



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

ORGANISMO DE CUENCA BALSAS
DIRECCIÓN TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DEL ACUÍFERO TEPALCINGO-AXOCHIAPAN, ESTADO DE MORELOS



Contrato No. SGT-OCB-MOR-13-P-055-RF-I3

Contenido

I.	GENERALIDADES	1
I.1	ANTECEDENTES	1
I.2	PROBLEMÁTICA	2
I.3	JUSTIFICACIÓN	2
I.4	NOMBRE	4
I.5	UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA	4
I.6	PARTICIPANTES EN LA ELABORACIÓN DEL PLAN	5
II.	OBJETIVOS	7
II.1	OBJETIVO SUPERIOR	7
II.2	OBJETIVOS DEL PLAN	7
II.2.1	<i>Objetivos Estratégicos, Líneas Estratégicas, Líneas de acción y Acciones</i>	7
III.	MARCO JURÍDICO	8
IV.	PRINCIPIOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL AGUA	9
V.	DIAGNÓSTICO	11
V.1	POBLACIÓN Y DESARROLLO SOCIOECONÓMICO	11
V.2	EVALUACIÓN DE PROGRAMAS RELATIVOS AL MANEJO DEL AGUA	13
V.3	CLIMATOLOGÍA	14
V.4	AGUAS SUBTERRÁNEAS	16
V.4.1	<i>Funcionamiento del sistema acuífero</i>	16
V.4.2	<i>Caracterización de los aprovechamientos e hidrometría</i>	16
V.4.3	<i>Usos del agua subterránea</i>	17
V.4.4	<i>Comportamiento piezométrico</i>	19
V.4.5	<i>Calidad del agua subterránea y fuentes de contaminación</i>	20
V.4.6	<i>Condiciones de explotación del agua subterránea</i>	20
V.5	AGUA SUPERFICIAL	22
V.5.1	<i>Hidrografía</i>	22
V.5.2	<i>Calidad del agua superficial</i>	22
V.5.3	<i>Características básicas de oferta y uso del agua superficial</i>	23
V.6	AGUA RESIDUAL	24
V.6.1	<i>Calidad</i>	24
V.6.2	<i>Características básicas de oferta y uso del agua residual tratada y sin tratar</i>	24
VI.	PROYECCIONES	27

VI.1	PROYECCIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA	27
VI.1.1	<i>Escenario inercial</i>	27
VI.1.2	<i>Escenario Máxima Tecnificación</i>	30
VII.	DESCRIPCIÓN DEL PLAN	40
VII.1	DESCRIPCIÓN DE OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	40
VII.2	COSTOS Y FINANCIAMIENTO	45
VII.3	BENEFICIOS E IMPACTOS	48
VII.4	MONITOREO Y SEGUIMIENTO	49

Siglas y Acrónimos

CEA	Comisión Estatal del Agua del Estado de Morelos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
COTAS	Comité Técnico de Aguas Subterráneas
DOF	Diario Oficial de la Federación
FIRCO	Fideicomiso de Riesgo Compartido
GIRH	Gestión Integrada del Recurso Hídrico
hm ³	Millones de metros cúbicos
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
LAN	Ley de Aguas Nacionales
msnm	Metros sobre el nivel medio del mar
OC	Organismo de Cuenca
OO	Organismo Operador
REPDA	Registro Público de Derechos de Agua
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEDAGRO	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Morelos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UR	Unidades de Riego

Directorio

DAVID KORENFELD FEDERMAN

Director General

Jorge Malagón Díaz

Director General del Organismo de Cuenca Balsas

La Comisión Nacional del Agua contrató la elaboración de este estudio a la empresa:

INGENIERÍA Y GESTIÓN HÍDRICA S.C.

Según contrato No. SGT-OCB-MOR-13-P-055-RF-I3

La coordinación estuvo a cargo de la Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Balsas de la Comisión Nacional del Agua a través de la Subdirección de Aguas Subterráneas.

Supervisión por parte del Organismo de Cuenca Balsas:

Resumen Ejecutivo

El acuífero Tepalcingo-Axochiapan se ubica en la porción oriental del Estado de Morelos. Siete municipios participan total o parcialmente en la poligonal oficial: Axochiapan, Jantetelco, Jonacatepec, Temoac, Tepalcingo, Tetela del Volcán y Zacualpan de Amilpas. La superficie total es de 660 km², donde Tepalcingo es el municipio con mayor participación y Temoac el de menor. Administrativamente pertenece al Organismo de Cuenca Balsas, Subregión Alto Balsas e hidrológicamente a la Región Hidrológica 18 Balsas, Subregión Alto Balsas.

La población al 2010 fue de 116 mil habitantes y se estima que alcance los 150 mil en el año 2040, lo que representa un incremento de 33 mil personas; 28.6% con respecto al 2010. Axochiapan y Tepalcingo son los de mayor concentración poblacional, situación que no se estima que cambie al 2040. Los de menor participación poblacional son Tetela del Volcán y Zacualpan de Amilpas. De forma general, la población urbana es de 81.2% y la rural 18.8%. Las cabeceras municipales son las de mayor importancia en términos de estructura de servicios públicos.

Municipalmente se presenta un grado de marginación medio, pero destaca que se ubican dentro de los primeros 13 con mayor marginación en el estado, siendo Axochiapan el de mayor marginalidad al ocupar el segundo lugar estatal.

El PIB regional estimado es del orden de los \$ 4,626 millones de pesos al año 2005 (3.67% del total estatal). Tepalcingo y Axochiapan son los de mayor participación con el 46.6%.

La actividad predominante pertenece al sector primario y un bajo desarrollo secundario. Para el año 2010, la Población Económicamente Activa fue de 48 mil, el 6.7% permanecía desocupada. El total de Población No Económicamente Activa alcanzó las 51 mil personas.

El acuífero presenta una precipitación media anual de 882.3 mm, con variaciones entre 599.4 y 1154.8 mm, concentrándose de junio a septiembre (80.2%); el mes más seco es diciembre (0.34%) seguido de marzo con el 0.52%. La temperatura media anual es de 20.8 °C con un rango de entre 15.4 y 23.8 °C.

Las entradas de agua al acuífero tiene su origen en la precipitación que incide en él y en los deshielos del volcán Popocatepetl; el tránsito de agua subterránea es de norte a sur siguiendo la pendiente altitudinal de la región. La región de Tepalcingo-Axochiapan se considera como zona de descarga natural y de mayor aprovechamiento, al concentrarse sobre ella la mayor cantidad de extracciones para diferentes usos, siendo el principal, el agrícola. En esta zona existen abatimientos estacionales, que en general, tienden a ser cada vez de mayores magnitudes. Ponderando los abatimientos en relación a la extensión geográfica, éstos no

sobrepasan el metro de profundidad, sin embargo, esto sigue siendo indicativo de un agotamiento de reservas de agua subterránea.

Finalmente, el agua subterránea circula más hacia el sur hacia la confluencia con el río Nexapa, zona donde el acuífero descarga de forma natural como flujo base.

Para el año 2002, se publicó una recarga de 43.8 hm³, una descarga natural de 11.4 hm³ y un volumen concesionado de 34.5 hm³, presentándose un déficit de 2.1 hm³; para el 2009, la actualización de la disponibilidad incrementó dicho déficit a 3.28 hm³ al crecer el volumen de agua concesionada a 35.6 hm³. Para el 2013, si bien el estimado de recarga se incrementó a 47.3 hm³, el volumen concesionado también lo hizo a un orden de 37.9 hm³, lo que implica que el acuífero continúa sin disponibilidad y bajo el riesgo de incrementar su déficit si las condiciones naturales proveen de menor recarga.

Existen 456 aprovechamientos, de los cuales 103 son superficiales y 353 subterráneos. El mayor número de registros subterráneos se ubican en los municipios del centro-sur del acuífero, mientras que la parte norte concentra aquellos que dependen de fuentes superficiales. Los aprovechamientos subterráneos han crecido de manera sustancial en un periodo de 20 años –más del doble-, sin embargo, el crecimiento desmedido se concentra en el sector doméstico a través de extracciones sin registro oficial (norias), por mangueras plásticas de diámetro bajo (caso aguas superficiales de la porción norte) o con equipo de bombeo doméstico. Se estima que el volumen de extracciones no oficiales alcanza los 5.5 hm³ anuales.

Existen dos vedas de agua subterránea y una de agua superficial, las cuales requieren de su actualización y seguimiento real. El volumen concesionado y asignado de aguas subterráneas es del orden de 37.9 hm³; el 68% se destinan a uso agrícola, 11% público-urbano, 7% doméstico, 6% pecuario, 3% servicios, 3% industrial y 0.6% acuacultura. Las mayores extracciones se concentran en Axochiapan y Tepalcingo.

El agua subterránea es, en términos generales, de buena calidad, desafortunadamente, ésta se ha deteriorado significativamente en sitios puntuales a causa de focos de contaminación provenientes de actividades específicas e inadecuado control y disposición final de residuos sólidos municipales. La problemática se agrava con descargas de aguas residuales provenientes de centros de población y actividades como la ganadería, las cuales son derivadas a barrancas, arroyos y ríos sin ningún tipo de tratamiento previo.

Lo mayores volúmenes de agua se destinan al sector agrícola, el cual despliega una superficie total de aproximadamente 38, 000 hectáreas, de las cuales, el 63% son de temporal y el 37% de riego. Los cultivos más representativos son elote, cebolla, maíz de grano, caña de azúcar nardo y rosa. Existen 111 Unidades de Riego con 7,297 usuarios y una extensión total de

cerca de 10 mil hectáreas. Entre los problemas más destacados se observan la falta de planes directores para la mayor parte de unidades de riego, bajas eficiencias electromecánicas, comercialización de productos sin beneficios importantes para el productor, etc.

Se estima una demanda en el sector agrícola de alrededor de 100 hm³ anuales los cuales se destinan principalmente a cultivos anuales. Para el sector público-urbano la demanda al año 2012 fue de 541 lps.

En el año 2013 la cobertura total del alcantarillado fue de 87%, siendo de menor cobertura Tetela del Volcán con únicamente un 25%. El volumen de aguas residuales producidas en 2013 ascendió a 412.1 lps y se proyectó que para 2040 será de 368.1 lps. El volumen total de aguas residuales tratadas calculado para el año 2013 fue de 22.5 lps, Se prevé que al 2040 este volumen alcance los 276.06 lps. La cobertura de saneamiento es baja, del orden de 5.4% para el total del área del acuífero.

A través de modelación matemática se simuló el comportamiento del acuífero bajo diferentes escenarios de manejo. Estos escenarios fueron: Inercial, Máxima Tecnificación, Plan de Manejo, Condiciones Iniciales, REPDA, Equilibrio, Equilibrio Inmediato y Status Quo. Los resultados revelan que el Escenario Inercial conduce al acuífero a condiciones de mayor sobreexplotación, y en consecuencia, incrementa los problemas de disponibilidad que derivan en conflictos económicos y sociales. Para este escenario se alcanzan abatimientos de hasta 50 metros de profundidad hacia el año 2040 y se aprecia el desarrollo de conos de abatimiento marcados en distintas zonas. Los escenarios de mayor beneficio son el de Máxima Tecnificación y Plan de Manejo, los cuales plantean una reducción en la demanda total de agua subterránea a través de la tecnificación de los sectores agrícola y público urbano. Para estos casos los abatimientos no superan los 30 metros, e inclusive se tienen zonas de franca recuperación.

Algunos otros escenarios son más teóricos que factibles toda vez que se requieren de esfuerzos y mecanismos varios que inciden de forma negativa el desarrollo económico y social de la región (Equilibrio, Equilibrio Inmediato), o bien, de una reconfiguración total de las demandas en sectores como el agrícola y público-urbano (Escenario REPDA).

I. GENERALIDADES

I.1 ANTECEDENTES

En el estado de Morelos, el ciclo hidrológico es el resultado de la interacción de diversos factores físicos y climatológicos. La mayor parte de la precipitación que incide sobre sierras y valles se evapora, una pequeña parte escurre y el volumen restante se infiltra. En este último caso, la mayor parte de la infiltración se presenta en serranías del norte de la entidad, en la región del Chichinautzin y el Popocatepetl. Por su parte, la precipitación presenta un gradiente que disminuye de norte a sur, siendo las sierras de Chichinautzin y Zempoala las de mayor lámina de lluvia (1,500 mm), mientras que la región de Zacatepec y Tepalcingo-Axochiapan se reduce a 800 mm, y hacia el sur de Morelos (Sierra de Huautla) se registran en promedio 750 mm al año.

De acuerdo con el censo de Población del estado de Morelos, 45% de los habitantes se ubican sobre el acuífero de Cuernavaca, 25% en Cuautla-Yautepec, 19.3% en el acuífero Zacatepec, y el 7.7% restante en el de Tepalcingo-Axochiapan. El acuífero Tepalcingo-Axochiapan comprende los municipios de Zacualpan de Amilpas, Temoac, Jantetelco, Jonacatepec, Tepalcingo, Axochiapan y parcialmente Tetela del Volcán.

