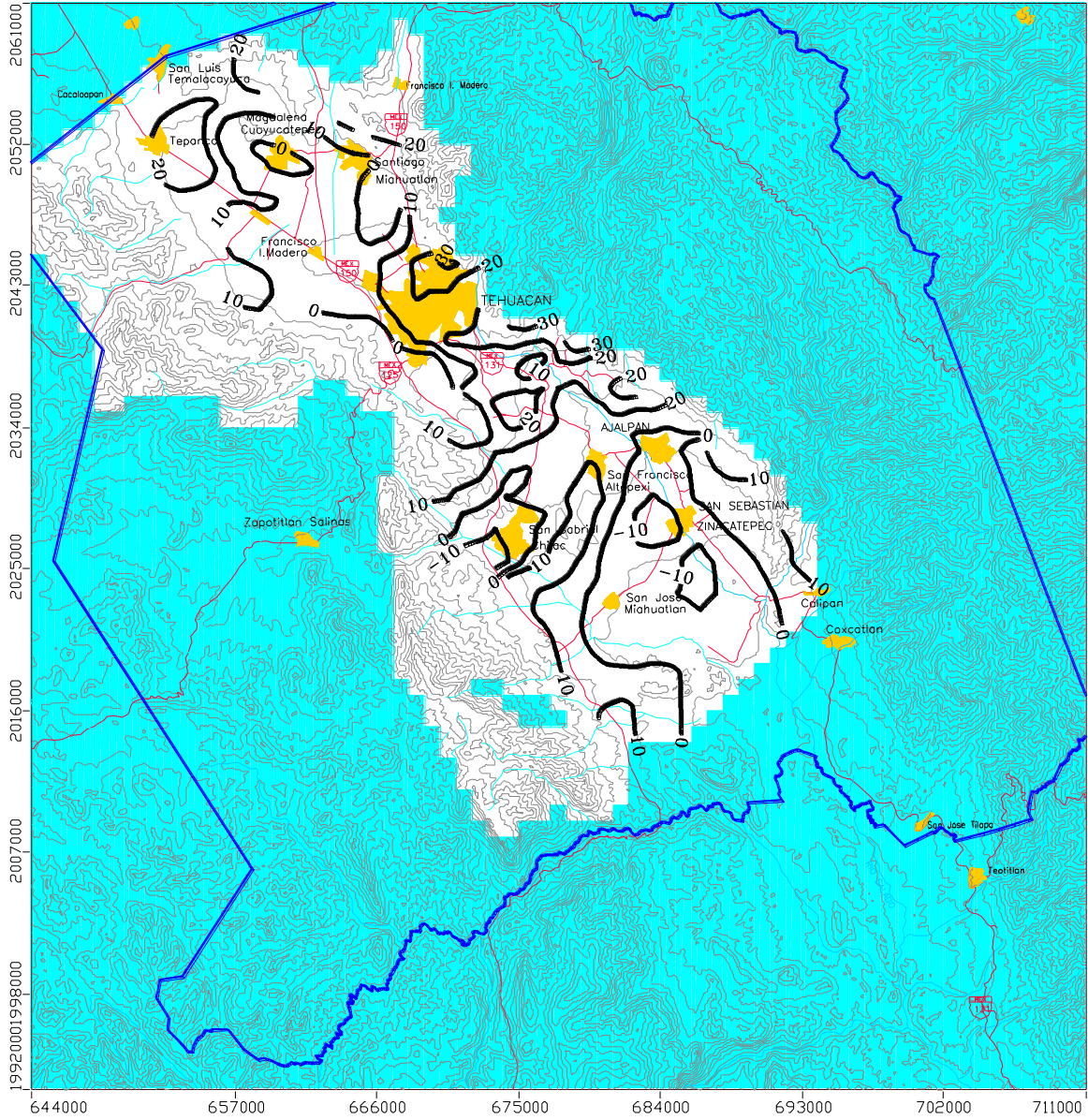


**Figura No. 39 Configuración del nivel estático 2010
Escenario 5, estabilización**

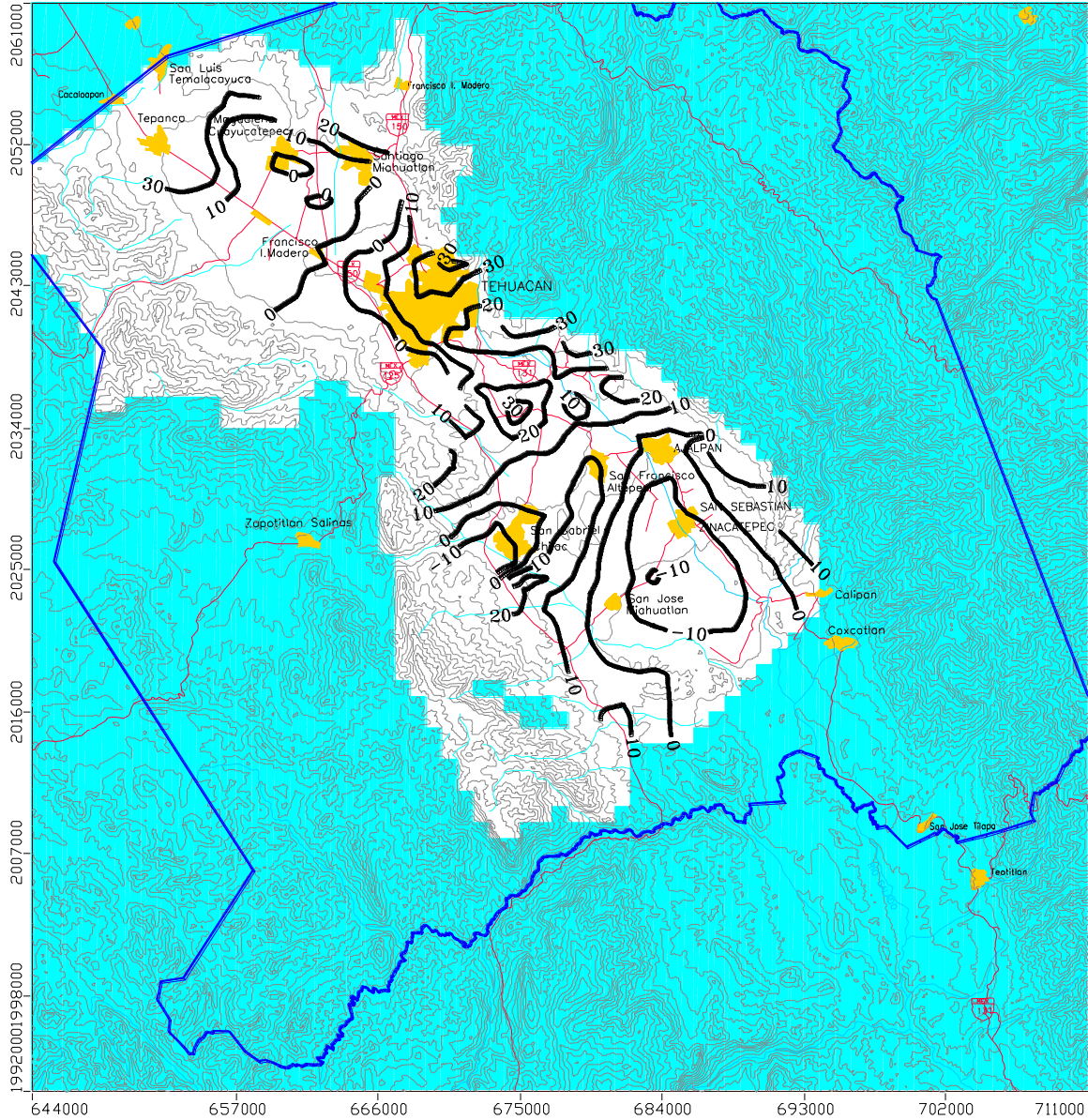


**Figura No. 40 Configuración del nivel estático 2030
Escenario 5, estabilización**

Asimismo, con base a las curvas de igual abatimiento del nivel estático correspondientes a los períodos 1981-2010 y 1981-2030, Figuras 41 y 42, se observa que tienen una distribución de abatimiento semejante, que permite confirmar una estabilización del acuífero, al respecto conviene resaltar que dichas variaciones son semejantes a partir del año 2005, por tanto no existen incrementos de abatimientos a los prevalcientes entre 1981-2005, sin embargo, como se verá más adelante, las velocidades de abatimiento difieren de un lugar a otro, pero en términos generales el promedio de variación del nivel estático posterior al año 2005 tiende a cero.



**Figura No. 41 Evolución media del nivel estático 1981-2010
Escenario 5, estabilización**



**Figura No. 42 Evolución media del nivel estático 1981-2030
Escenario 5, estabilización**

La Figura 43 muestra una gráfica con los valores de las elevaciones y profundidades de los niveles medios del agua para los períodos de esfuerzo aplicados en el modelo.

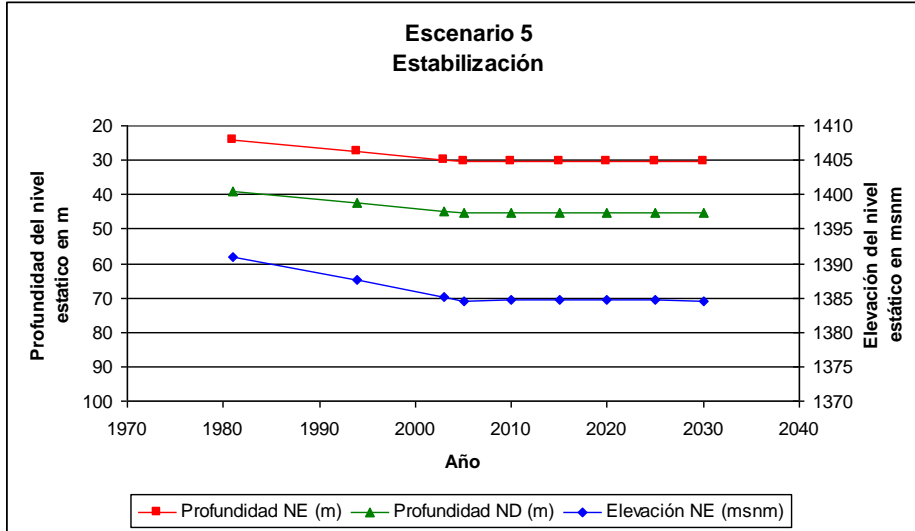


Figura No. 43 Evolución de los niveles medios de agua entre 1981-2030 escenario 5, Estabilización

En la Tabla 20 se muestran, para los sitios seleccionados, los abatimientos totales para el período 1981-2030, así como los anuales comprendidos en ese período, asimismo en la Tabla 21 se señalan los abatimientos para el período 2005-2030. En general se observa que dichos abatimientos anuales son bajos, a excepción de los puntos TEH1 y TEP1 para el período 1981-2030 donde actualmente existen abatimientos del orden de 0.8 m/año y de 1.1 m/año respectivamente; para el período 2005-2030 en el cual se aplica la reducción de bombeo, con objeto de lograr la estabilización del acuífero, las velocidades de abatimiento tienden a una disminución y en algunos casos a la recuperación, tendiendo en suma a la estabilización.