Aproximadamente el 90% de la explotación de aguas subterráneas estatales es destinada a la agricultura, un 8% se destina al sector público-urbano, y el

porcentaje restante es compartido por los demás sectores. De acuerdo a la publicación de disponibilidad de aguas subterráneas, el acuífero Tepalcingo-Axochiapan es el único en el estado de Morelos que no presenta disponibilidad de agua. Se calcula una recarga media anual de 47.4 hm³, una descarga natural comprometida de 9.5 hm³; y un volumen concesionado de 37.9 hm³, situación que origina una nula disponibilidad para el otorgamiento de nuevas concesiones y/o asignaciones.

El panorama que enfrenta la región oriente del estado de Morelos no difiere de las principales problemáticas nacionales en lo referente al manejo de los recursos hidrológicos, específicamente los subterráneos. El desarrollo de una actividad agrícola demandante de grandes volúmenes de agua pone en riesgo la oferta de agua para el resto de los usuarios. Por lo anterior, es necesario desarrollar una planeación integral para el aprovechamiento adecuado de un recurso que sustenta la actividad económica, social y ambiental del oriente de Morelos.

El presente estudio tiene la finalidad de sentar las bases necesarias, para que, bajo los lineamientos de la política de planeación hídrica nacional, se ejecuten las estrategias adecuadas y suficientes que aseguren la disponibilidad de agua subterránea en la región del acuífero Tepalcingo-Axochiapan mediante un manejo integral del recurso hídrico.

1.2 PROBLEMÁTICA

La problemática relacionada con la disponibilidad del agua está vinculada a diferentes factores, que en conjunto, han desarrollado una realidad donde la cada vez menor disponibilidad del recurso hídrico incide de manera negativa en el desarrollo económico y social de la región.

El comportamiento hídrico de zona depende en gran medida, de la dinámica del ciclo hidrológico de la vertiente sur del volcán Popocatepetl, la cual, en épocas recientes, ha presentado una disminución de los escurrimientos superficiales que alimentan las reservas subterráneas.

Aunado a lo anterior, la cada vez mayor extracción de aguas subterráneas, ha generado un déficit en el balance natural del acuífero, lo que ha llevado a la autoridad a declararlo como sobreexplotado; aun así, y a pesar de la existencia de diferentes decretos de veda, se continúa con un manejo inadecuado de las aguas subterráneas.

La problemática se ve incrementada por movimientos sociales históricos en donde la visión particular es superior al bien común, desarrollando conflictos que se han intensificado al paso del tiempo a pesar de la existencia de acuerdos de distribución equitativa del recurso hídrico (Acuerdos de la Barranca de Amatzinac). A la par, la creciente desconfianza hacia la autoridad del agua, aunada a los conflictos entre usuarios de distintos sectores y de un mismo sector, así como la ausencia de una representatividad

formal de usuarios (COTAS), ha generado una ingobernabilidad hidrológica importante.

Adicionalmente, la baja, o bien, casi nula cultura del agua en todos los sectores, ha incentivado esquemas de aprovechamiento hídrico que demandan volúmenes cada vez mayores, pero no necesariamente éstos elevan la productividad económica y la calidad de vida de los usuarios y la población en general.

Los distintos esfuerzos gubernamentales para remediar la problemática del agua, no han tenido el impacto esperado, debido a que por distintas situaciones se carece de un plan coordinado de acciones que fomenten el manejo adecuado de la oferta del agua subterránea.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El acuífero Tepalcingo-Axochiapan concentra poco menos del 8% de la población estatal, su importante actividad agrícola supone una significativa contribución a los mercados locales y regionales, además, siendo fuente de suministro de agua para consumo humano, requiere de un manejo que implique a todos los sectores usuario.

Mientras que para el año 2002, se publicaba una recarga de 43.8 hm³, una descarga natural de 11.4 hm³ y un volumen concesionado de 34.5 hm³, el balance resultante presentaba ya un déficit de 2.1 hm³; sin embargo, para el 2009, la actualización de la disponibilidad media de agua subterránea incrementaba dicho déficit a 3.28 hm³ al crecer el volumen de agua

concesionada a 35.6 hm³. Para el año 2013, si bien el estimado de recarga se ha incrementado a 47.3 hm³, el volumen concesionado también lo ha hecho a un orden de 37.9 hm³, lo que implica que el acuífero continúe sin disponibilidad y bajo el riesgo de incrementar su déficit si las condiciones naturales proveen de menor recarga –como se prevé en escenarios futuros por efecto del calentamiento global-.

Por lo anterior, es necesario replantear el ritmo de concesiones y explotación de los aprovechamientos en sectores usuario, principalmente en el agrícola y público-urbano.

El Plan de Manejo Integrado del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, tiene como finalidad el manejo sustentable del recurso hídrico; así, el plan procura:

- Ser el elemento director para el aprovechamiento de aguas subterráneas con la visión de hacer de su uso, la herramienta de competitividad social y productiva en la región.
- Reorientar los esquemas de aprovechamiento para detener la sobreexplotación, y posteriormente, incentivar la recuperación de las zonas de mayor extracción.
- Mantener la calidad de agua subterránea evitando el agotamiento de las reservas, controlando y disminuyendo la contaminación del subsuelo.

El PIB aproximado representa el 3.67% del PIB del estado de Morelos, y con una población al 2012 de 125,121 habitantes, se identifica inmediatamente la necesidad de asegurar la continuidad y aumento productivo del agua. Se prevé que la población se incremente a 152,431 en el periodo 2010-2040, por lo que el desarrollo del Plan de Manejo permitirá dar sustento a la población que habita en la zona del acuífero, así como a la que se encuentra cercana a él, permitiendo además ser un elemento de estabilidad social.

El Plan de Manejo es un instrumento indispensable para fundamentar:

1. Un Reglamento del Acuífero, de acuerdo con las necesidades integrales en términos de sustentabilidad.
2. La zonificación del acuífero para una caracterización de las estrategias acorde a la situación de las distintas áreas geográficas de éste.
3. La priorización en términos de ordenamiento, parámetros por medir y criterios de cuantificación de las extracciones.
4. La definición de estrategias de acción durante periodos de escasez o sequía extrema.
5. La propuesta de acciones de manejo integral de cuencas que permita aumentar la oferta de agua tanto superficial como subterránea.

1.4 NOMBRE

Plan de Manejo Integrado del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, en el Estado de Morelos

1.5 UBICACIÓN Y DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

El acuífero Tepalcingo-Axochiapan, ubicado al oriente del estado de Morelos, limita hacia el norte con el flanco sur del volcán Popocatepetl, al oeste con la Sierra de Huautla, al este con pequeñas elevaciones o lomeríos derivados de la prolongación del volcán Popocatepetl, y al sur, con su zona de descarga que confluye con el río Nexapa.

Colinda hacia el norte con la Cuenca Hidrológica del Valle de México, al oeste con

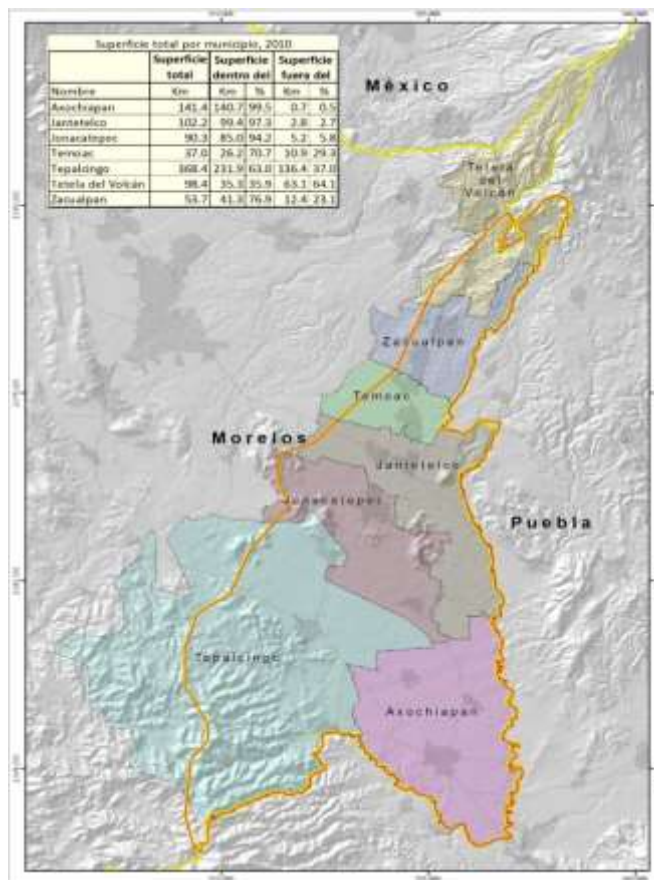
el acuífero Cuautla-Yautepec, al este con el acuífero Atlixco-Izúcar de Matamoros y al sur con la cuenca del río Nexapa, en los límites de los estados de Morelos y Puebla.

Siete municipios participan total o parcialmente dentro de la poligonal oficial: Axochiapan, Jantetelco, Jonacatepec, Temoac, Tepalcingo, Tetela del Volcán y Zacualpan. La superficie total del acuífero es de 660 km², donde Tepalcingo es el municipio con mayor extensión territorial, y Temoac es de menor tamaño. Administrativamente se circunscribe al Organismo de Cuenca Balsas, Subregión Alto Balsas. Hidrológicamente se ubica dentro de la Región Hidrológica 18 Balsas, Subregión Alto Balsas.

Figura 1 Localización del acuífero Tepalcingo-Axochiapan



Figura 2 Municipios que forman parte del acuífero Tepalcingo-Axochiapan



1.6 PARTICIPANTES EN LA ELABORACIÓN DEL PLAN

El Plan de Manejo Integrado del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan es un esfuerzo conjunto de los distintos sectores que tienen injerencia directa e indirecta en el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico, permitiendo sentar con ello, bases más sólidas para la mejor toma de decisiones respecto a la administración sustentable del agua subterránea. Se contó con la participación de instituciones y

dependencias oficiales a nivel federal, estatal y municipal, así como la representación de los diferentes sectores usuario y sociedad civil organizada.

Durante el presente proceso de planeación, se consideraron las iniciativas del Programa Nacional de Desarrollo 2013-2018, del Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2013-2018, del Programa Hídrico del Organismo de Cuenca Balsas y del Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Morelos, capitalizando los esfuerzos generados con anterioridad en aras de proveer soluciones integrales a las distintas problemáticas de la región en el tema de manejo óptimo de aguas subterráneas.

La planeación integra las iniciativas de todos los actores relacionados bajo la coordinación de la CONAGUA Oficinas Centrales en el orden federal y del Organismo de Cuenca en el orden regional.

- CONAGUA
 - Oficinas Centrales
 - Organismo de Cuenca Balsas
- Consejo de Cuenca del Río Balsas
- Representantes y usuarios en general
- Empresa consultora Ingeniería y Gestión Hídrica S.C.

Es necesario destacar que adicionalmente durante la integración del plan de manejo, se realizaron consultas hacia los distintos sectores de usuarios, así como con especialistas e informantes calificados.

La empresa Ingeniería y Gestión Hídrica, S. C. participó con un papel de integración

de propuestas e iniciativas, y contribuyó a través del análisis de éstas, en su perfeccionamiento a partir de los resultados de la evaluación técnica del acuífero, su problemática, sus áreas de oportunidad y los procesos de gestión viables para diseñar las iniciativas de solución necesarias para el manejo sustentable del acuífero.

II. OBJETIVOS

El Objetivo Superior, así como los Objetivos Específicos, Líneas Estratégicas, Líneas de Acción y Acciones, fueron definidas a partir de Talleres de Planeación Participativa, en los cuales, a través de la asistencia y participación de la comunidad interesada, se identificó la problemática en torno a la disponibilidad y aprovechamiento del agua, así también, se generaron diversas iniciativas de solución, que en algunos casos fueron adecuadas para aumentar su posibilidad de implementación.

II.1 OBJETIVO SUPERIOR

Impulso al desarrollo de la región

II.2 OBJETIVOS DEL PLAN

Mejorar la disponibilidad de agua en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan

II.2.1 Objetivos Estratégicos, Líneas Estratégicas, Líneas de acción y Acciones

Se han definido siete Objetivos Estratégicos, 21 Líneas Estratégicas, 31 Líneas de Acción y 42 Acciones que pretenden incidir en el manejo sustentable del acuífero.

La planeación se realizó dentro del marco de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico para fomentar el apoyo interinstitucional e incrementar los beneficios mediante la coordinación de programas y proyectos en conjunto.

Es así que para cada acción se identificó a los responsables y co-responsables para su implementación, los financiamientos requeridos, su programación, así como los indicadores de seguimiento.