Tabla No. 20 Abatimientos promedio (1981-2030) en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacán. Escenario 5

Punto	Abatimiento total en (m) 1981-1930	Abatimiento promedio anual (1981-2030)
P-20	8.83	0.18
P-36	-0.53	-0.01
P-48	-12.79	-0.26
P-63	-0.12	0.00
P-SFA1	-10.50	-0.21
P-SM1	-3.14	-0.06
P-TEH1	-19.23	-0.39
P-TEP1	-29.43	-0.60

Tabla 21 Abatimientos promedio (2005-2030) en diversos puntos del acuífero Valle de Tehuacán. Escenario 5

Punto	Abatimiento total en (m) (2005-2030)	Abatimiento promedio anual (2005-2030)
P-20	3.84	0.15
P-36	4.70	0.19
P-48	1.82	0.07
P-63	5.36	0.21
P-SFA1	-5.62	-0.22
P-SM1	0.66	0.03
P-TEH1	-0.85	-0.03
P-TEP1	-3.83	-0.15

De acuerdo con los resultados obtenidos en los distintos escenarios se puede decir que para el escenario 1 Inercial y el escenario 2 Status Quo extracción actual, el acuífero se comporta básicamente en la misma forma, como se puede observar en las figura 40 y 45. Se aprecia que las extracciones netas difieren entre sí del orden de 1 a 7 hm³/año entre el período 2005-2030, valores bajos si se comparan con los volúmenes totales de extracción neta que son del orden de 100 hm³/año.

Esta situación se verifica al observar que los niveles estáticos son prácticamente iguales en los escenarios mencionados a lo largo de todo el período simulado. Lo anterior se debe a que en el escenario inercial únicamente se incrementó la extracción bruta destinada al uso público urbano de acuerdo a las demandas futuras, y por otra parte debido a que las recargas inducidas se incrementan sensiblemente, por lo que comparadas con el escenario 2 donde la extracción se mantiene constante e igual a la actual, provoca que la respuesta del acuífero sea semejante.

Siguiendo en orden de similitud de respuesta del acuífero ante las acciones planteadas de explotación en el período 2005-2030, el escenario de máxima tecnificación que requiere de volúmenes mayores de extracción neta de agua subterránea extraída por pozos, induce que los niveles estáticos se profundicen más al incrementarse el minado del acuífero (aun cuando la extracción bruta es menor que la inercial, los efectos de reducción de recarga inducida suscitan una extracción neta mayor).

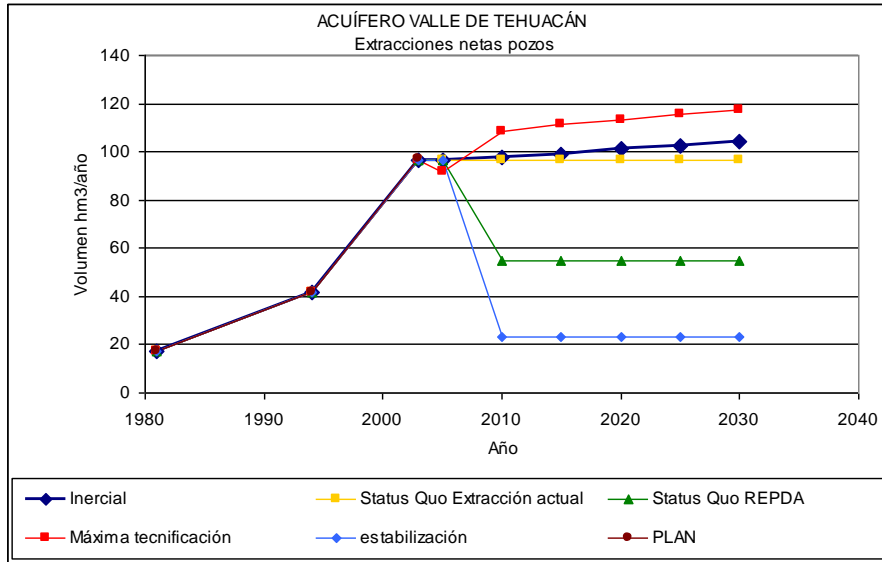


Figura No. 44 Extracciones netas de pozos

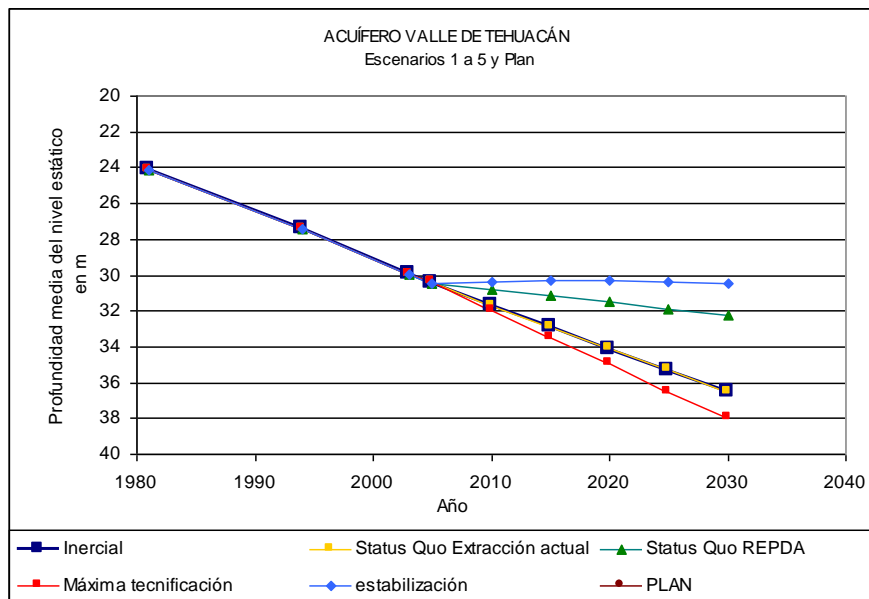


Figura No. 45 Profundidades medias del nivel estático

En cuanto a los escenarios REPDA y estabilización se concluye que difieren poco en la respuesta que ofrece el acuífero por lo que se refiere a la variación de sus niveles estáticos, que entre ellos es menos de 2.0 m, como se indica en la Figura 45, ya que ambos reducen significativamente el volumen de extracción neta, aun cuando dicho volumen en el escenario REPDA es 2 veces mayor que el requerido para lograr la estabilización, desde luego en este último escenario el minado es prácticamente cero mientras que en el de REPDA es del orden de $-20 \text{ hm}^3/\text{año}$, lo cual induce en promedio un ligero abatimiento de los niveles estáticos del acuífero, sin embargo, es re-

levante señalar que en algunos sitios específicos este abatimiento todavía sería considerable, como se puede notar con los hidrógrafos correspondientes a los puntos P-48 y P-63 del escenario REPDA, donde las elevaciones llegarían a ser del orden de 1728.0 y 1749.3 msnm respectivamente, mientras que en el escenario de estabilización serían del orden de 1737.7 y 1753.0 msnm para los mismos puntos. En la Tabla 22 se presentan comparaciones de algunos indicadores entre todos los escenarios analizados.

Tabla No. 22 Comparación entre escenarios presentados en balances

AÑO	1981	1994	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	
	1981	1994	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030	
Extracción bruta pozos (hm³/año)										
Inercial	28	70	129	131	134	138	141	145	148	
Status Quo Extracción actual	28	70	129	129	129	129	129	129	129	
Status Quo REPDA	28	70	129	129	84	84	84	84	84	
Máxima tecnificación	28	70	129	126	125	128	131	133	136	
Estabilización	28	70	129	129	28	28	28	28	28	
Extracción bruta galerías (hm³/año)										
Inercial	230	191	128	123	120	116	112	108	104	
Status Quo Extracción actual	230	191	128	128	128	128	128	128	128	
Status Quo REPDA	230	191	128	128	128	128	128	128	128	
Máxima tecnificación	230	191	128	122	93	91	88	85	84	
Estabilización	230	191	128	128	128	128	128	128	128	
Extracción total bruta (hm³/año)										
Inercial	258	261	257	254	254	253	253	253	253	
Status Quo Extracción actual	258	261	257	257	257	257	257	257	257	
Status Quo REPDA	258	261	257	257	212	212	212	212	212	
Máxima tecnificación	258	261	257	248	218	219	219	218	220	
Estabilización	258	261	257	257	156	156	156	156	156	
Extracción neta pozos (hm³/año)										
Inercial	17	42	97	96	98	99	101	102	104	
Status Quo Extracción actual	17	42	97	97	97	97	97	97	97	
Status Quo REPDA	17	42	97	97	55	55	55	55	55	
Máxima tecnificación	17	42	97	92	109	111	113	115	118	
Estabilización	17	42	97	97	23	23	23	23	23	
Extracción neta galerías (hm³/año)										
Inercial	133	111	62	60	59	58	57	56	55	
Status Quo Extracción actual	133	111	62	62	62	62	62	62	62	
Status Quo REPDA	133	111	62	62	68	68	68	68	68	
Máxima tecnificación	133	111	62	61	62	61	60	58	58	
Estabilización	133	111	62	62	73	73	73	73	73	
Extracción total neta (hm³/año)										
Inercial	151	153	158	156	157	157	158	158	159	
Status Quo Extracción actual	151	153	158	158	158	158	158	158	158	
Status Quo REPDA	151	153	158	158	122	122	122	122	122	
Máxima tecnificación	151	153	158	153	170	172	173	174	176	
Estabilización	151	153	158	158	97	97	97	97	97	
Minado total (hm³/año)										
Inercial	-57	-61	-61	-60	-60	-60	-62	-61	-62	
Status Quo Extracción actual	-57	-61	-61	-61	-61	-61	-61	-61	-61	
Status Quo REPDA	-57	-61	-61	-61	-19	-19	-19	-19	-19	
Máxima tecnificación	-57	-61	-61	-55	-73	-75	-75	-77	-78	
Estabilización	-57	-61	-61	-61	0	0	0	0	0	

7 DESCRIPCIÓN DEL PLAN

7.1 Objetivos

Los objetivos del *Plan de Manejo integrado para el aprovechamiento sostenible del agua en el Acuífero Valle de Tehuacán*, se fijaron en correspondencia con los usuarios del agua en el valle, definiendo el objetivo superior del Plan y el objetivo del proyecto. El cumplimiento de las acciones para llevar a cabo el Plan deberá realizarse en correspondencia con todos los sectores involucrados en la problemática.

7.1.1 Objetivo Superior

El objetivo superior del Plan es “**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, en su situación actual y para garantizar el abasto del preciado líquido a las generaciones futuras.

7.1.2 Objetivo del Plan de Manejo

El objetivo del Plan se definió como “**lograr el manejo adecuado del acuífero**”, lo que significa disminuir los abatimientos de los niveles del agua hasta su estabilización, de tal manera de conservar el almacenamiento del agua subterránea, considerado como un recurso no renovable y estratégico.