Cada una de las acciones se priorizó en términos de su impacto en el control de las extracciones, la recuperación de reservas subterráneas y su beneficio económico, social y ambiental.

Una síntesis de cada las acciones se presenta en el *Capítulo VII Descripción del Plan*

Figura 3 Taller de planeación participativa con los usuarios del agua



IV. PRINCIPIOS PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL AGUA

El manejo integrado del agua en cuencas y acuíferos involucra iniciativas de solución fuertemente vinculadas a la acción colectiva y coordinada de instituciones y dependencias de la administración pública federal, estatal, municipal, así como de los usuarios del agua y la sociedad en su conjunto. La situación adquiere altos niveles de complejidad cuando cada participante presenta realidades organizativas, financieras, técnicas y humanas tan distintas que sólo en pocas áreas y ocasiones se tienen los elementos mínimos suficientes para ejecutar trabajos coordinados.

Un ejemplo de lo anterior lo representan las unidades de planeación institucional, así, mientras que para la CONAGUA la unidad de planeación es la cuenca hidrológica o acuífero, para la SAGARPA lo es el Distrito de Desarrollo Rural -ambas unidades sin correspondencia geográfica- situación que implica una alta probabilidad en duplicidad de acciones y asignación de recursos, así como la eliminación de resultados por implantación de programas contradictorios en una misma región de incidencia.

Es así que se establecen dos premisas fundamentales de trabajo:

1. El diseño, implementación, adecuación y seguimiento de acciones se da a partir de una

Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

2. La GIRH basa su potencialidad a partir del concepto de transversalidad tanto a nivel institucional y social.

La GIRH es “...el proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales...”.

Entre otras características, la GIRH:

- Se basa en manejar los recursos hídricos a nivel de cuenca, subcuenca, microcuenca y acuífero, considerándolos como unidades interdependientes para la gestión y desarrollo de los recursos hídricos.
- Busca establecer objetivos a corto y largo plazo para las políticas hídricas, mediante la planeación estratégica y la elaboración de planes maestros.
- Está orientada a establecer la política hídrica como una política transversal, de manera que los otros sectores tomen en cuenta al agua y viceversa.

Uno de los mayores retos de la GIRH se presenta en la operatividad y cumplimiento

de cada una de las acciones necesarias para su correcta implantación y ejecución; en primera instancia es necesario alcanzar la compatibilidad entre políticas públicas sectoriales para que sean mutuamente complementarias y no mutuamente excluyentes.

Esto solo es posible a través del correcto cumplimiento de una política de transversalidad definida y ejecutada de manera *ex profeso* para la gestión del agua y sus recursos asociados, en la cual se dé prioridad a la observancia de los instrumentos de ordenamiento territorial, el cumplimiento del marco normativo y el aprovechamiento óptimo de los recursos, sin desatender las necesidades de avance productivo que son necesarias para la entidad.

Es necesario también, alcanzar la compatibilidad de intereses entre los habitantes de diferentes regiones del estado, estableciendo las reglas de aprovechamiento sustentable de recursos, asignar responsabilidades para su conservación y definir los mecanismos necesarios y suficientes que aseguren el cumplimiento de cada uno de los acuerdos alcanzados.

Se requiere también la intervención de los diversos sectores involucrados desde una perspectiva participativa, continua y propositiva privilegiando, en todo momento, la búsqueda y diseño de soluciones a las problemáticas más

relevantes en materia hídrica. Los obstáculos institucionales y organizacionales pueden solventarse con el fortalecimiento de las debilidades del marco jurídico y normativo, a la vez que es importante el impulso en la continuidad de los procesos de gestión del agua, como elemento clave para la correcta atención de los diferentes problemas presentados en el sector.

Una de las dificultades que retarda la puesta en marcha de programas de gestión integrada del agua, es la carencia de estrategias coherentes con los medios disponibles, razón por lo cual, deberá considerarse la atención de las necesidades de inversión, planeación y organización en acciones no estructurales, pero sí sustanciales, como lo es el incremento de fondos económicos para la capacitación técnico-administrativa del personal y su incremento en número, el fortalecimiento de infraestructura administrativa, y el desarrollo de los convenios necesarios con otras instancias para el logro de la transversalidad de políticas comunes.

Con todo lo anterior, se pretende generar una visión para atender lo **“importante” con un mismo nivel de prioridad que la atención de eventos “urgentes”**. Esta conceptualización pretende incrementar la valoración del medio ambiente como elemento clave en la continuidad del ciclo hidrológico que dará viabilidad social, económica y ambiental al estado de Morelos.

V. DIAGNÓSTICO

V.1 POBLACIÓN Y DESARROLLO SOCIOECONÓMICO

En el área de estudio al año 2010 la población fue de 116,757 habitantes lo que representó un incremento real de 41,709 habitantes con respecto a 1980; de 28,789 con respecto a 1990 y de 13,525 con respecto al año 2000. Al año 2040 se estima que la población total del área de estudio llegará a 150,206 habitantes, lo que representa un incremento de 33,449 personas; 28.6% con respecto al año 2010 (Tabla 1). Aun cuando la población rural se incrementó en el periodo 1980-2010, ésta tenderá a mantenerse constante hacia el año 2040.

Los municipios de Axochiapan y Tepalcingo son los que históricamente han concentrado la mayor cantidad de población y dicha situación no se estima que cambie al año 2040. Para 1980 ambos municipios concentraron casi el 49% del total de la población, pues en el año 2010 contaban con prácticamente el 47% del total y para el año 2040 se calcula que concentrarán el 45% de la población total.

Los municipios con menor participación de población son Tetela del Volcán y Zacualpan de Amilpas, donde la población urbana es de 81.2% y la rural 18.8%.

Las cabeceras municipales son las de mayor importancia en términos de estructura de servicios generales para la población.

Tabla 1 Población histórica, actual y futura

Municipio	Tipo	1980	1990	2000	2010	2018	2024	2030	2035	2040
Axochiapan	Urbano	16,253	20,245	23,337	25,799	26,995	27,555	27,667	29,012	30,296
	Rural	5,195	5,989	7,072	8,436	9,223	9,799	10,313	10,814	11,293
Jantetelco	Urbano	6,798	7,344	8,791	10,095	11,352	12,118	12,734	13,353	13,944
	Rural	2,787	3,851	4,953	5,788	6,178	6,377	6,515	6,832	7,134
Jonacatepec	Urbano	7,144	9,055	10,755	11,461	11,951	12,193	12,251	12,847	13,416
	Rural	1,642	2,119	2,834	3,345	3,700	3,952	4,162	4,364	4,557
Temoac	Urbano	8,079	9,529	11,157	13,353	15,353	16,423	17,177	18,012	18,810
	Rural	587	711	921	1,502	1,769	1,933	2,069	2,170	2,266
Tepalcingo	Urbano	14,056	14,984	17,555	18,794	20,324	21,456	22,499	23,593	24,638
	Rural	1,062	1,314	1,587	1,800	1,957	2,075	2,186	2,292	2,394
Tetela del Volcán	Urbano	5,197	5,566	5,881	6,586	6,894	7,150	7,362	7,719	8,061
	Rural	0	340	428	574	632	682	733	768	802
Zacualpan	Urbano	6,248	6,890	7,768	8,708	9,721	10,321	10,863	11,391	11,895
	Rural	0	31	193	516	574	608	638	669	699
TOTAL		75,048	87,968	103,232	116,757	126,623	132,640	137,168	143,836	150,206

A nivel regional, se estimó un PIB del orden de los \$ 4,626 millones de pesos al año 2005 (3.67% del total estatal). Tepalcingo y Axochiapan son los de mayor participación con el 46.6%.

Tabla 2 Producto interno bruto municipal estimado para el 2005

Municipio	PIB 2005 en pesos a precios corrientes
Axochiapan	\$ 1,185,428,884
Jantetelco	\$ 531,566,295
Jonacatepec	\$ 670,924,244
Tepalcingo	\$ 973,621,027
Tetela del Volcán	\$ 418,283,638
Zacualpan de Amilpas	\$ 346,280,780
Temoac	\$ 500,480,211
	\$ 4,626,585,080

Los municipios involucrados presentan un grado de marginación medio, pero destaca que se ubican dentro de los primeros 13 con mayor marginación en el estado, siendo Axochiapan el de mayor marginalidad al ocupar el segundo lugar estatal.

La actividad predominante en la región pertenece al sector primario con un bajo desarrollo del sector secundario. Para el año 2010, la Población Económicamente Activa fue de 48,301 personas de las cuales el 6.7% permanecía desocupada. El total de Población No Económicamente Activa alcanzó la cifra de 51,660 personas.

Figura 5 Producto Interno Bruto 2005

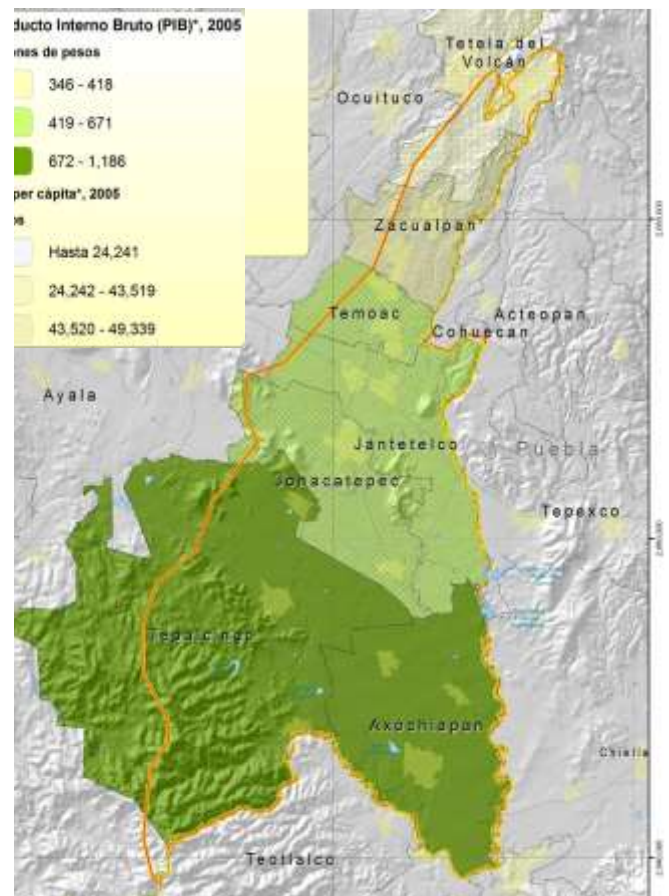


Tabla 3 Índice y grado de marginación municipal

Municipio	Población total	Índice de marginación	Grado de marginación	Índice de marginación (0 a 100)	Lugar en el contexto estatal
Axochiapan	33 695	-0.01022	Medio	27.557	2
Jantetelco	15 646	-0.50869	Medio	21.925	13
Jonacatepec	14 604	-0.46876	Medio	22.376	11
Tepalcingo	25 346	-0.23443	Medio	25.023	7
Tetela del Volcán	19 138	-0.41373	Medio	22.997	8
Zacualpan de Amilpas	9 087	-0.41670	Medio	22.964	9
Temoac	14 641	-0.23417	Medio	25.026	6

Tabla 4 Producto interno bruto municipal estimado para el 2010

Municipio	Condición de actividad económica				
	Población económicamente activa			Población no económicamente activa	No especificado
	Total	Ocupada	Desocupada		
003 Axochiapan	11,934	10,782	1,152	13,378	140
010 Jantetelco	5,947	5,562	385	5,955	60
013 Jonacatepec	5,544	5,083	461	5,885	54
033 Temoac	5,458	5,195	263	5,596	59
019 Tepalcingo	9,469	8,867	602	10,046	73
022 Tetela del Volcán	6,758	6,584	174	7,022	67
032 Zacualpan	3,191	2,948	243	3,778	26

V.2 EVALUACIÓN DE PROGRAMAS

RELATIVOS AL MANEJO DEL AGUA

Los programas de apoyo al desarrollo agrícola tienen su origen en subsidios públicos tanto federales como estatales. No existe un esquema de apoyo regular, en sí, el financiamiento subsidiado depende del cumplimiento de las reglas de operación

por parte de los usuarios beneficiados, situación que muchas veces representa un serio obstáculo para la obtención del apoyo económico.

En el sector público-urbano, existen Organismos Operadores (OO) encargados de esta función, sin embargo, el desempeño y cumplimiento de objetivos ha dependido históricamente de subsidios

federales y estatales por diversas razones, entre las cuales se destacan las siguientes: cambios en dirección administrativa por renovación de autoridades municipales, baja infraestructura técnica y administrativa, personal insuficiente y con baja capacitación, problemas económicos por baja capacidad de recaudación y financiamiento, entre otras más.