7.1.3 Objetivo Estratégicos

Para cumplir con el objetivo del Plan de Manejo, se definieron cuatro objetivos estratégicos, que se enumeran a continuación:

- 5. Conocer la demanda y la disponibilidad**
- 6. Aplicar el marco legal**
- 7. Contar con una adecuada cultura del ahorro del agua**
- 8. Disminuir la demanda e incrementar la oferta de agua**

Las tres primeras son un apoyo a la cuarta, que será la que realmente ayude a lograr la estabilización del acuífero, pero sin el apoyo de las primeras, será muy difícil llegar a un buen fin.

7.2 Descripción de las Líneas de Acción

Los objetivos se ubican dentro de un marco de sustentabilidad del agua subterránea, con esta premisa se pretende lograr una estabilización del acuífero a nivel general, de manera que el minado actual de 61 hm³/año se reduzca prácticamente a cero en el año 2030, lo que implica que en promedio los abatimientos de los niveles estáticos en el acuífero tiendan también a cero; sin embargo y debido a que existen zonas con concentraciones de pozos, habrá sitios donde los abatimientos no lleguen a ser nulos y continúen existiendo, pero con menores ritmos de velocidad a los actuales. Por lo

tanto, la aplicación de estas acciones y su respuesta en el acuífero deberán tomarse como una primera etapa a corto plazo, para su rectificación y/o ratificación periódica.

En el uso público urbano se pretende disminuir las dotaciones con apoyo en la cultura del agua y con base a programas del uso eficiente del agua en forma progresiva, se contempla disminuir las fugas en las redes de distribución que actualmente se estiman en 35%, a un valor del orden de 20%.

Debido a que aproximadamente el 86% del agua subterránea que se extrae en el acuífero es destinada al uso agrícola, se propone una reducción de la extracción mediante la implantación de sistemas de riego por goteo, como una primera etapa, ya que en un futuro próximo se esperan riegos aún más eficientes, como el uso de invernaderos, donde además de emplear menos agua se puede obtener una mejoría del rendimiento, y de la calidad y el valor del producto. Los cultivos y sus consumos se obtuvieron utilizando técnicas de optimización de programación lineal, en donde la función objetivo contempla la maximización del valor del agua.

Acciones adicionales a las mencionadas pueden referirse al uso del agua tratada en diversas aplicaciones para contribuir a las reducciones de extracciones netas del acuífero.

De acuerdo con lo anteriormente descrito, a continuación se hace una descripción de las principales actividades que integran cada uno de los objetivos estratégicos seleccionados en la concertación del Plan de Manejo y descritos en el capítulo anterior.

Conocer la demanda y la disponibilidad

a.1 Actualización de las condiciones geohidrológicas

A partir de las estimaciones realizadas en este estudio y con apoyo a los balances se tiene el conocimiento de la problemática de la disponibilidad y el uso que se da al agua, actualmente existe un déficit en el acuífero de unos 61 hm³/año, volumen que proviene del almacenamiento subterráneo.

Por otro lado las galerías filtrantes y los manantiales proveen el 50% del agua y la descarga de las primeras ha disminuido aproximadamente 100 hm³/año entre 1981 y 2003. De seguir esta tendencia y ante demandas crecientes de la población, en un futuro la disponibilidad hídrica se verá disminuida cada vez más.

Al disminuir la descarga de la galerías y manantiales, dicho déficit es cubierto por medio de agua de pozo, lo cual genera costos adicionales por el bombeo.

Ante el minado que se realiza actualmente del acuífero, los almacenamientos subterráneos irán disminuyendo cada día, con lo consabida inseguridad en la continuidad y seguridad de los abastecimientos. Una vez iniciado la implementación del Plan de Manejo será necesario actualizar constantemente las cifras del balance anterior, de tal manera de apoyar la difusión de las condiciones prevalecientes del acuífero.

a.2 Realizar el censo de aprovechamientos

En el presente estudio se recopilaron y analizaron los censos correspondientes a los años de 1981, 1994 y 2001. De la información del último censo de aprovechamientos subterráneos efectuado en el año 2001, el acuífero Valle de Tehuacán cuenta con 275 aprovechamientos subterráneos, de los cuales 169 corresponden a pozos, 18 norias, 18 manantiales y 70 galerías filtrantes. Del total de aprovechamientos 159 son para uso agrícola y 72 para uso público urbano, el resto es destinado a otros usos. El volumen total reportado fue de 210 hm³/año.

En cuanto al número total de aprovechamientos subterráneos registrados en el REPDA en el año 2003, se tienen 286 concesiones para agua subterránea y 869 para agua superficial (galerías filtrantes y manantiales) por lo tanto, el número de concesiones excede más de tres veces al número de aprovechamientos censados. Por otro el volumen concesionado total entre aguas subterráneas y superficiales es de 154 hm³/año, el cual resulta menor en más de un 30% al estimado en el censo; por lo tanto, aunque el inventario es reciente, conviene verificar el estado legal de los aprovechamientos.

En principio, los volúmenes de extracción se estimarán mediante aforos y tiempo de operación, superficies cultivadas, habitantes servidos, según sea el caso, para comparar los volúmenes de extracción con los volúmenes concesionados; dicho trabajo deberá efectuarse con personal calificado para obtener valores lo más cercanos a la realidad, lo anterior lo ha definido CNA como visitas integrales; aunque hay que aclarar que la intervención del área de Administración de la CNA deberá tener una participación muy activa, en la realización de los censos. Dichas mediciones deberán de ser realizadas periódicamente para observar las variaciones que se pudieran presentar.

Un aspecto importante, será el de revisar el funcionamiento del medidor de energía eléctrica, mediante un watímetro portátil. Además de obtener un valor que relacione el consumo de energía eléctrica y su correspondiente extracción de agua. Para cada caso en particular, proponer un sistema de control y seguimiento de los volúmenes de extracción, así como de las futuras perforaciones.

Este padrón de usuarios, sus características y volúmenes de extracción deberán estar a la disposición de todos los usuarios y las dependencias involucradas en este plan de manejo. Importante será complementar el censo con fotografías panorámicas y de detalle en la descarga del aprovechamiento.

a.3 Implementar la medición de los aprovechamientos

Una actividad esencial y de relevante importancia es la instalación de medidores de caudal y volumen, para ello se requiere que se efectúe un dictamen técnico para cada aprovechamiento, lo que determinará el tipo de medidor a instalar.

La estimación de los volúmenes de extracción no es una tarea fácil, en algunas zonas de México se han instalado medidores volumétricos tipo propela con carátula, que proporcionan el caudal instantáneo y el volumen integrado. En general en el uso

agrícola no han funcionado, por lo tanto se deberán diseñar métodos adecuados en este uso.

Se propone que para el uso público urbano, que en general la descarga de los aprovechamientos es a presión, puede proponerse el tipo de medidor de propela. Para el uso industrial, será el medidor de igual forma y para el uso agrícola en sistemas presurizados. En descarga libre del uso agrícola, sería más conveniente utilizar sistemas indirectos de medición, uno de ellos puede ser el medir la frontera agrícola periódicamente mediante imágenes de satélite o también a través del consumo de energía eléctrica. En este último caso, es necesario obtener, la constante entre consumo de energía y extracción, y en el de imágenes de satélite la comprobación del tipo de cultivos en campo, esto para cada ciclo agrícola.

Por lo tanto la obtención de la constante entre energía eléctrica deberá ser por lo menos cada año y la verificación de los cultivos cada ciclo agrícola para lo que se debe elaborar un programa de medición.

Un aspecto adicional, será el de convencer a todos los usuarios de la necesidad de llevar a cabo un seguimiento de la operación de los equipos de bombeo y sus pozos. Para tal efecto es importante tener el historial de los consumos de energía, sus niveles estáticos y dinámicos, algunos análisis químicos, datos necesarios para realizar dictámenes de su funcionamiento y programar las reparaciones de equipos de bombeo y sus pozos. En este caso se tendría una red compuesta por todos los aprovechamientos del acuífero, al proporcionar los usuarios esos datos y se lograría además un programa de disminución del consumo de energía.

Los volúmenes de extracción de agua subterránea se medirán en cada uno de los aprovechamientos a través de aforos periódicos o algún otro dispositivo, valores que serán comparados con los volúmenes concesionados y en el caso de que existan discrepancias se aplicará la ley y/o el reglamento del acuífero, con el fin de vigilar que la explotación sea igual a lo propuesto en el reglamento.

Sin embargo la CNA²⁰ tiene amplia experiencia en este tipo de mediciones, por lo tanto sería conveniente que realizara la edición de un manual para realizar las mediciones, donde se deben de tomar muy en cuenta los aspectos de calidad del agua para el buen funcionamiento de los medidores.

Aplicar el marco legal

b.1 Reglamentar el acuífero

Con base en este plan de manejo se puede iniciar propuestas para hacer el reglamento de extracciones del acuífero para ello el COTAS será el actor principal en conjunto con la CNA, aprovechando que el COTAS ya se encuentra legalmente constituido donde se menciona su importancia y su nombramiento como organismo auxiliar del consejo de cuenca respectivo. En este reglamento deben de participar todas las

²⁰ CNA, Gerencia Estatal en el Estado de Puebla. Departamento de Aguas Subterráneas

instituciones involucradas, antes de dar su difusión a los propios usuarios se debe contar con un planteamiento con principios que están plasmados en este documento.

Posteriormente se deberá dar a conocer a los usuarios tratando de puntualizar las ventajas de dicho reglamento, por lo que se recomienda hacerlo por tipo de usuarios (industrial, público urbano, agrícola y avícola). Dentro de ésta etapa será muy importante la difusión de la problemática del agua en el Valle de Tehuacán para tener un mayor en la aceptación del mismo.

b.2 Aplicación el marco legal

Antes de la aplicación de un marco legal estricto, se deberá partir del conocimiento del padrón del 100% de los usuarios y su aplicación dependerá del reglamento que se formule que desde luego deberá estar acorde con la ley.

Indudablemente la aplicación del marco legal deberá auxiliarse de un programa de supervisión y vigilancia antes de ejecutar las sanciones respectivas. Por lo pronta ya se ha iniciado esta actividad al instalar una oficina receptora de la CNA en la ciudad de Tehuacán, solo falta la integración del COTAS como organismo auxiliar.

b.3 Fortalecer inspección y vigilancia

Actualmente la Comisión Nacional del Agua carece del personal suficiente para llevar a cabo una inspección y vigilancia constante, por lo tanto será necesario involucrar a los usuarios en estas mismas acciones a través de un consejo formado por la autoridad del agua en particular la CNA. En este consejo de vigilancia deberán estar involucradas personas de la región que tengan una trayectoria honorable reconocida.

Esta actividad esta estrictamente relacionada con la anterior.

b.4 Regularización de aprovechamientos

Una siguiente actividad y tratada en los talleres de Planeación Participativa en donde los representantes del COTAS dieron gran importancia a la regularización de los aprovechamientos de hecho. Indudablemente esta actividad no depende de los usuarios ya que su regularización tendrá que cumplir con las normas que para tal efecto propone la Ley Federal de Aguas Nacionales. Aspectos legales bien conocidos por los representantes del COTAS ya que proponen una labor intensiva ante el congreso, para que dicte las medidas pertinentes.