Por el tamaño de la población y el grado de desarrollo social, los diferentes OO se ven limitados en financiarse con grandes montos económicos provenientes de los programas institucionales de apoyo para tal efecto, razón por lo cual el financiamiento se considera insuficiente, y cuando éste se genera, proviene de convenios entre la federación y el estado.

V.3 CLIMATOLOGÍA

Se identifica un gradiente climatológico que va de fríos y muy fríos en la parte norte del acuífero, los cuales se transforman en semicálidos y cálidos en la parte sur de dicha unidad geohidrológica. El clima

predominante es el cálido subhúmedo con lluvias en verano (Awo), con una temperatura media anual de 20.88° C y precipitación media anual de 942 mm; seguido por el semicálido subhúmedo con lluvias en verano ((A)C(w1)) y posteriormente, el templado C(w2) que comprende a los templados subhúmedos con lluvias en verano.

Los climas muy fríos, fríos y semifríos se localizan en la cima del volcán Popocatepetl, con temperaturas que fluctúan entre 0 a 5° C y ocurren en altitudes mayores a 3,000 msnm. El clima templado presenta temperaturas que fluctúan entre 12 y 18° C, se localiza en los municipios de Zacualpan y Temoac, a altitudes de entre 2,000 a 2,800 msnm al norte del acuífero.

El acuífero Tepalcingo – Axochiapan, presenta una precipitación media anual de 882.3 mm, con variaciones entre 599.4 y 1154.8 mm. La temperatura media anual es de 20.8 °C con un rango de entre 15.4 y 23.8 °C.

Tabla 5 Precipitación media ponderada mensual

ACUÍFERO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Acumulada Anual
TEPALCINGO - AXOCHIAPAN	9.8	6.3	4.6	12.3	63.6	181.3	168.8	182.4	175.5	64.0	10.8	3.0	882.3

Figura 6 Comportamiento histórico y estacional de la precipitación media anual

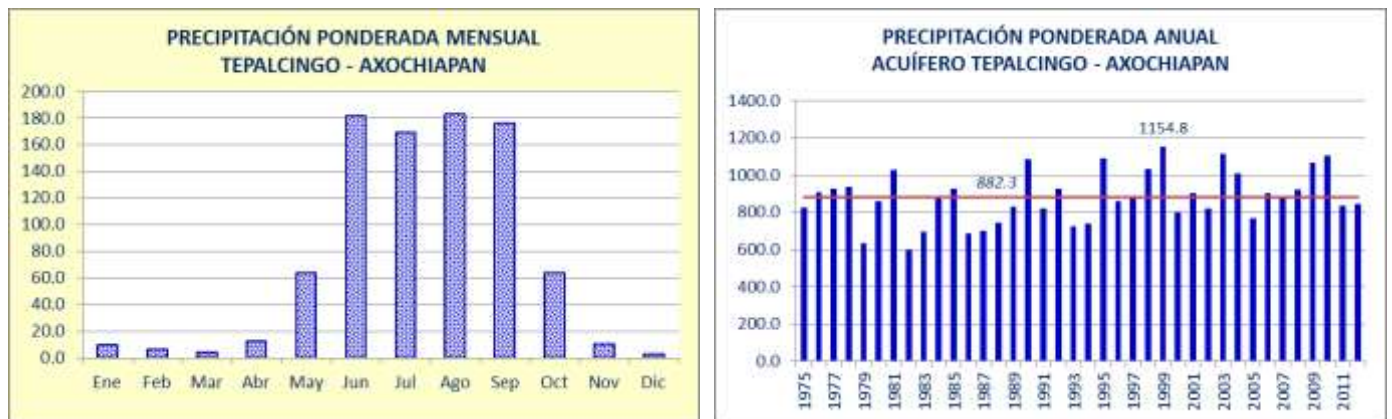
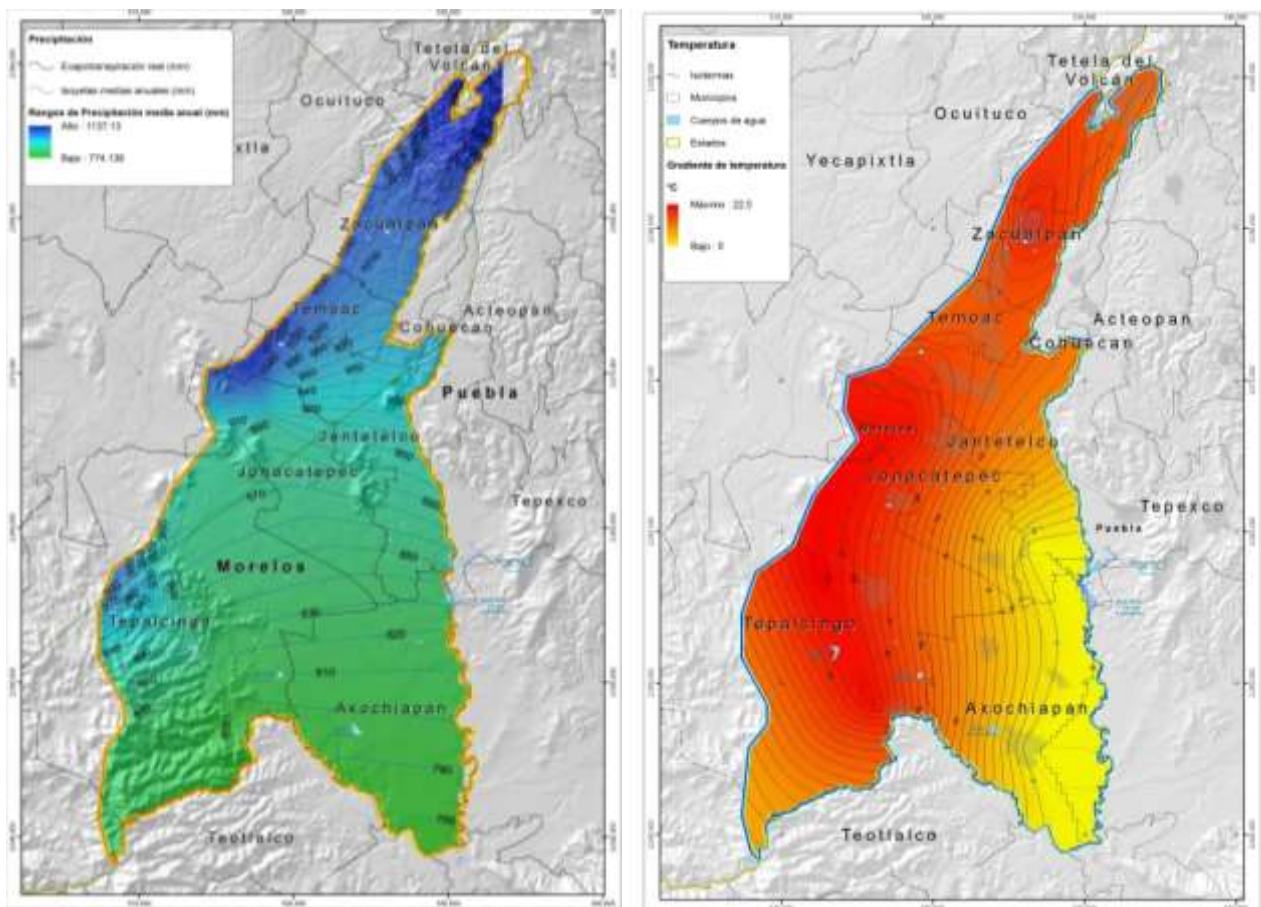


Figura 7 Isoyetas e isotermas en la zona del acuífero Tepalcingo-Axochiapan



V.4 AGUAS SUBTERRÁNEAS

V.4.1 Funcionamiento del sistema acuífero

Las entradas de agua al acuífero tiene su origen principalmente en la precipitación y en los deshielos del volcán Popocatepetl, las cuales dan lugar a los procesos de escurrimiento e infiltración que determinan la presencia del agua superficial y subterránea.

Los escurrimientos del volcán Popocatepetl generan una recarga de agua subterránea que transita de norte a sur siguiendo la pendiente del terreno. En el sur, se encuentra la región de Tepalcingo-Axochiapan, la cual se considera como zona de descarga natural y de gran aprovechamiento, al concentrarse sobre ella la mayor cantidad de extracciones para diferentes usos, siendo el principal, el agrícola. Finalmente, el agua subterránea circula hacia la confluencia con el río Nexapa, zona donde el acuífero descarga de forma natural como flujo base.

En términos de profundidad, los niveles freáticos tienen mayores profundidades en la parte alta del acuífero debido a que en esta zona existen mayores pendientes de terreno; por su parte, en la zona del valle de Tepalcingo-Axochiapan las profundidades del manto freático son menores pero existen abatimientos estacionales, y en

general, éstos tienden a ser cada vez de mayores magnitudes.

V.4.2 Caracterización de los aprovechamientos e hidrometría

La situación se agrava con la existencia de extracciones sin concesión en diferentes sitios de la región, éstas obtienen el agua a través de simples mangueras plásticas de diámetro bajo (caso aguas superficiales de la porción norte) o con el empleo de equipos de bombeo con capacidad de volúmenes de extracción mayores.

Al no existir un registro detallado de este tipo de aprovechamientos solo ha sido posible calcular de manera aproximada los volúmenes extraídos, los cuales alcanzan los 5.5 hm³, siendo las norias las de mayor impacto.

Tabla 6 Volumen total extraído de pozos y norias por municipio

Municipio	Norias	Volumen total (hm ³ /año)	Pozos	Volumen total (hm ³ /año)
Axochiapan	940	1,088,520	3	472,302
Jantetelco	483	559,314	1	157,434
Jonacatepec	365	422,670	1	157,434
Temoac	825	955,350	0	0
Tepalcingo	782	905,556	2	314,868
Zacualpan de Amilpas	420	486,360	0	0
Total	3,815	4,417,770	7	1,102,038

V.4.3 Usos del agua subterránea

Existe un volumen concesionado y asignado de aguas subterráneas del orden de los 37.9 hm³, de los cuales el 68% se destinan a uso agrícola, 11% público-urbano, 7% domestico, 6% pecuario, 3% servicios, 3% industrial y 0.6% acuacultura. Los mayores volúmenes de extracción se concentran en Axochiapan y Tepalcingo, siendo notorio que en Tetela del Volcán es marginal el volumen de aguas subterráneas que presenta registrado.

Figura 8 Aprovechamientos de aguas subterráneas por sector

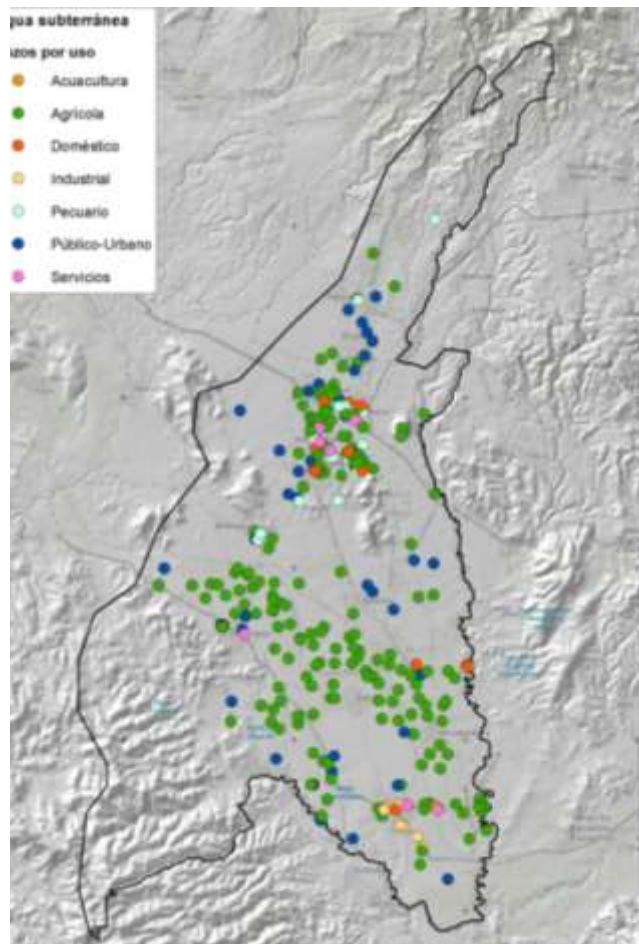
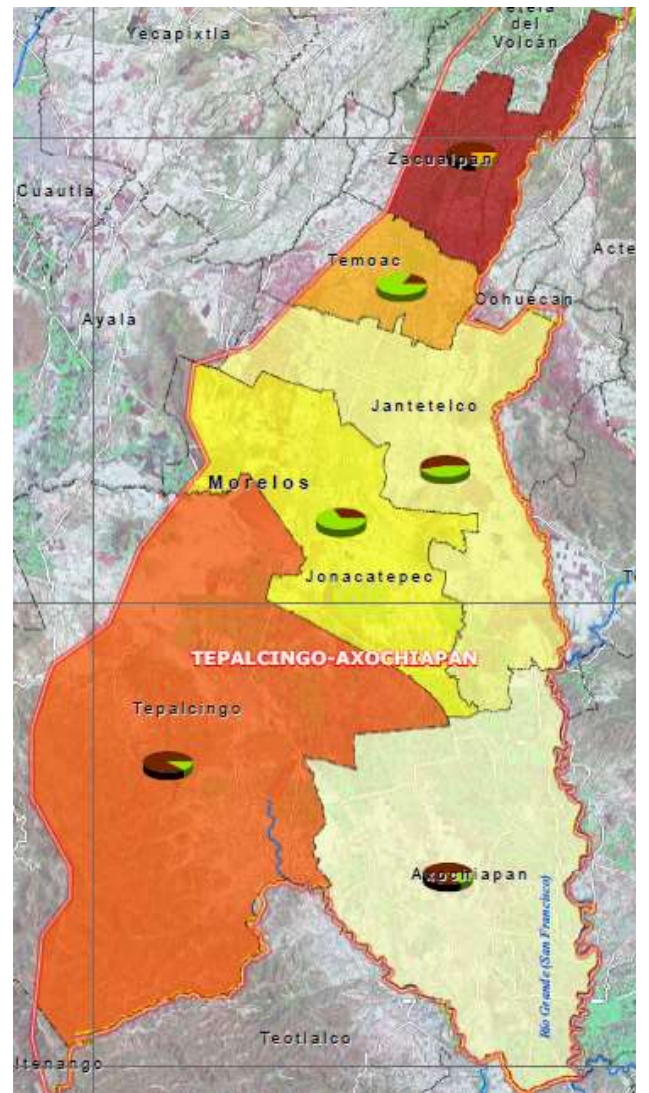


Figura 9 Volumen de extracción del agua subterránea por municipio



SIMBOLOGÍA

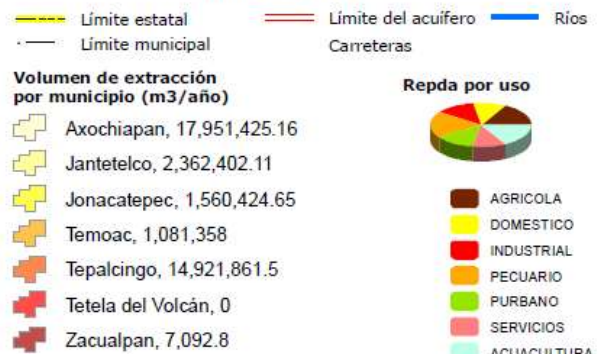


Tabla 7 Volúmenes de agua subterránea concesionada clasificada por uso

Uso	Axochiapan	Jantetelco	Jonacatepec	Temoac	Tepalcingo	Tetela	Zacualpan	Total
Acuicultura	1,000.0		3,000.0					4,000.0
Agrícola	13,262,184.6	1,028,867.5	570,551.0	241,068.0	14,901,406.0		5,632.80	30,009,709.9
Doméstico	500	3026	219.0					3,745.0
Industrial	17,869.0		1,000.0					18,869.0
Múltiple	347,332.5	177,594.2	49,481.8	14,275.0	390,418.0	26.0		979,127.4
Pecuario		2,044.0	5,869.5		1,715.5		1,460	11,089.0
Público-Urbano	2,326,606.0	1,053,901.0	1,038,498.0	843,919.0	1,564,059.0		47,304.0	6,874,287.0
Servicios	5,599.0	9,782.0			3,365.0			18,746.0
Total	15,961,091.1	2,275,214.7	1,668,619.3	1,099,262.0	16,860,963.5	26.0	54,396.8	37,919,573.3

En cuanto al número de aprovechamientos, el número total ha sido variable al paso del tiempo, pero en la actualidad rondan los 456, de los cuales, 103 son superficiales y 353 subterráneos. Se aprecia que el mayor número de

registros subterráneos se ubican en los municipios del centro-sur del acuífero, mientras que la parte norte concentra aquellos que dependen de fuentes superficiales.

Tabla 8 Número de aprovechamientos y volumen concesionados de agua superficial y subterránea

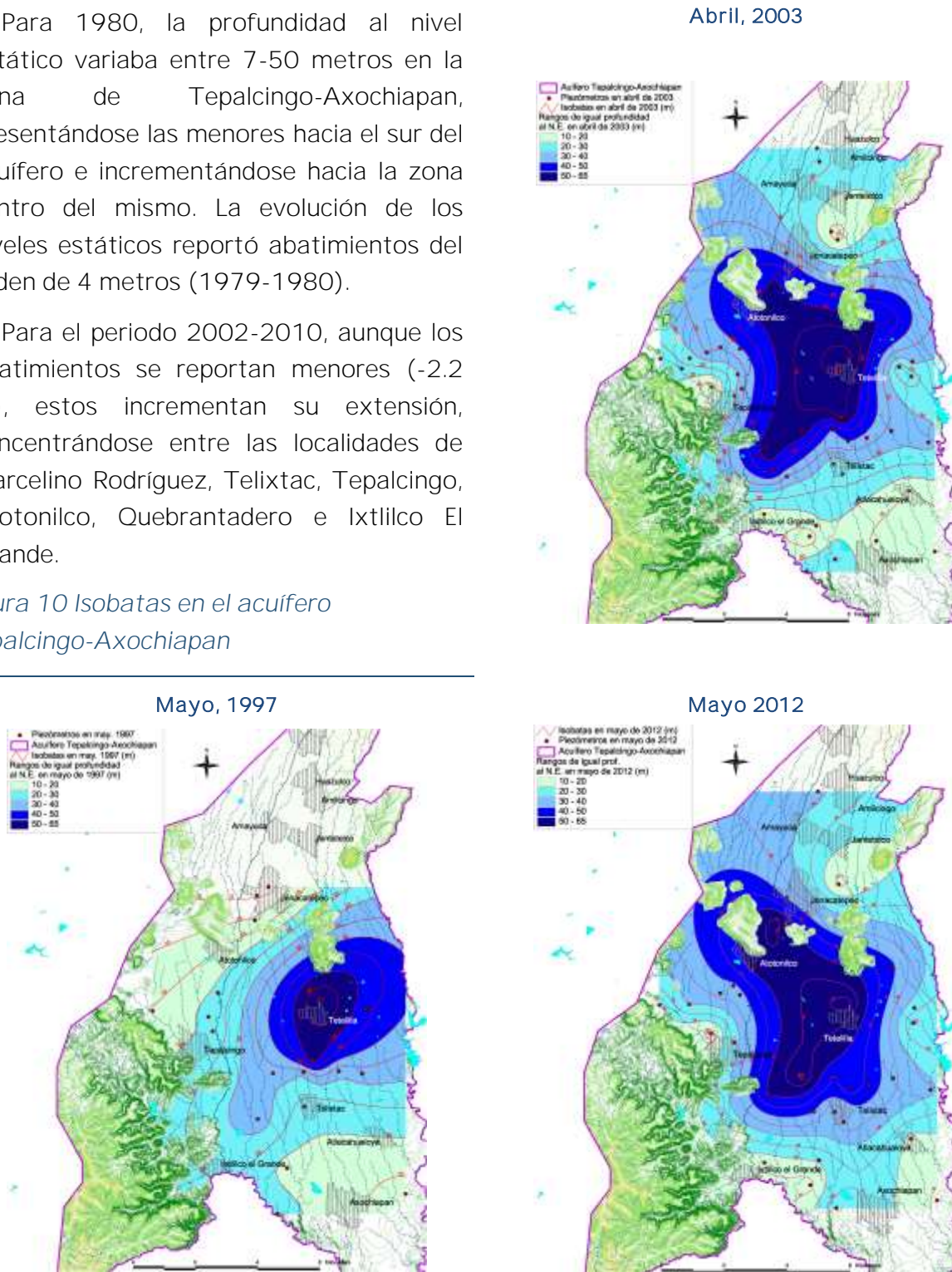
Uso	Aprovechamientos			Volumen		
	Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
Axochiapan	16	105	121	24,852,353.8	15,961,091.1	40,813,444.9
Jantetelco	7	122	129	7,771,867.7	2,275,214.7	10,047,082.4
Jonacatepec	11	33	44	13,106,798.9	1,668,619.3	14,775,418.2
Temoac	7	12	19	7,777,888.8	1,099,262.0	8,877,150.8
Tepalcingo	9	76	85	3,542,394.0	16,860,963.5	20,403,357.5
Tetela del Volcán	46	1	47	1,241,828.3	26.0	1,241,854.3
Zacualpan	7	4	11	2,248,784.4	54,396.8	2,303,181.2
Total	103	353	456	60,541,915.9	37,919,573.3	98,461,489.2

V.4.4 Comportamiento piezométrico

Para 1980, la profundidad al nivel estático variaba entre 7-50 metros en la zona de Tepalcingo-Axochiapan, presentándose las menores hacia el sur del acuífero e incrementándose hacia la zona centro del mismo. La evolución de los niveles estáticos reportó abatimientos del orden de 4 metros (1979-1980).

Para el periodo 2002-2010, aunque los abatimientos se reportan menores (-2.2 m), estos incrementan su extensión, concentrándose entre las localidades de Marcelino Rodríguez, Telixtac, Tepalcingo, Atotonilco, Quebrantadero e Ixtlilco El Grande.

Figura 10 Isobatas en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan



Ponderando los abatimientos en relación a la extensión geográfica, éstos no sobrepasan el metro de profundidad, sin embargo, esto sigue siendo indicativo de un agotamiento de reservas de agua subterránea.

Tabla 9 Abatimiento del Nivel Estático

Abatimiento del N.E. (2003-2012; m/año)	
Medio Anual	-0.18
Máximo	-0.78

Geográficamente, se continúa observando que las mayores extracciones se presentan sobre extensiones de suelo agrícola, región que depende cada vez más de los escurrimientos irregulares de agua subterránea y láminas de lluvia de marcada variabilidad.

V.4.5 Calidad del agua subterránea y fuentes de contaminación

Estudios anteriores reportan que la calidad de agua subterránea en términos generales es de buena calidad. Asimismo, las curvas de igual conductividad eléctrica indicaron la presencia de dos zonas de recarga, la primera procedente de la zona norte y la segunda proveniente de la parte nororiental. Las concentraciones de sales mostraron incrementos de N-S, NW-E y NE-S, indicando flujos de agua subterránea en las mismas direcciones.

En cuanto a agua para riego, en la parte norte del acuífero predomina el agua de buena calidad, apropiada para su uso en riego sin restricción alguna. En la parte sur se presenta relativamente alto contenido salino; existen algunos sitios con agua que presenta restricciones que ocasionan baja productividad de los cultivos.

Desafortunadamente, la calidad del agua subterránea se ha deteriorado significativamente en sitios puntuales de la región a causa de focos de contaminación provenientes de actividades específicas e inadecuado control y disposición final de residuos sólidos municipales, los cuales generan lixiviados que contaminan mantos freáticos empleados para abastecimiento de agua potable.

La problemática se ve agravada con descargas de aguas residuales provenientes de centros de población y actividades como la ganadería, las cuales son derivadas a barrancas, arroyos y ríos sin ningún tipo de tratamiento previo.

V.4.6 Condiciones de explotación del agua subterránea

Lo mayores volúmenes de agua se destinan al sector agrícola, el cual despliega una superficie total de aproximadamente 38, 000 hectáreas, de las cuales, el 63% son de temporal y el 37% de riego.

La distribuciones de la modalidad de uso establecen que las zonas de temporal se extienden en la mayor parte del acuífero,

sin embargo, la principal zona de extracciones subterráneas están ocupadas por zonas de riego, las cuales se ubican en la zona del valle de Tepalcingo-Axochiapan.

Los cultivos más representativos de riego estacional son elote, cebolla y maíz de grano.

El cultivo de riego perenne más importante es la caña de azúcar. Nardo y rosa son las flores más cultivadas.