Contar con una adecuada cultura del ahorro del agua

c.1 Conocer los recursos de difusión existente

Una vez determinados los objetivos, estrategias y programas de uso eficiente del agua, se debe partir de las actividades que se están llevando a cabo por parte de dependencias como la Comisión Nacional del Agua, los organismos operadores de los sistemas de abasto a poblaciones, las universidades y las autoridades municipales, entre otras se encuentran los programas de uso eficiente y racional del agua. Por lo tanto, será indispensable recopilar los programas de difusión existentes antes de iniciar cualquier actividad y clasificarlos para poder determinar los programas de

difusión faltante, los cuales deben estar enfocados a diversas acciones sin olvidar que la acción más importante consiste básicamente en lograr el ahorro del agua, en el sector público urbano se deben dar a conocer las ventajas de dicho ahorro, 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 un volumen menor. Y con la premisa de implementar sistemas de riego más eficientes pero que incrementen el ingreso del agricultor.

c.2 Realizar estrategias de difusión

En virtud de que los recursos naturales no son exclusividad de 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 se difunda, a través de medios de comunicación, temas como los siguientes:

- Un panorama general sobre los recursos en la República Mexicana.
- Los recursos hídricos dentro de la cuenca del río Salado.
- El estado actual de los recursos hídricos dentro del acuífero Valle de Tehuacán.
- Los usos a los que se destina.
- Los tipos de aprovechamientos, los distintos cultivos y sistemas de riego en el sector agrícola.
- Los dispositivos usados en los domicilios y los sectores públicos urbanos.
- Los efectos del agotamiento de los recursos hídricos.
- Los nuevos sistemas de riego sus ventajas en el ahorro del agua y los incrementos en productividad.
- Las ventajas de utilizar dispositivos ahorradores en los usos públicos urbanos.
- Los costos del agua y su distribución en las poblaciones.
- Las ventajas de poder contar con una sustentabilidad de los recursos hídricos en la región y la seguridad de poder garantizar el suministro y la supervivencia de la población y su desarrollo futuro.
- Marco legal

Sobre el marco legal se deberá hacer una difusión de la ley de aguas nacionales y su reglamento y del propio reglamento que se desarrolle por el COTAS en la región.

Indudablemente lo anterior son sólo algunas ideas. Como se muestra deberán intervenir instituciones como SAGARPA e INIFAP en los aspectos agrícolas y el OOSA-PAT en el agua para uso público urbano, principalmente.

Faltaría complementar con los programas para llevar a la población en su conjunto las ideas anteriores.

Por otro lado, la mayoría de los programas están enfocados hacia la población infantil, lo que hace necesario ampliarlo hacia los demás estratos y además complementarlo con cursos y demostraciones sobre las conveniencias de utilizar dispositivos ahorradores en los sistemas de abastecimiento a la población y la efectividad del uso de los mismos. En el sector agrícola, será necesario aportar todos los elementos al

alcance sobre sistemas de riego que ahorren agua y hacer que todos los actores participen.

c.3 Difusión del estado actual de los recursos hídricos

De acuerdo con lo anterior se llevarán a cabo las campañas planteadas de forma permanente y complementados con un seguimiento y evaluación de los resultados obtenidos, por medio de indicadores, que deben enfocarse a los volúmenes de agua utilizados en los diversos usos, determinando en cuanto han disminuido las dotaciones y consumos de agua, así como los ahorros de agua que se han logrado.

Lo anterior dará como resultado la eficacia de los programas o la rectificación de los mismos.

Disminuir la demanda e Incrementar la oferta de agua

d.1 Conocer y difundir tecnologías de punta

Como parte medular del plan de manejo esta la disminución de la demanda, el cual también es un objetivo estratégico planteado en el ZOPP. Dentro de ésta acción es importante conocer las tecnologías que por un lado ahorren agua y por otro incrementen los rendimientos de los agricultores, en principio convendría difundir los métodos propuestos en este plan.

Parte integrante de esta acción será la participación de SAGARPA, SDR, INIFAP como actores principales en el desarrollo agrícola y pecuario, a través de asistencia técnica, como parcelas demostrativas, visitas a parcelas con tecnologías de punta, entre otros.

Respecto al uso público urbano será importante la difusión de dispositivos ahorradores, tales como retretes, regaderas, etc. en esta parte será muy importante la participación del OOSAPAT y CEAS Puebla.

A efecto de propiciar el ahorro del agua se investigará y promoverá entre la población el uso de modernos dispositivos ahorradores de agua que pueden ser instalados y utilizados en viviendas, oficinas particulares, gubernamentales y de servicios como escuelas, jardines, mercados, hospitales, etcétera.

Lo anterior tendría una relación muy estrecha con las cuotas del servicio, ya que cuando no se usen dispositivos ahorradores, el organismo operador lo tomará como desperdicio y las tarifas serán muy altas.

d.2 Modernizar y/o rehabilitar la infraestructura hidráulica existente

Dentro de los sistemas de riego propuesto será necesario la modernización y adecuación de la infraestructura hidráulica de los usuarios para adaptarlos a las nuevas tecnologías de riego. Como se mencionó en el capítulo XI cambiando los sistemas de riego por goteo se puede aumentar la productividad del agua hasta $5.24 \text{ \$/m}^3$ cuando actualmente es de $0.40 \text{ \$/m}^3$. Para estabilizar el acuífero es necesario reducir las extracciones por pozo a $2.8 \text{ hm}^3/\text{año}$ y las galerías a $94.7 \text{ hm}^3/\text{año}$ dando un

total 97.5 hm³/año, con este volumen y los nuevos sistemas de riego su puede lograr un beneficio neto de 495 millones de pesos, mientras que en la actualidad solo se tiene un beneficio neto, con subsidio, de 80 millones de pesos y usando 200 hm³/año

Otra acción será la sustitución de muebles de baño de 16 l/descarga por 6 l/descarga. Los organismos operadores de los servicios de distribución de agua deberán apoyar a los usuarios en este cambio tanto técnica como económicamente. Este cambio también se reflejara en la disminución del costo del suministro de agua potable ya que se usará menos.

Considerando el uso eficiente descrito en el capítulo XI la demanda disminuirá de 62.8 hm³/año a 51.4 hm³/año en el año 2025.

d.3 Capacitar al recurso humano

La agricultura, como actividad principal, de acuerdo con el uso del agua, en la región y principal actividad productiva, requiere constantemente de asistencia técnica para hacerla cada vez más eficiente y competitiva, y con ello lograr el mejoramiento de vida de los agricultores y en general de la población, resulta importante la colaboración de las instituciones involucradas en su desarrollo, universidades, centros de investigación, instituciones crediticias, entre otras, y todos ellos coordinados con el COTAS, la asistencia técnica deberá no perder de vista un ahorro de agua y al mismo tiempo lograr un incremento en los ingresos de los agricultores.

Es conveniente que el COTAS de Tehuacán tenga, además, relaciones e intercambio de conocimientos y experiencias con otros COTAS del país a fin de hacer más eficientes y productivos sus recursos naturales y económicos.

Por otro lado el Organismo Operador de los servicios de agua en lo centros urbanos deberán capacitar a los usuarios en el mantenimiento de las instalaciones intradomiliarias tales como cambios de empaques en llaves, muebles de baño, etc. Este programa será complementado con un esquema de distribución de refacciones ya que actualmente es difícil su adquisición.

d.4 Gestión de recursos

Con la finalidad de modernizar la actividad agrícola y coadyuvar en el buen logro del Plan de Manejo es muy importante promover el otorgamiento de créditos a los agricultores para que los apliquen en la instalación de sistemas de riego eficientes. En principio se piensa que el principal actor en la promoción sea el COTAS, consistente inicialmente en realizar reuniones con FIRA, SAGARPA, SDR, CNA, FIRCO y en general con todos los posibles sitios de la banca.

Dentro de esta gestión es parte importante la organización de los usuarios para acceder a estas fuentes de financiamiento, ya que los requisitos aunque sencillos no son comúnmente accesibles.

El costo del plan es de aproximadamente 850 millones de pesos los cuales se van a aplicar del 2005 hasta el 2030 según se detalla mas adelante

d.5 Reuso

Actualmente las descargas de aguas residuales y las fugas de las redes de agua potable y alcantarillado recargan a las galerías y aportan al flujo final del río Salado, por lo tanto se puede considerar que tienen un uso.

Sin embargo conviene analizar bien este fenómeno para reglamentar el reuso y la calidad de las descargas y seguramente habrá sobrantes para uso aguas arriba.

d.6 Incrementar la recarga

La preservación de las zonas de recarga será importante para conservar la recarga actual; asimismo, se establecerán lineamientos para evitar la deforestación y erosión del suelo.

Con apoyo a estudios de recarga de acuíferos, se cuantificarán los volúmenes de agua susceptibles de infiltrar para lograr incrementar la recarga del acuífero, se identificarán los sitios donde es posible obtener una recarga artificial, la cual se realizará fundamentalmente con agua de lluvia y de retornos de agua. Desde luego cuidando que no se afecten los volúmenes comprometidos aguas abajo.

Par este programa de deberán realizar los proyectos requeridos y proponerlos a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), como una primera instancia para apoyar estos programas.

De acuerdo con los cálculos de balance hidrológico, los escurrimientos extraordinarios se calcularon en unos 35 hm³/año, de los cuales se supuso que la recarga se puede incrementar en 20 hm³/año por medio de una reforestación en las zonas de recarga

d.7 Proyecto de aprovechamiento de agua de galerías filtrantes

Como ya se sabe las galerías y manantiales revisten una gran importancia en la región, actualmente el volumen extraído por pozos es igual al descargado por las galerías filtrantes y manantiales y han sido utilizadas desde hace muchos años, algunas de ellas se utilizan en la industria refresquera tan importante y que ha dado fama a la región, aunque su mayor uso es en la agricultura.

Debido a lo anterior se propone realizar un proyecto que contemple el aprovechamiento para los diferentes usos que contemple un uso más eficiente del que se tiene actualmente y un rediseño de la red de distribución sobre todo en el uso agrícola y en la parte sureste del acuífero, proyecto que también deberá tomar en cuenta el riego de las zonas ubicadas en esta misma parte. Lo anterior tendrá una componente social de negociación ante los distintos usuarios.

d.8 Control de la contaminación

En la zona prevalece una situación muy particular, que son las galerías filtrantes, las cuales se encuentran a poca profundidad en materiales muy permeables los que las hace muy vulnerables ante la contaminación, razón por la cual se debe desarrollar un plan para controlar la contaminación en la región.

Por lo pronto se propone utilizar drenajes herméticos en los núcleos urbanos, sobre todo en la ciudad de Tehuacán, de tal manera de evitar la posible contaminación a las galerías que como ya se mencionó se utilizan en la industria alimentaria. Adicionalmente la vulnerabilidad de las galerías es muy alta a la contaminación.