Tabla 10 Tipo de cultivos

Tipo de cultivo	Superficie		Volumen de Riego	
	(ha)	%	hm ³	%
Anuales	8,126	80.1%	60.946	65.60%
Perennes	1,958	19.3%	31.325	33.72%
Flores	63	0.6%	0.631	0.68%
Total	10,147	100.0%	92.902	100.0%

Tabla 11 Caracterización de Unidades de Riego en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Municipio	Superficial				Subterránea				Total			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Axochiapan	7	1892	3370.37	1.78	48	1477	2390.58	1.62	55	3369	5760.95	1.71
Jantetelco	6	484	417.09	0.86	2	126	110.12	0.87	8	610	527.21	0.86
Jonacatepec	5	1217	760.61	0.62	1	7	33.96	4.85	6	1224	794.57	0.65
Tepalcingo	11	1301	1214.78	0.93	30	632	1450.91	2.3	42	2094	2847.86	1.36

A: Unidades; B: Usuarios; C: Superficie (ha); D: Parcela Media. Existe una UR con 161 usuarios, 82.11 ha y 1.13 de parcela media que usa tanto aguas subterráneas como superficiales

Tabla 12 Proyección de demanda de agua subterránea en el sector público-urbano

Demanda (lps)	2010	2012	2015	2020	2025	2030
Axochiapan	139.8	140.6	143.7	149.2	154.6	141.0
Jantetelco	66.6	78.5	78.2	77.5	76.6	66.9
Jonacatepec	59.6	76.7	74.9	72.4	70.1	59.3
Temoac	46.3	61.5	64.4	68.4	71.7	68.1
Tepalcingo	86.5	100.3	102.8	107.1	111.3	104.0
Tetela del Volcán	28.4	29.9	29.5	29.0	28.7	25.3
Zacualpan	52.6	54.4	51.9	47.1	42.2	33.9
TOTAL	480.0	541.9	545.3	550.7	555.1	498.5

V.5 AGUA SUPERFICIAL

V.5.1 Hidrografía

La zona de estudio está influenciada por factores geomorfológicos. En la ladera del volcán se presenta un arreglo hidrográfico de tipo radial, para pasar al tipo dendrítico con dirección preferencial norte-sur, como lo atestiguan los colectores de la zona, la barranca Amatzinac, los ríos Tepalcingo y San Francisco en Morelos y el río Nexapa en Puebla, todos afluentes del río Atoyac y pertenecientes al sistema hidrológico del río Balsas.

Los arroyos y barrancas son de régimen intermitente y el sistema de drenaje es paralelo; casi no hay manantiales y en el caso de las Termas de Atotonilco, se dan en la ladera del cerro Cuachi en el valle de Tepalcingo. Como algo excepcional se presenta el manantial termal de Ixtlatala, el cual aflora en la margen izquierda del río San Francisco, en el valle de Tepalcingo-Axochiapan.

V.5.2 Calidad del agua superficial

Dentro de la poligonal del acuífero Tepalcingo-Axochiapan no hay presencia de sitios de monitoreo integrados a la Red Nacional de Monitoreo que administra la Comisión Nacional del Agua, por lo cual no existe información histórica oficial que permita evaluar la calidad de aguas superficiales; sin embargo, por reportes directos de usuarios y autoridades se

Figura 11 Corrientes principales



reconoce que la calidad en aguas superficiales ha sufrido un deterioro evidente e indudable. En la región la cobertura y eficiencia en la recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales es muy baja y/o prácticamente nula en varias regiones, además de los problemas de disposición inadecuada de residuos sólidos municipales, que parcialmente, son depositados en barrancas y arroyos.

No existe monitoreo de la contaminación del agua superficial por productos derivados de la fertilización de áreas agrícolas.

V.5.3 Características básicas de oferta y uso del agua superficial

En términos de hidrometría de aguas superficiales, TACSA (1980) menciona que el dren principal de la zona de Tepalcingo-Axochiapan lo constituye el río Nexapa, tendiendo como afluentes al río Amatzinac, al Amilcingo, la Barranca de Alchichica y el río Tepalcingo. Así también, reporta que el río Nexapa presenta escurrimientos medios de $0.52 \text{ m}^3/\text{seg}$ y de $3.301 \text{ m}^3/\text{seg}$ para las estaciones hidrométricas Chietla y Tecaxtla 3, la primera ubicada a la entrada y la segunda a la salida de la zona de estudio.

Por su parte, el río Muerto en la estación Lagunillas 1 reporta un caudal medio de $0.298 \text{ m}^2/\text{seg}$, según TACSA como producto de los retornos de riego y al mantener este flujo constante considera que no existe relación entre este río y el acuífero. Por su parte para la estación El Orégano se reportó caudales medios de $0.715 \text{ m}^3/\text{seg}$ también procedentes de retornos agrícolas de la zona cañera de Lagunillas y Atencingo. Por último, el río Tepalcingo en la estación Tecaxtla 2 registro escurrimiento medios de $0.145 \text{ m}^3/\text{seg}$ interpretándose que recibe caudales de pequeños arroyos y retornos

de riego. La misma consultora establece que el uso de aguas superficiales ha permitido el desarrollo de una actividad agrícola que emplea este recurso a través de bordos y pequeñas presas derivadoras. Para datos hasta el año 1980 se identificaron las siguientes zonas:

Zona 1. Municipio Jantetelco.

Se riegan 155 hectáreas con aguas del río Amatzinac y del canal Agua Hedionda. En el ejido Santa Ana el canal Agua Hedionda irriga 260 hectáreas. En San Antonio la Esperanza, mediante empleo de bordos se regaban aproximadamente 80 hectáreas.

Zona 2. Municipio Jonacatepec.

Para este caso el canal Agua Hedionda se beneficiaban los ejidos El Pastor (96 ha), Tlaica (102 ha) y Agua Hedionda (238 ha). Por su parte, el ejido de Santa Cruz mediante bordo irrigaba una superficie de aproximadamente 130 ha.

Zona 3. Municipio Tepalcingo

Mediante un bordo de almacenamiento el Ejido Palo Prieto riega 45 hectáreas. En el ejido de Ixtlico El Grande se derivan aguas del río Tepalcingo y en el mismo ejido mediante bordo situado en la barranca Las Tinajas se irrigan otras 25 hectáreas.

En el Arrozal No. 2, situado al norte de la cabecera municipal se irrigan 56 hectáreas con aguas del canal Agua Hedionda. En el

mismo canal con un gasto de 150 lps se beneficia una superficie aproximada de 153 hectáreas en el ejido El Zacate.

En Ixtlilco El Chico (sureste de Tepalcingo) se aprovechan aguas del río Tepalcingo mediante el bordo identificado como Colotiapan, irrigando 103 hectáreas, mientras que con el bordo La Sábila se aprovechan otras 70 hectáreas.

El ejido Atotonilco No.1 y No. 2 se aprovechan aguas de manantial el cual irriga un total de 210 hectáreas.

Zona 4. Municipio de Axochiapan.

Existen cuatro cárcamos de bobeeo sobre el río Muerto o Amatzinac los cuales irrigan 733 hectáreas (campos La Organera y Palo Blanco). El bordo La Laguna beneficia 98 hectáreas con un caudal de 10 lps proveniente del río Pajarito. Sobre el mismo río existe un bordo derivador conocido como Joya de Mejía con una capacidad de irrigar 11 hectáreas.

El bordo Piedra Liza en la localidad de Quebrantadero aprovecha aguas del río Pajarito regando 34 hectáreas. El ejido Marcelino Rodríguez se beneficia con aguas del canal Agua Hedionda irrigando 202 hectáreas, y por último, el ejido de Tlalayo, situado a aproximadamente 10 km al este de Axochiapan riega 63 hectáreas con aguas provenientes de la barranca Amatzinac.

V.6 AGUA RESIDUAL

V.6.1 Calidad

La cobertura de saneamiento en el acuífero es de aproximadamente 30%. Descargas de uso público-urbano, en general, se tienen en cada municipio. El inadecuado manejo de traspatio que se da de la producción ganadera genera problemas de contaminación. Se tienen identificadas descargas sin tratamiento previo de granjas porcinas en Axochiapan, Jantetelco, Jonacatepec, Temoac y Zacualpan. No existe infraestructura que cumpla con la normatividad vigente para el manejo de residuos sólidos municipales.

V.6.2 Características básicas de oferta y uso del agua residual tratada y sin tratar

En el año 2013 la cobertura total del alcantarillado para la zona del acuífero Tepalcingo-Axochiapan fue de 87%, siendo el municipio con menor cobertura Tetela del Volcán (25%). Por otro lado, el volumen de aguas residuales producidas en 2013 ascendió a 412.1 lps y se proyectó que para 2040 será de 368.1 lps. El volumen total de aguas residuales tratadas calculado para el año 2013 fue de 22.5 lps, Se aprecia en la 0 que en el año 2040 se prevé que este volumen alcance los 276.06 lps. La cobertura de saneamiento es baja, del orden de 5.4% para el total del área de estudio en el año 2012 y se proyectó a 75% para el año 2040.

Tabla 13 Cobertura de alcantarillado (%)

No.	Tipo	1980	1990	2000	2010	2018	2024	2030	2035	2040
Axochiapan	Urbano	91.6%	91.6%	91.6%	91.6%	93.2%	94.8%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	91.6%	91.6%	91.6%	91.6%	93.2%	94.8%	99.0%	99.0%	99.0%
Jantetelco	Urbano	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	94.7%	95.8%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	93.5%	93.5%	93.5%	93.5%	94.7%	95.8%	99.0%	99.0%	99.0%
Jonacatepec	Urbano	92.9%	92.9%	92.9%	92.9%	94.2%	95.5%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	92.9%	92.9%	92.9%	92.9%	94.2%	95.5%	99.0%	99.0%	99.0%
Temoac	Urbano	87.8%	87.8%	87.8%	87.8%	90.2%	92.6%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	87.8%	87.8%	87.8%	87.8%	90.2%	92.6%	99.0%	99.0%	99.0%
Tepalcingo	Urbano	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	91.6%	93.6%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	89.5%	89.5%	89.5%	89.5%	91.6%	93.6%	99.0%	99.0%	99.0%
Tetela del Volcán	Urbano	23.5%	23.5%	23.5%	23.5%	34.5%	45.5%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	23.5%	23.5%	23.5%	23.5%	34.5%	45.5%	75.0%	75.0%	75.0%
Zacualpan	Urbano	91.3%	91.3%	91.3%	91.3%	93.0%	94.6%	99.0%	99.0%	99.0%
	Rural	91.3%	91.3%	91.3%	91.3%	93.0%	94.6%	99.0%	99.0%	99.0%
TOTAL		86.4%	86.6%	87.0%	87.0%	89.3%	91.6%	97.6%	97.6%	97.6%

Tabla 14 Generación de aguas residuales (lps)

Municipio	Tipo	1980	1990	2000	2010	2018	2024	2030	2035	2040
Axochiapan	Urbano	56.3	70.1	80.8	89.4	84.3	79.9	75.3	75.4	75.6
	Rural	15.6	18.0	21.3	25.4	29.9	29.3	28.7	28.5	28.2
Jantetelco	Urbano	20.5	22.2	26.6	30.5	36.8	36.3	35.5	35.1	34.8
	Rural	8.5	11.7	15.0	17.6	20.0	19.1	18.1	18.0	17.8
Jonacatepec	Urbano	21.8	27.7	32.8	35.0	39.4	36.9	34.4	33.9	33.5
	Rural	5.0	6.5	8.7	10.3	12.2	12.0	11.7	11.5	11.4
Temoac	Urbano	24.9	29.4	34.4	41.2	47.2	47.4	46.7	46.9	46.9
	Rural	1.8	2.2	2.9	4.7	5.4	5.6	5.6	5.6	5.7
Tepalcingo	Urbano	43.7	46.5	54.5	58.4	58.4	58.9	59.4	60.5	61.5
	Rural	3.3	4.1	5.0	5.6	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0
Tetela del Volcán	Urbano	16.6	17.8	18.8	21.0	20.0	18.8	17.8	17.4	17.1
	Rural	0.0	1.1	1.4	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
Zacualpan	Urbano	19.9	21.9	24.7	27.7	38.6	35.0	31.5	29.0	26.5
	Rural	0.0	0.1	0.6	1.6	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6
TOTAL		238.0	279.3	327.5	370.2	402.0	388.8	374.1	371.1	368.1

Tabla 15 Cobertura de saneamiento (%)

Municipio	Tipo	1980	1990	2000	2010	2018	2024	2030	2035	2040
Axochiapan	Urbano	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
Jantetelco	Urbano	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
Jonacatepec	Urbano	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%	20.0%	35.0%	75.0%	75.0%	75.0%
Temoac	Urbano	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
Tepalcingo	Urbano	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
Tetela del Volcán	Urbano	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	32.1%	75.0%	75.0%	75.0%
Zacualpan	Urbano	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	16.9%	32.7%	75.0%	75.0%	75.0%
	Rural	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	16.9%	32.7%	75.0%	75.0%	75.0%
TOTAL		2.7%	2.8%	2.9%	2.9%	18.3%	33.7%	75.0%	75.0%	75.0%

VI. PROYECCIONES

Balance y disponibilidad de agua subterránea

La actualización del balance hidrogeológico (2013) establece una entrada horizontal al acuífero de 16.2 hm³ y una recarga vertical por lluvia de 25.8 hm³/año, resultando en una recarga total de 53 hm³/año. Se determinó una salida horizontal al acuífero de Ixcaquixtla de 11.1 hm³, de los cuales el 50% se considera como volumen comprometido, más el 100% del volumen concesionado de manantiales (3.82 hm³/año) y el 100% del caudal base (2.4 hm³/año). Los resultados contrastan con la disponibilidad media anual publicada en el DOF (28 de agosto de 2009) donde se determinan entradas horizontales del orden de 28.1 hm³ y una infiltración por lluvia de tan solo 4.5 hm³, dando lugar a una recarga total media anual de 43.8 hm³/año.