Sin olvidar que tampoco se deben descargar aguas residuales sin tratar que se puedan infiltrar, riego con aguas residuales, las industrias presentan un riesgo alto.

8 COSTOS Y FINANCIAMIENTO

8.1 Sector Público Urbano

El costo ocasionado por realizar las acciones que disminuyen el caudal demandado y reducen las fugas que se presentan en las tomas domiciliarias y en la red de distribución de los sistemas de agua potable se consideraron de la manera siguiente:

En el caso de la disminución de la demanda se consideró para toda la región intercambio de aproximadamente 196,507 retretes de 16 l/descarga por unos de 6 l/descarga con un costo aproximado de 147.4 millones de pesos que se pueden realizar en un año y disminuir el caudal demandado con 70 l/s.

Mientras, que en el decremento de las fugas a realizarse en una etapa intensiva del año 2003 al 2008, donde en el primer año se podrían eliminar del orden de 15,026 fugas en toma domiciliaria y 687 en la red de distribución obteniéndose un caudal recuperado de aproximadamente 94 l/s. Además, durante el periodo señalado del 2003 al 2008 se tendrían que eliminar del orden de 56,522 fugas en toma domiciliaria y 2,422 en la red de distribución recuperando un caudal de 428 l/s en la región con un costo aproximado total de 125.2 millones de pesos.

Dichos conceptos fueron evaluados mediante el uso de las consideraciones siguientes:

Fugas en toma domiciliaria es del 70% del caudal de fugas estimado.

Fugas en red de distribución del 30% del caudal de fugas estimado.

El costo promedio por fuga eliminada en toma domiciliaria de 2,000 pesos.

El costo promedio por fuga eliminada en red de distribución es de 5,000 pesos.

Caudal promedio por fuga 0.044 l/s/fuga en toma domiciliaria.

Caudal promedio por fuga 0.44 l/s/fuga en red de distribución.

Costo promedio por cambio de retretes es de 750 pesos.

Otro aspecto importante referente a las perdidas en toma domiciliaria, lo constituye la fugas intradomiciliarias, que en muchas ocasiones ya sea de manera intencional o por desconocimiento se tienen pérdidas considerables de agua en los dispositivos hidráulicos domésticos. Para cubrir dichas deficiencias es recomendable implementar por parte del organismo operador, una supervisión con varias cuadrillas integradas por dos plomeros para realizar la corrección de las anomalías comentadas. También,

es necesario llevar a cabo por parte del organismo operador un control de calidad de los retretes, en especial en la cantidad de litros por descarga (6 litros).

Tabla No. 23 Costo de inversión en disminución de fugas en la red de distribución (2003 a 2008) y en la dotación intradomiciliaria (2004)

Concepto	Costo unitario Pesos	Cantidad	Importe Millones de pesos	Caudal recuperado (l/s)
Toma domiciliaria	2,000	56,522	113.0	226
Red de distribución (2" a 12" de diámetro)	5,000	2,637	12.1	97
Subtotal (2002 a 2008)			125.2	323
Cambio de retretes (año 2003 a 2004)	750	196,500	147.4	43
Total			272.6	366

Por otra parte el programa de erogaciones planteado en el horizonte de planeación a cada cinco años se muestra en la tabla siguiente.

Tabla No. 24 Programa de inversiones propuesto en los sistemas de abasto a poblaciones

	Importe Millones de pesos				
	2003 al 2005	2006 al 2010	2011 al 2015	2016 al 2020	2021 al 2025
Tomas domiciliarias.	70.1	59.9	8.7	9.2	8.3
Red de distribución	7.5	6.4	0.9	1.0	0.9
<i>Subtotal</i>	<i>77.6</i>	<i>63.3</i>	<i>9.6</i>	<i>10.2</i>	<i>9.2</i>
Cambio de retretes	147.4	68.8	24.6	24.6	24.6
Total	224.9	135.1	34.2	34.8	33.8

En esta tabla de erogaciones periódicas a cada cinco años muestra que la erogación mayor sería en los primero ocho años y disminuiría en el siguiente tres periodos, se mantendría solo el porcentaje de pérdidas del 20% del caudal de suministro y la verificación de usar retretes de bajo consumo.

8.1 Sector Agrícola

Por lo que respecta la sector agrícola, el volumen de extracción bruto se reduce a 98.1 hm³, mientras que el neto es de 94.3 hm³. Por lo que para realmente obtener mejores resultados, es necesario hacer un cambio en el patrón de cultivos para favorecer la siembra de cultivos con un mayor retorno financiero.

Se realizó un análisis de optimización para alcanzar una extracción bruta de 2.8 hm³ con agua de pozo y de 94.7 hm³ con agua provenientes de las galerías, imponiendo restricciones de mercado a las hortalizas y forrajes. El resultado se presenta en la Tabla 25, junto con los montos de inversión necesarios.

Tabla No. 25 Reconversión de cultivos para una extracción bruta de 97.5 hm³

Cultivo	Superficie cosechada ha	Volumen bruto m ³ /ha	Volumen bruto dam ³	Volumen neto dam ³	Beneficio neto Millones \$	Inversión \$/ha	Inversión Millones \$
Ajo	750	4,468	3,351	3,220	53.18	21,475	16.11
Alfalfa	1,881	9,436	17,748	17,056	31.16	28,500	53.61
Avena forrajera	618	4,504	2,783	2,675	18.61	23,200	14.34
Calabacita	348	3,613	1,257	1,208	5.08	22,980	8.00
Cebolla	200	3,667	733	705	5.48	21,475	4.30
Chile seco	1,728	5,198	8,982	8,632	50.98	22,980	39.71
Col (Repollo)	200	4,234	847	814	4.15	21,475	4.30
Lechuga	350	4,024	1,409	1,354	12.21	21,475	7.52
Maíz grano	8,756	5,423	47,482	45,630	126.98	20,994	183.82
Tomate rojo	1,948	5,266	10,257	9,857	139.29	23,550	45.88
Tomate verde	600	4,416	2,650	2,546	48.19	22,972	13.78
Total	17,379	5,610	97,500	93,698	495.31	22,518	391.35

Como puede apreciarse, la superficie es de poco más de 17,000 hectáreas, sin embargo, el beneficio neto obtenido por los productores llegará a casi 500 millones de pesos, con una inversión necesaria de 390 millones de pesos. Con esta reconversión se tendrá una productividad del agua de 5.29 \$/m³, siendo actualmente de 0.40 \$/m³, considerando el subsidio. De esta manera la relación beneficio costo superior a la unidad en todos los cultivos propuestos, de tal manera que el programa agrícola dentro del plan de manejo es autofinanciable.

Es importante recalcar que a todos los costos de producción con proyecto, se les agregó una cuota de 100 \$/ha para el pago de asistencia técnica, ya que es muy necesaria para poder obtener los resultados que aquí se plantean. También se trató de que el cambio reflejara la idiosincrasia de los productores en seguir sembrando maíz, ya que éste ha estado presente en la zona desde tiempos prehispánicos.

De todas maneras se tendrán que incrementar los créditos que se están aplicando a la región y probablemente algunos apoyos a algunos agricultores. Las inversiones se han estimado en 391 millones de pesos para la reconversión propuesta, lo que resulta una erogación anual resulta de poco menos de 20 millones de pesos anuales si se hace en unos 20 años, aunque si se reduce el tiempo se requerirá una inversión anual mayor.

El financiamiento podría ser a través de las instituciones como SAGAEPA, FIRCO, FIRA, SDR, CONAFOR, entre otras.

9 BENEFICIOS E IMPACTOS

9.1 Evaluación hidráulica del plan

Las acciones planteadas en los objetivos estratégicos fueron consideradas en los balances que se muestran en la Tabla 26, donde también se indican los resultados arrojados por el modelo ante dichas acciones.

Los aspectos considerados para la formulación de los balances y el modelo consistieron básicamente en:

Lograr la estabilización del acuífero. La estabilización del acuífero, se planteó de tal forma que para el año 2030 se equilibraran las entradas y salidas en todo el acuífero; en general con las acciones aplicadas al simular el funcionamiento del acuífero con el modelo, se logra el objetivo al eliminar el minado del almacenamiento. Por lo tanto, en algunas zonas será necesario aplicar medidas mayores de reducción. Acciones que será necesario analizar con cuidado una vez que se tenga mayor certidumbre en el volumen de extracción, cuando se implementen las mediciones respectivas.

Consideración de aspectos de uso eficiente. Para lograr disminuir las extracciones por uso público urbano y agrícola se aplican los conceptos de uso eficiente. En cuanto al uso público urbano se pretenden disminuir las dotaciones, de manera que aún cuando la población tendrá un crecimiento hacia el año 2030 de aproximadamente 713,000 habitantes, la extracción para este uso, que actualmente es del orden de 47 hm³/año, será de 64 hm³/año para el año 2030; adicionalmente a esta reducción y debido también a la aplicación del uso eficiente, se contempla disminuir las fugas de los sistemas de agua potable, que actualmente son del orden del 35% al 20%, sin embargo, esta situación provocará que la recarga inducida, que actualmente es del orden de 3.8 hm³/año, se reduzca a valores del orden de 2.3 hm³/año. En la Tabla 26 se muestran los valores aplicados y obtenidos de los balances para diferentes períodos hasta el año 2030.

Respecto al uso agrícola, actividad donde se emplea el mayor volumen de agua, la disminución que se pretende realizar del bombeo es significativamente mayor a la del público urbano, ya que de un volumen actual de agua subterránea que se emplea para el riego, el cual es del orden de 72.2 hm³/año, se establece que bajo la implantación de sistemas de riego por goteo y aspersiones y riegos más eficientes, paulatinamente se reduzca ese volumen a 2.8 hm³/año para el año 2030 como se observa en la Tabla 26. Por lo que respecta al riego con agua de galerías se consideró que el volumen que se utilizará en el año 2030 en este uso será de 94.7 hm³/año. Es oportuno mencionar que las prácticas de riego para un futuro se pretenden hacer más eficientes.

Las reducciones de las láminas de riego con agua de pozos, por la aplicación del uso eficiente, provocarán que las recargas inducidas que actualmente se presentan por los excesos de riego se reducirían de un valor del orden de 10.8 hm³/año a un valor cercano a cero.

Tabla 26 Escenario Plan, balances y datos piezométricos promedios acuífero Valle de Tehuacán, Pue.