La disponibilidad es de -0.83 hm³/año tomando el volumen anual real extraído del acuífero y de -3.282 hm³/año si se considera el volumen concesionado inscrito en el REPDA. En ambos casos la disponibilidad es negativa, es decir, el acuífero se encuentra sobreexplotado y no existen volúmenes disponibles para nuevas concesiones. Con el fin de realizar un análisis más detallado de la oferta y demanda se dividió el área de estudio en dos subcuencas: Río Tepalcingo y Río Grande. La primera abarca la región sur,

centro-occidental y noroccidental del acuífero y es donde se localiza la mayor sobreexplotación. La subcuenca del Río Grande comprende el resto del acuífero.

Oferta de agua residual

En el año 2012 en la zona del acuífero se produjeron 12.29 hm³ de aguas residuales, de las cuales 0.72 hm³ fueron tratadas. Este volumen representa alrededor del 5% del total de aguas residuales, lo cual implica un volumen mínimo de aguas tratadas disponibles.

VI.1 PROYECCIÓN DE LA OFERTA Y DEMANDA

VI.1.1 Escenario inercial

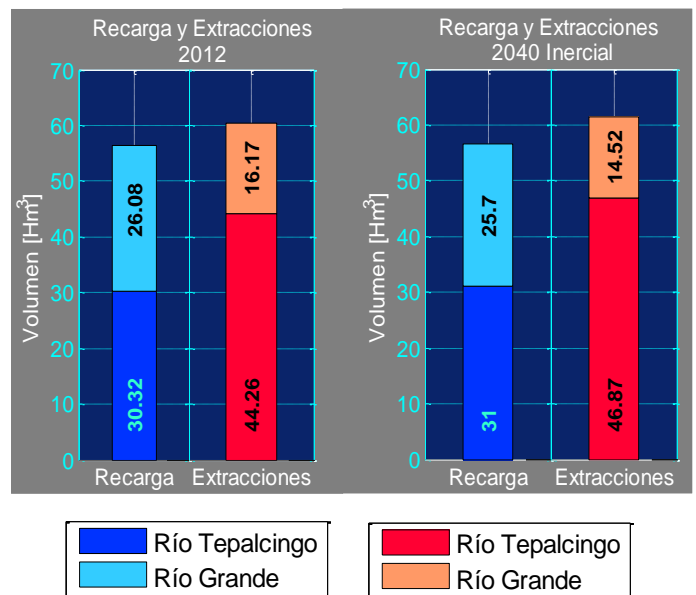
En el escenario inercial se toma en cuenta la tendencia que se ha observado desde hace varias décadas. No se considera algún proyecto para mejorar la infraestructura de la red de agua potable ni disminuir las pérdidas en la distribución, ni tecnificación en los procesos agrícolas como riego y conducción del agua.

Proyección agua subterránea

Para el año 2040, la recarga inducida aumenta por incremento en retornos urbanos causado por una mayor demanda del agua potable y mismas pérdidas en la red ascendiendo a 3.69 hm³ hacia el final del periodo proyectado. En el sector agrícola el retorno por riego se mantiene en 11.02 hm³, al no variar el padrón de cultivos ni tecnificar los procesos agrícolas, por lo que el volumen inducido sería de

14.71 hm³ en 2040. Debido a esto, el volumen renovable de aguas subterráneas ascendería de 56.41 a 56.71 hm³. El volumen actual concesionado de aguas subterráneas es de 37.32 hm³, mientras que la demanda aumentaría de 60.43 a 61.40 hm³ al año 2040. Para el año 2012 la demanda se encuentra 4.02 hm³ por encima del volumen renovable del acuífero y 23.11 hm³ por encima del volumen concesionado; al año 2040 la demanda se encontraría 4.69 hm³ sobre de volumen renovable y sería 24.08 hm³ mayor que el volumen concesionado.

Figura 12 Oferta de aguas subterráneas escenario inercial

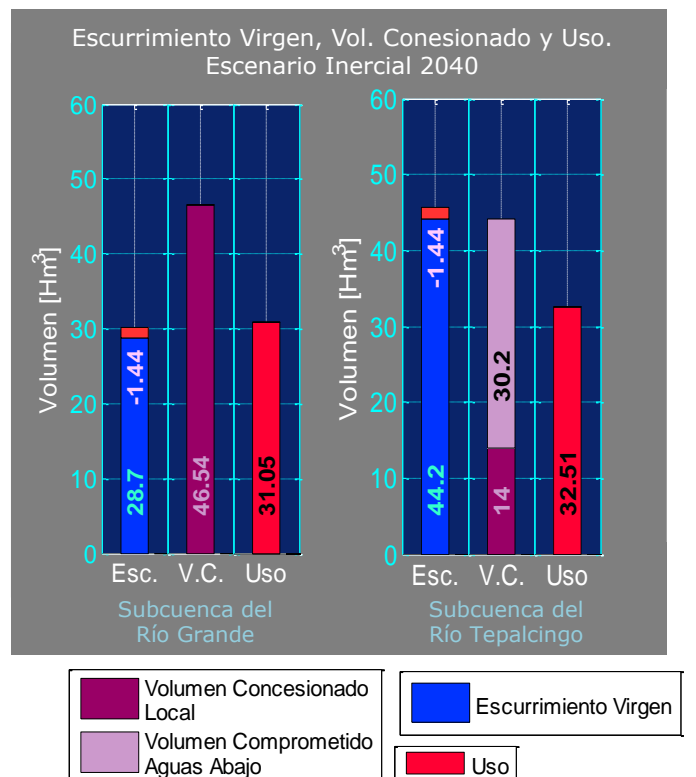


Proyección agua superficial

El escurrimiento virgen es de 75.76 hm³, la evaporación en vasos de -2.87 hm³ y los retornos agrícolas de aguas subterráneas a corrientes ascienden a 2.48 hm³. Estas variables se mantienen constantes al año 2040, por lo que la oferta total de aguas superficiales se mantiene invariable, 75.37 hm³.

La demanda de aguas superficiales se incrementa de 63.3 hm³ a 63.57 hm³ al 2040, mientras el volumen concesionado se mantiene constante (54 hm³/año). Importante es, que el volumen total de agua superficial no representa un volumen aprovechable debido a que la cuenca se encuentra publicada sin disponibilidad.

Figura 13 Oferta de aguas superficiales escenario inercial



Proyección aguas residuales y tratadas

Actualmente, son tratadas el 5.4% de las aguas residuales que se producen, ascendiendo a un volumen de 0.72 hm³ /año de aguas residuales tratadas producidas de un total de 12.29 hm³. Para el año 2040 el volumen de aguas residuales sin tratar sería de 16.85 hm³, mientras que las aguas tratadas tienen un volumen de 0.48 hm³.

Oferta total de agua aprovechable

Considerando la potencial oferta de fuentes aprovechables, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas residuales sin tratar y aguas residuales tratadas, la oferta total de agua aprovechable aumenta hacia el final de periodo de planeación.

Para el 2040 existe una oferta de 149.41 hm³, mientras que para el año 2012 fue de 144.79 hm³. El incremento se debe principalmente al aumento de la recarga inducida por los retornos de agua potable.

Asimismo, en el año 2040 existe un mayor volumen de agua residual recolectada, el cual aumenta de 12.29 a 16.85 hm³.

El total de demanda de aguas subterráneas y superficiales es de 123.76 hm³ en el 2012, mientras que para 2040 se calculó que ascenderá a 124.97 hm³, es decir, 33.65 hm³ más que el volumen concesionado total (91.32 hm³).

Figura 14 Oferta total de agua en el acuífero, escenario inercial

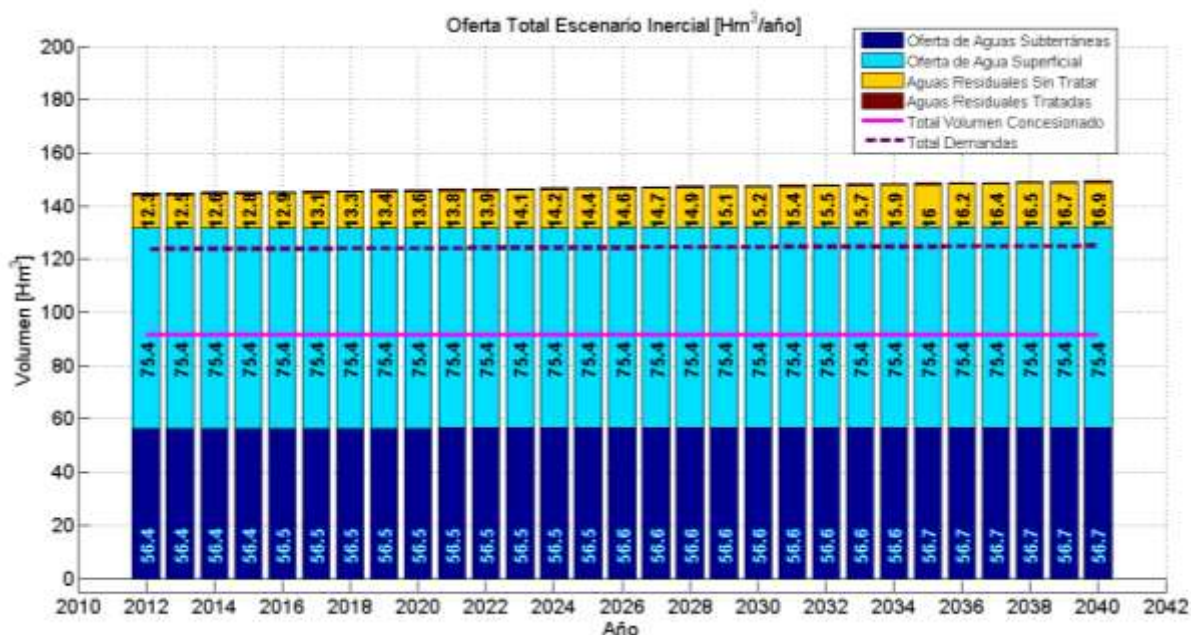


Tabla 16 Proyección de la oferta total de agua aprovechable, escenario inercial

Periodo de planeación	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Oferta total (Hm³)	144.79	145.28	146.11	146.93	147.76	148.58	149.41
Oferta total de agua superficial (Hm ³)	75.37	75.37	75.37	75.37	75.37	75.37	75.37
Oferta de Aguas Subterráneas (Hm ³)	56.41	56.44	56.49	56.55	56.60	56.65	56.71
Agua residual tratada producida (Hm ³)	0.72	0.69	0.65	0.61	0.57	0.52	0.48
Agua residual sin tratar (Hm ³) (urbana)	12.29	12.78	13.59	14.41	15.22	16.04	16.85
Total demandas (Hm ³)	123.76	123.89	124.10	124.32	124.53	124.75	124.97
Total volumen concesionado (Hm ³)	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32

VI.1.2 Escenario Máxima Tecnificación

En el escenario de máxima tecnificación se simuló la implementación de medidas para tecnificar los métodos agrícolas y aumentar la eficiencia global en riego, reducir la superficie agrícola de riego y reducir las pérdidas físicas de agua potable en la red de distribución.

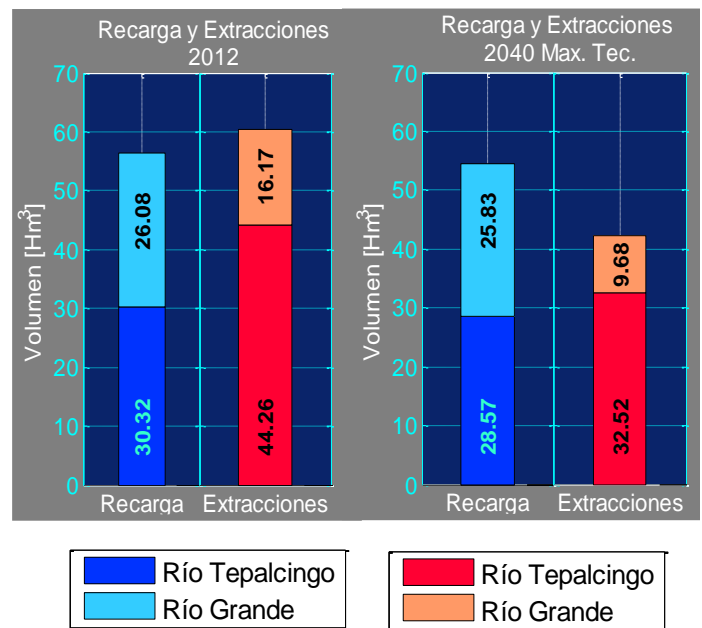
Proyección agua subterránea

Se calculó un descenso de fugas en la red de distribución de agua potable de 44% a 20% hacia el año 2040, lo cual origina una disminución en el volumen de retornos al acuífero. En el periodo 2012-2040 se reduce la superficie agrícola de riego en un 9% (700 Ha) y aumenta la eficiencia global de riego de 54% a 77% con un aumento en la eficiencia de aplicación de 60% a 85%. Esto origina un descenso de 35% en las extracciones agrícolas.