Año	2003	2003-2005	2005-2010	2010-2015	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Población (habitantes)	506,737	522,053	560,186	598,147	638,051	675,257	713,223							
Uso publico urbano total (hm ³ /año)	47.0	44.4	42.7	45.6	48.6	51.4	54.3							
P.U. Agua subterránea (hm ³ /año)	47.0	44.4	42.7	45.6	48.6	51.4	54.3							
Agrícola Subterránea (hm ³ /año)	72.2	72.2	58.4	44.5	25.0	16.7	2.8							
Pecuario	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Industrial (hm ³ /año)	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2							
Extracción bruta total (hm ³ /año)	129.0	126.4	110.8	99.9	83.4	77.9	66.9	128.7	126.1	110.6	99.65	83.22	77.73	66.77
Salidas horizontales	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.70	39.69	39.66	39.77	40.10	40.58	41.21
SALIDAS TOTALES	169.0	166.4	150.8	139.9	123.4	117.9	106.9	168.4	165.8	150.3	139.4	123.3	118.3	107.9
Riego con agua de galerías	128.4	122.0	100.3	100.3	100.3	100.3	94.7							
Distrito de Riego	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9	40.9							
Recarga por reforestación	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	6.0	8.0							
Recarga lluvia (hm ³ /año)	9.9	10.9	10.0	10.0	10.3	11.2	12.8							
Entradas horizontales (hm ³ /año)	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0	49.60	49.40	49.77	49.92	49.57	48.88	47.83
Recarga lluvia zonas altas adicionales								10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40
Recarga superficial Distrito	5.3	5.9	5.4	5.4	5.6	6.1	6.9							
Recarga Público urbano (hm ³ /año)	3.8	4.0	1.4	1.5	1.7	1.9	2.3							
Recarga por retornos de riego pozos (hm ³ /año)	10.8	11.95	4.0	1.5	0.5	0.3	0.1							
Recarga por retornos de riego Galerías (hm ³ /año)	17.7	18.578	14.0	14.0	14.4	15.7	16.8							
RECARGA TOTAL (hm³/año)	107.6	111.3	94.8	94.4	96.4	101.2	106.8	106.6	111.1	94.87	93.35	96.56	99.77	103.6
Minado (hm ³ /año)	-61.4	-55.1	-56.0	-45.4	-26.9	-16.6	0.0	-61.8	-54.7	-55.4	-46.1	-26.8	-18.5	-4.3
Retorno galerías (Incluye distrito de riego)	77.9	71.8	50.3	45.5	42.9	40.8	36.0							
Recarga por reforestación a galerías	0.0	0.0	0.0	6.0	8.0	10.0	12.0							
Profundidad del nivel estático (m)								29.97	30.42	31.59	32.53	33.04	33.38	33.42
Profundidad del nivel dinámico (m)								44.97	45.42	46.59	47.53	48.04	48.38	48.42
Abatimiento del nivel estático (m/año)								-0.26	-0.23	-0.23	-0.19	-0.10	-0.07	-0.01
Elevación del nivel estático (msnm)								1,385	1,384	1,383	1,382	1,381	1,381	1,381

De los resultados de los balances que se muestran en la Tabla 26 se puede observar que la estabilización del acuífero tiende a lograrse hacia el año 2030 bajo el bombeo y recargas indicadas. El acuífero tiende a su estabilización como lo denota el minado del mismo, así como el abatimiento que tiende a cero. El comportamiento del acuífero en forma gráfica se muestra en la Figura 46 donde se observa que en promedio la variación de los niveles estáticos tienden a estabilizarse en un valor cercano a los 48 m. Es muy importante en forma periódica se realicen ajustes al planteamiento de estabilización y por consecuencia al modelo, con información que se actualice con el tiempo, principalmente la correspondiente a los volúmenes de extracción y de mediciones piezométricas.

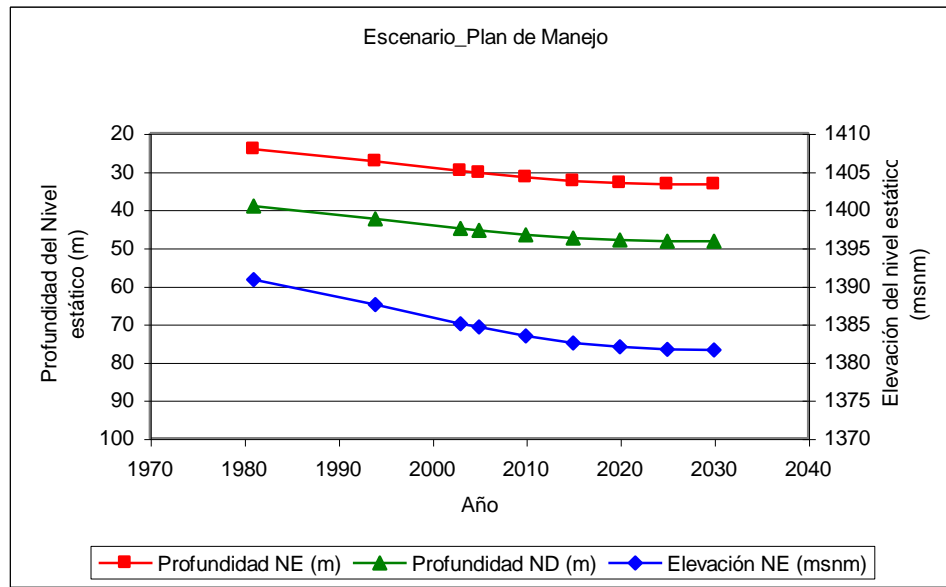
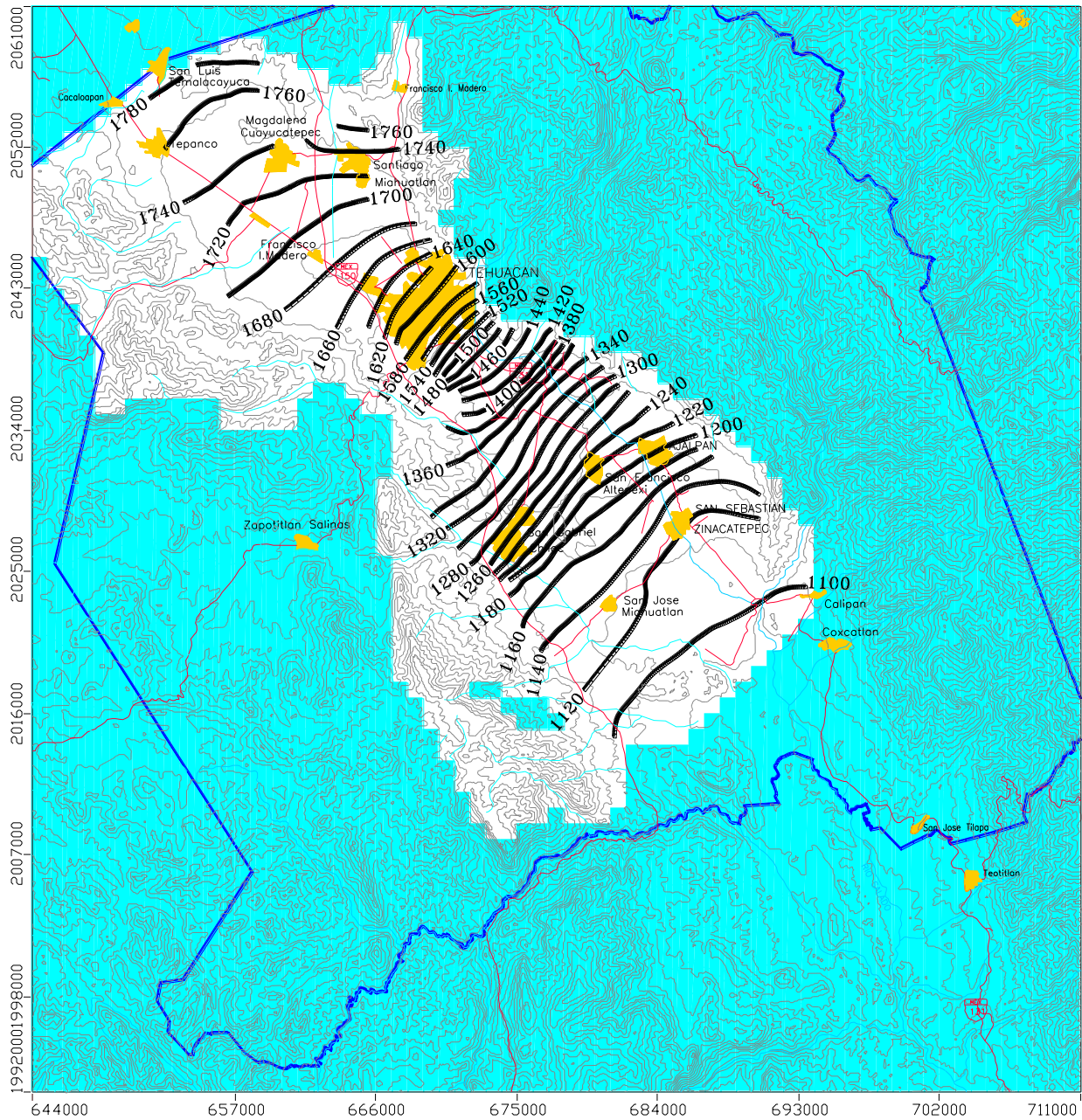


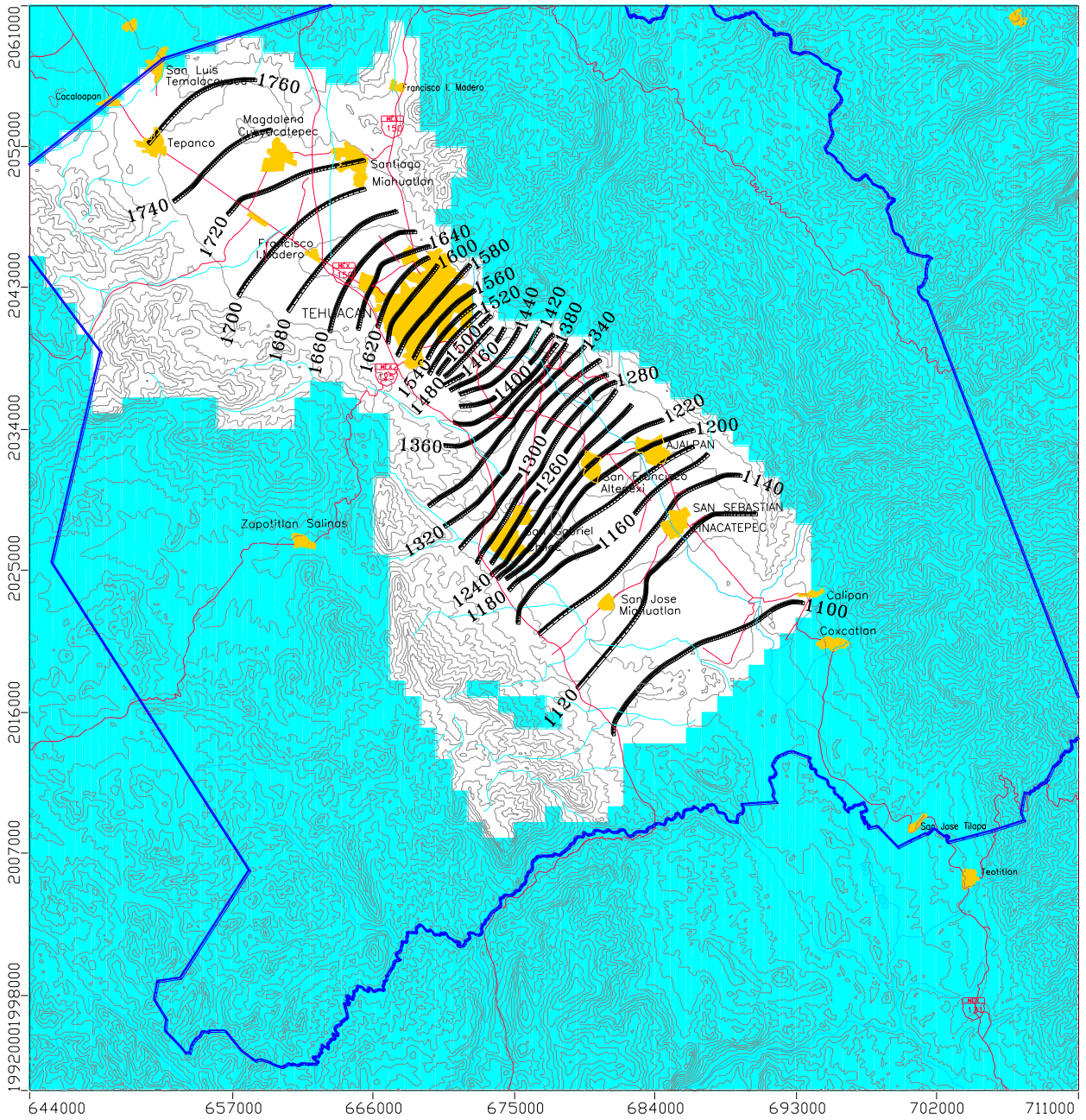
Figura No. 46 Comportamiento promedio de los niveles estáticos Plan de Manejo

De acuerdo a los resultados del modelo de simulación hidrodinámico, al aplicar las acciones que se simulan en este escenario del Plan, en el futuro se esperarían las condiciones piezométricas que se muestran en las Figuras 47 y 48; de igual forma, la evolución de dichos niveles se muestran en las Figuras 49 y 50 y corresponden a las evoluciones que se presentarían al año 2005 y 2030 respectivamente, a través de las cuales es posible ver la diferencia de abatimientos al inicio y final del período establecido para el Plan, donde a finales del año 2030 el acuífero alcanzaría su estabilización. En forma más local la variación de los niveles estáticos, durante el horizonte simulado en el modelo, se muestran en los hidrógrafos que se presentan en las Figuras 8.6 a 8.13 del Tomo I, donde se aprecia que el ritmo de abatimiento es diferente de un lugar a otro, sin embargo, se observa en forma genérica, que los hidrógrafos de los puntos seleccionados, los cuales se encuentran localizados como se indica en la Figura 25, presentan en forma considerable disminuciones de la velocidad de abatimiento de los niveles estáticos, tendiendo hacia la estabilización, es decir hacia valores de abatimiento cercanos a cero, con algunas excepciones como el punto

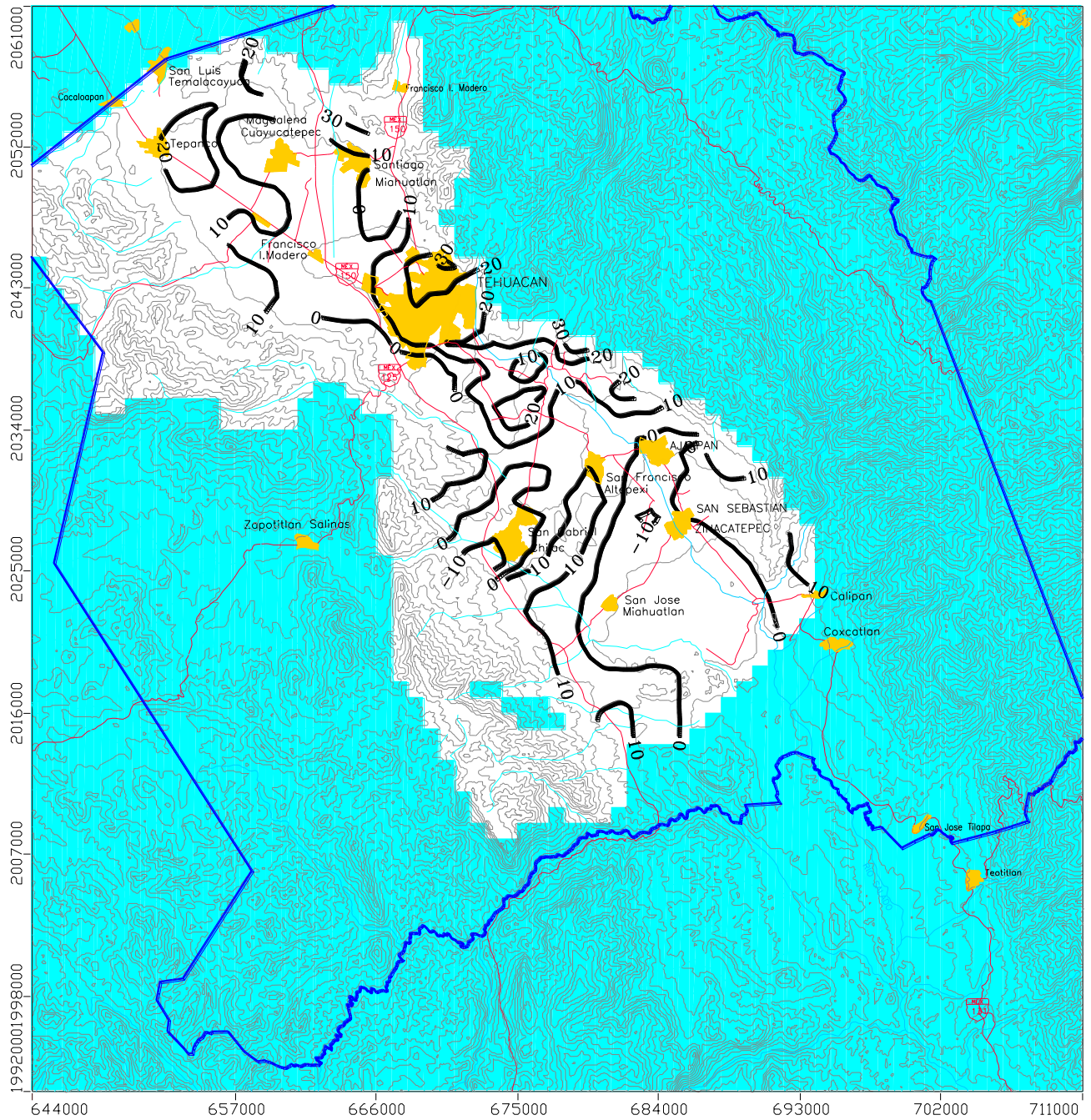
PTEH1 localizado en la zona de la población de Tehuacán donde los abatimientos disminuyen por el Plan, en forma más lenta debido a la sobreexplotación existente en esa área.



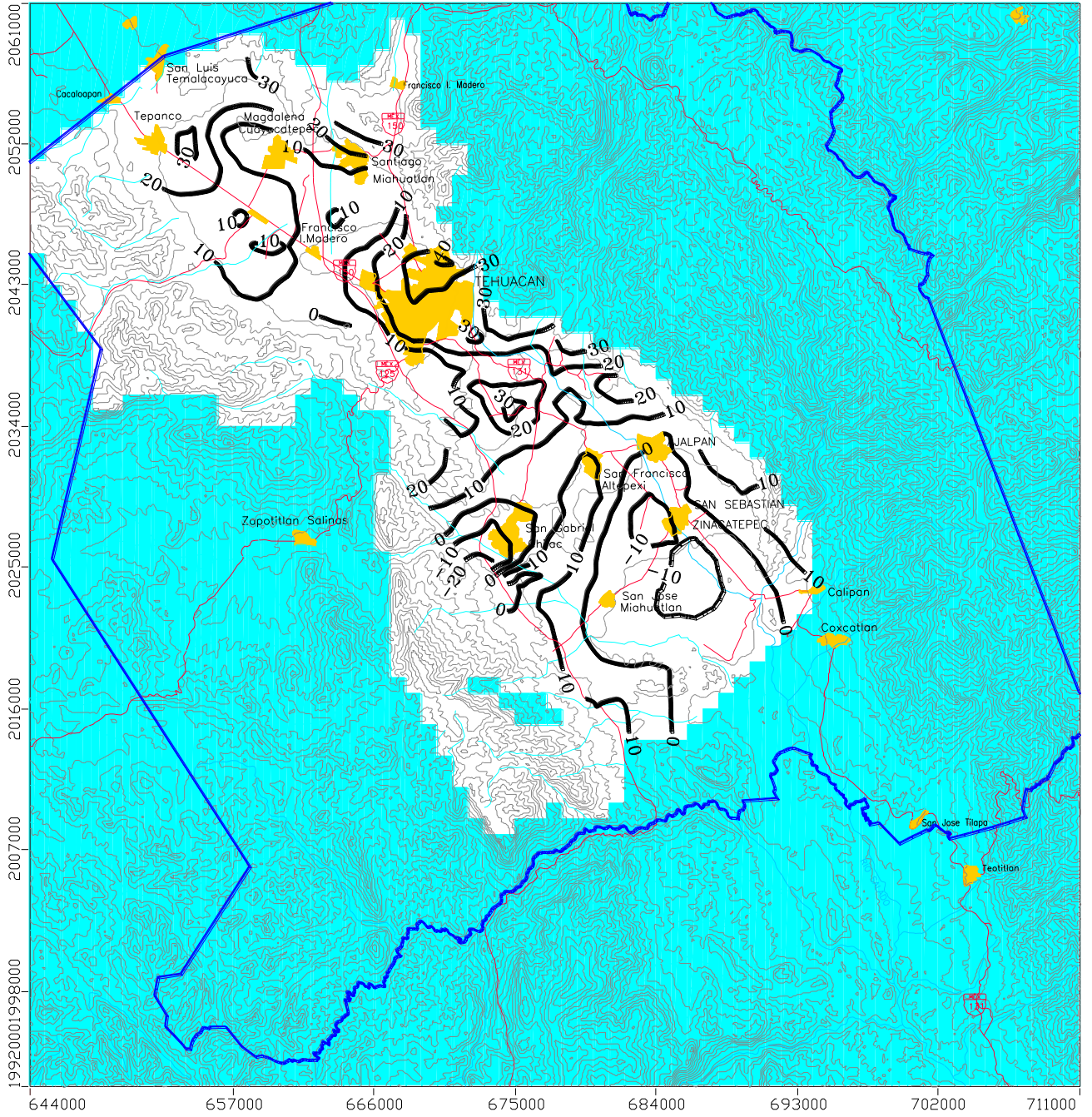
**Figura No. 47 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2005
Escenario Plan**



**Figura No. 48 Curvas de igual elevación del nivel estático para el año 2030
Escenario Plan**



**Figura No. 49 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2005
Escenario Plan**



**Figura No. 50 Curvas de igual evolución del nivel estático 1981-2030
Escenario Plan**

En la Tabla 27 se presenta una comparativa entre el escenario inercial y los resultados esperados con la implementación del Plan de Manejo.

Tabla No. 27 Algunos indicadores entre el escenario inercial y el Plan de Manejo

AÑO	1981	1994	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Extracción bruta pozos (hm³/año)									
Inercial	28	70	129	131	134	138	141	145	148
PLAN	28	70	129	126	111	100	83	78	67
Extracción bruta galerías (hm³/año)									
Inercial	230	191	128	123	120	116	112	108	104
PLAN	230	191	128	122	100	100	100	100	95
Extracción neta pozos (hm³/año)									
Inercial	17	42	97	96	98	99	101	102	104
PLAN	17	42	97	92	91	83	67	60	48
Extracción neta galerías (hm³/año)									
Inercial	133	111	62	60	59	58	57	56	55
PLAN	133	111	62	61	61	66	68	70	68
Nivel dinámico (m)									
Inercial	39	42	45	45	47	48	49	50	52
PLAN	39	42	45	45	47	48	48	48	48
Costos de bombeo en la agricultura, sin subsidio (Millones de \$)									
Inercial	22	23	25	25	26	26	27	27	28
PLAN	22	23	25	25	21	16	9	6	1
Minado (hm³/año)									
Inercial			-61	-60	-60	-61	-62	-62	-62
PLAN			-61	-55	-56	-45	-27	-17	0
Beneficios en la agricultura Integrado, sin subsidio (Millones de \$)									
Inercial	120	101	70	67	65	62	60	57	55
PLAN	120	101	70	106	159	220	312	404	495
Costos económico ambientales									
Inercial	0	26	72	73	78	82	87	92	97
PLAN	0	26	72	72	76	74	69	67	65
Inversión (millones de pesos)									
P.U.				225	135	34	35	34	
Agrícola				65	65	65	65	65	65

Los beneficios que se tienen debido a la implantación del Plan de Manejo son evidentes, a parte de que para el año 2030 el acuífero se estabiliza, los beneficios en la agricultura serán casi 10 veces comparados con el escenario inercial, los costos de bombeo se reducirán casi a cero, ya que la agricultura utilizará principalmente el agua proveniente de galerías y manantiales.

Además los costos económicos ambientales disminuirán, de 97 a 65 millones de pesos anuales con la consecuente restauración de la reserva de agua subterránea.

Las instituciones que podrán apoyar en el financiamiento al plan de manejo son SAGARPA, FIRCO, FIRA, CNA, SDR y CONAFOR, entre otras.

10 IMPLEMENTACIÓN

Para la implantación del Plan de manejo se requiere la voluntad de todos los usuarios, razón por la cual la intervención del **Comité Técnico de Aguas Subterráneas del acuífero Valle de Tehuacán** es indispensable, conjuntamente con la Comisión Nacional del agua y el Consejo de Cuenca correspondiente.



Corresponderá al **Organismo de Coordinación** establecer los mecanismos de medición de la extracción, calidad y piezometría, como parte de la implementación del Plan.

Se requiere además de una **Unidad de Apoyo**, integrada por las instituciones involucradas en la problemática de los recursos hídricos en la región, las instituciones crediticias que de alguna manera también influyen con sus créditos en los procesos de aprovechamiento uso o explotación de los recursos hídricos. De esta forma se propone integrar esta unidad de apoyo con la CNA, SEMARNAT, SAGARPA, FIRCO, INIFAP, CONAFOR, CFE; por lo que respecta al sector oficial federal la SDR, las autoridades municipales y en general las instituciones estatales que han participado en reuniones y talleres en la zona.

La organización para la implementación del plan será a través del COTAS y el Consejo de Cuenca, como organismos rectores en la participación de los usuarios.

11 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN

Una parte importante es el monitorear algunos indicadores que avalen las acciones que se implanten en el plan de manejo. Lo anterior genera los siguientes beneficios:

- Identifica fallas en el planteamiento del plan de manejo
- Establece que el proyecto se está realizando conforme el plan
- Examina continuamente los supuestos del plan y sus proyectos
- Verifica si los componentes cumplen con los objetivos del plan
- Su análisis recomendará cambios en los componentes del plan
- Ayuda a identificar soluciones y establece vínculos con los actores, entre otros.

En cuanto a *lograr el manejo adecuado del acuífero*, definido como el objetivo del proyecto, los indicadores de evaluación se definieron como los niveles del agua en el acuífero, los volúmenes de extracción y la calidad del agua. Es decir, la disminución del ritmo de abatimiento del acuífero y cuantificar la extracción verificando su disminución como una acción directa en la evolución de los niveles; asimismo, la calidad del agua subterránea sería un indicador adicional, pero se debe lograr, al mismo tiempo, un incremento en la utilidad de los agricultores.

Dentro los objetivos estratégicos definidos en el Plan, el primero corresponde a Conocer la Demanda y la Disponibilidad, el cual contempla la actualización de las condiciones geohidrológicas, una parte importante de la cual debe de ser la evaluación del balance para poder evaluar el estado del acuífero, por lo tanto el indicador serían los balances realizados. Otro punto de este objetivo es el de realizar censos de aprovechamientos, con la idea de cuantificar las extracciones y revisar su situación legal principalmente, para el cual un indicador de seguimiento es el número de aprovechamientos censados. Las mediciones se deberán realizar periódicamente.

Por lo que respecta a *Aplicar el Marco Legal*, los indicadores principales fueron definidos como la formulación del reglamento, recorridos de inspección y aprovechamientos regularizados

Respecto al tercer objetivo estratégico, referente a *Contar con una Adecuada Cultura del ahorro*, los indicadores son, campañas de difusión realizadas además de un conocimiento del valor del recurso hídrico y una concientización de todos los habitantes, lo que se debe traducir en una dotación menor por habitante en lo referente al uso público urbano y un consumo menor por hectárea en el uso agrícola, los cuales serían los indicadores de seguimiento.

La *Disminución de la Demanda y el Incremento de la Oferta de Agua*, los indicadores serán precisamente los volúmenes de extracción, aunque en este caso el objetivo es más preciso en el sentido de que se deberán analizar todas las acciones que se implanten y que tendrán que tender hacia una menor extracción neta. Estos indicadores deben ser extensivos al agua superficial y subterránea, incluyendo la residual.

El indicador por excelencia y más importantes se refieren a los niveles del acuífero, en donde el resultado es que se inicie una disminución de la velocidad de abatimiento. Adicionalmente los volúmenes de extracción en los aprovechamientos de agua subterránea tendrán una disminución en el momento de realizar un uso más eficiente del recurso, de tal manera que deberá existir un seguimiento muy estrecho en la efectividad de la aplicación de sistemas de ahorro de agua y de incremento en las utilidades de los productores. De tal manera que los proyectos de tecnificación deberán tener una selección adecuada para lograr el objetivo de tener un menor consumo del recurso hídrico.

Le corresponderá a cada área en particular la evaluación respectiva, pero siempre estará el COTAS supervisando y revisando dichas evaluaciones. En la Tabla 28 se muestra el esquema de verificación.

Tabla No. 28 Matriz de seguimiento del Plan de Manejo

OBJETIVOS	Indicador de evaluación	Valor inicial de base	Fuente de verificación	Responsables	Frecuencia	Método
OBJETIVO DEL PLAN DE MANEJO						
Lograr el manejo adecuado del acuífero	Profundidad del nivel estático	Niveles en pozos de la red del año 2002.	CNA	CNA, Gerencia Estatal, Subgerencia de Ingeniería	Dos veces al año MAR y OCT	Sonda eléctrica
	Volumen de extracción total del acuífero	Agrícola Pozos = 72 hm ³ /año Agrícola Galerías y manantiales = 128.4 hm ³ /año Público urbano = 47 hm ³ /año Industrial = 8 hm ³ /año Otros = 1.5 hm ³ /año *Valores Estimados	CNA	CNA, Gerencia estatal, Subgerencias de Ingeniería y Administración	Industrial mensual Público urbano mensual Agrícola semestral	Agrícola: Consumo de energía eléctrica, superficie mediante interpretación de imágenes de satélite, industrial y público urbano: medidor integrados
	Calidad del agua	Red de monitoreo del agua subterránea y superficial de la CNA	CNA	CNA, Gerencia estatal, Subgerencias de Ingeniería	Anual	Colección de muestras, transporte y preservación, según la Guía de muestreo de aguas subterráneas CNA. Análisis analítico por laboratorio certificado según normas que correspondan.
OBJETIVO ESTRATÉGICOS						
Conocer la Demanda y la Disponibilidad	Actualización de las condiciones geohidrológicas	Minado Actual = -61.4 hm ³ /año	CNA	CNA, Gerencia estatal, Subgerencias de Ingeniería	Bianual	Balance de aguas subterráneas
		Censo de aprovechamientos Volumen de extracción	CNA	CNA, Gerencia estatal, Subgerencias de Ingeniería	Bianual	Instalación de un sistema de medición y control de las concesiones
OBJETIVOS	Indicador de evaluación	Valor inicial de base	Fuente de verificación	Responsables	Frecuencia	Método

Aplicar el Marco Legal	Publicación del Reglamento			CNA Y COTAS	Única	Elaboración y consenso del reglamento del acuífero
	Inspección y vigilancia		CNA, COTAS	CNA Y COTAS	Continua	SIG y aspectos legales
Contar con una adecuada cultura del ahorro	Campañas de difusión				Constate	
	Disminución de dotaciones por habitante en centros de población	Dotaciones actuales: Dotación residencial 116 l/hab/día Industrias comercios y servicios 1.6 m ³ /s Fugas 637 l/seg *Valores estimados	OOSAPAT	OOSAPAT-CONESUIRA	5 años	Macro y micro medición
	Disminución de consumos de agua en la agricultura	Volumen actual estimado 200 hm ³ /año	SDR	SDR-CONESUIRA	5 años	Medida directa en campos agrícolas
Disminuir la demanda e incrementar la oferta de agua	Número de medidores instalados.		OOSAPAT	OOSAPAT CONESUIRA	5 años	Lectura directa
	Número medidas realizadas en uso público urbano.		OOSAPAT	OOSAPAT CONESUIRA	5 años	Lectura directa
	Número de usuarios que instalan de dispositivos ahorradores.		OOSAPAT	OOSAPAT CONESUIRA	5 años	Evaluación directa
	Disminución de pérdidas en redes y tomas domiciliarias. Recuperación de volumen a través de facturación.	35 % Valor estimado	OOSAPAT	OOSAPAT CONESUIRA	5 años	Aforos directos
	Volúmenes tratados y reusados de aguas residuales.		OOSAPAT	OOSAPAT CONESUIRA	5 años	Aforos
	Superficie agrícola beneficiada.		SDR	SDR-CONESUIRA	5 años	Reportes de la SDR y mediciones en campo de volúmenes usados

Volumen de recarga adicional por reforestación	Recarga subterránea 90 hm ³ /año Valor estimado	CNA	CNA-CONESUIRA	5 años	Cálculo de la recarga y disponibilidad
Proyecto de aprovechamiento de agua de galerías filtrantes		CNA	CNA	Único	Proyecto
Control de la Contaminación		CNA	CNA	Continuo	Análisis físico-químicos y bacteriológicos en pozos y galerías