El volumen de recarga natural permanece constante (42 hm³). La recarga inducida disminuye de 14.41 hm³ a 12.40 hm³. El volumen aprovechable de agua

subterránea se reduce, pasando de 56.41 hm³ a 54.5 hm³. La demanda de agua subterránea presenta un descenso considerable, al 2012 se tiene una demanda de 60.43, para 2040 se proyectó un volumen de 42.41 hm³.

Figura 15 Oferta de aguas subterráneas, escenario de máxima tecnificación



Proyección aguas superficial

El escurrimiento virgen total y la evaporación en vasos permanecen constantes, 75.76 hm³ y -2.87 hm³, respectivamente. El volumen de retornos agrícolas de agua subterránea a corrientes disminuye de 2.48 hm³ a 1.61 hm³ debido a la tecnificación implementada, reducción de superficie de riego y aumento de la eficiencia global de riego, pues un descenso en el volumen de aguas subterráneas utilizado en riego se traduce en un descenso de los retornos agrícolas de aguas subterráneas a corrientes.

Se observa una disminución del volumen total de aguas superficiales para el periodo de 2012 a 2040. En 2012 se cuenta con un volumen de 75.37 hm³, al 204 se calcula en 74.50 hm³.

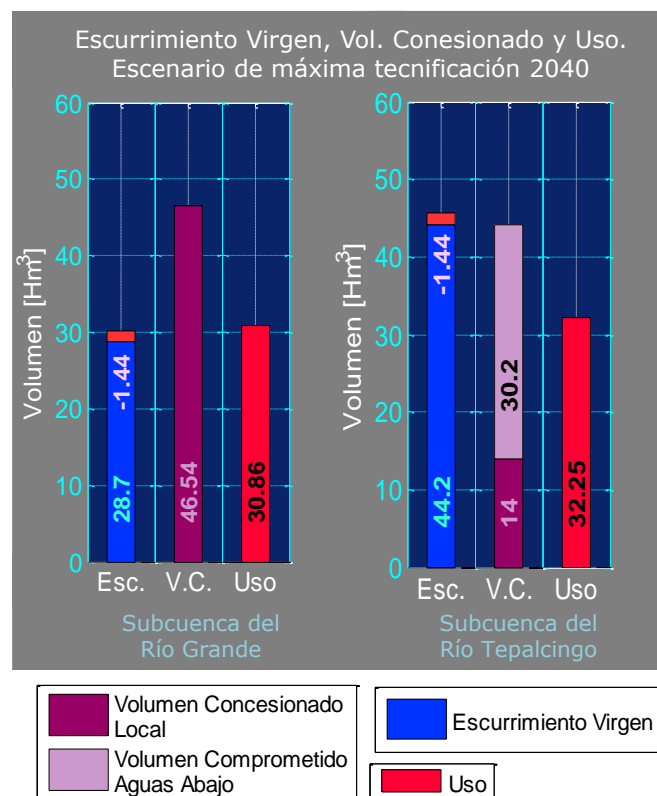
Por otro lado, la demanda permanece con un descenso poco significativo de 0.22 hm³. Es necesario recordar que no existe disponibilidad de agua superficial publicada para la cuenca hidrológica que nos ocupa.

Proyección aguas residuales y tratadas

Se plantea un aumento del 5.4% al 75% en el saneamiento de aguas residuales en el periodo 2012-204. Al año 2040 se calcula un volumen de agua residual sin tratar de 9.65 hm³, mientras que para el 2012 es de 12.29 hm³. Para el año 2040 el volumen de aguas residuales tratadas disponibles es de

7.92 hm³, cuando a principios del periodo este volumen era de 0.72 hm³.

Figura 16 Oferta de aguas superficiales, escenario de máxima tecnificación



Oferta total de agua aprovechable

El volumen total de agua aumenta hacia el final de periodo de planeación. En el año 2012 existe una oferta total de agua aprovechable de 144.79 hm³, para el año 2040 es de 146.47 hm³. Este aumento se presenta por incremento del volumen de aguas residuales tratadas y sin tratar, aun cuando el volumen total de aguas subterráneas y superficiales disminuye por las máxima tecnificación implementada.

El total de demandas se reduce de 123.76 hm³ a 105.32 hm³ en 2040 debido a las medidas de tecnificación principalmente en el sector agrícola. A pesar del descenso de las demandas, para

el año 2040, el volumen total utilizado es 14 hm³ mayor al volumen total concesionado, el cual es considerablemente menor a los 32.4 hm³ observados en 2012.

Figura 17 Proyección de la oferta de agua aprovechable en el acuífero, escenario de máxima tecnificación

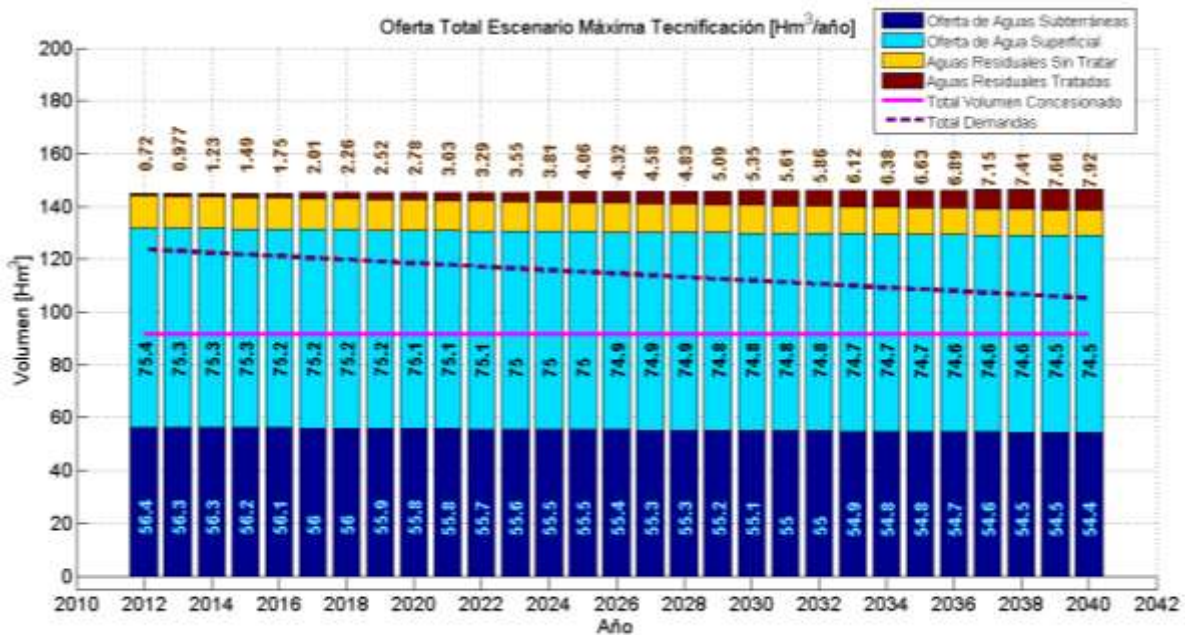


Tabla 17 Proyección de la oferta de agua, escenario máxima tecnificación

Periodo de planeación	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Oferta total (Hm³)	144.79	144.97	145.27	145.57	145.87	146.17	146.47
Oferta total de agua superficial (Hm³)	75.37	75.28	75.12	74.97	74.81	74.66	74.50
Oferta de Aguas Subterráneas (Hm³)	56.41	56.19	55.83	55.48	55.12	54.76	54.40
Agua residual tratada producida (Hm³)	0.72	1.49	2.78	4.06	5.35	6.63	7.92
Agua residual sin tratar (Hm³) (urbana)	12.29	12.01	11.54	11.06	10.59	10.12	9.65
Total demandas (Hm³)	123.76	121.78	118.49	115.20	111.91	108.61	105.32
Total volumen concesionado (Hm³)	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32	91.32

Escenarios futuros bajo diferentes escenarios de manejo

A través de modelación matemática se simuló el comportamiento del acuífero bajo diferentes escenarios de manejo. Estos escenarios fueron: Inercial, Máxima Tecnificación, Plan de Manejo, Condiciones Iniciales, REPDA, Equilibrio, Equilibrio Inmediato y Status Quo. Cada uno de ellos implica una serie de supuestos que se presentan a continuación

Escenario Inercial

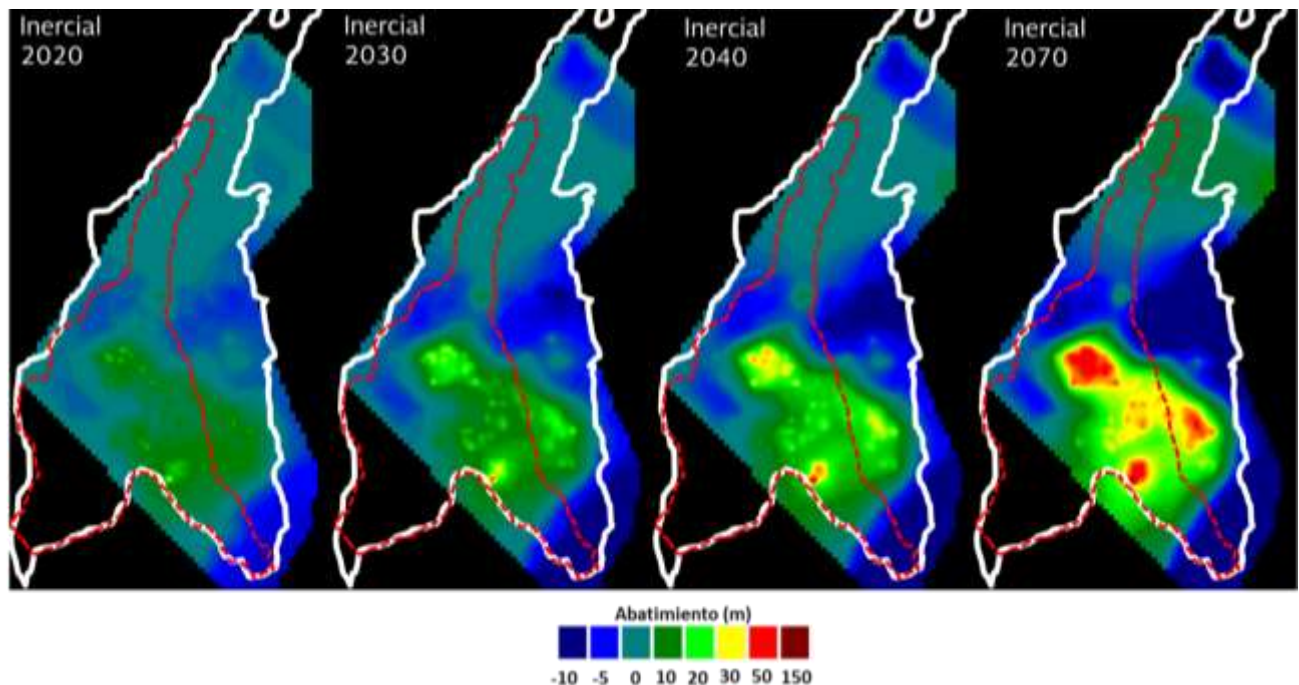
El volumen de extracción asciende de 60.43 a 61.4 hm³ en el periodo 2012-2040. Los abatimientos se incrementan considerablemente hacia el año 2040 y se pronuncian aún más hacia el 2070, especialmente en la zona central y centro-sur del acuífero, llegando a observarse en algunas zonas hasta 50 m de abatimiento.

Esto se traduce en una clara sobreexplotación del acuífero, donde el nivel freático descenderá cada vez más causando serias dificultades para el futuro abastecimiento de agua potable y para el sector agrícola. Las zonas de mayor abatimiento se encuentran relacionadas con las zonas de riego. Un gran abatimiento (alrededor de 100 m) se presenta en la región centro-oeste del acuífero ya en el año 2020, lo cual es el resultado de una gran concentración de pozos de extracción en una zona muy reducida.

Escenario de Máxima Tecnificación

Se asume una disminución del volumen de extracción de 60.43 a 41.21 hm³ hacia el año 2040. Esta disminución ocurre gradualmente, al implementarse acciones de tecnificación paulatinamente

Figura 18 Simulación del abatimiento en el escenario inercial



controla las pérdidas de agua potable en la red de distribución extrayendo un menor volumen de agua y realizar un abastecimiento más efectivo. En los primeros años de simulación el abatimiento alcanza como máximo los 25 m, y para el año 2040, a pesar de que la zona de abatimiento se expande, las profundidades de éste no se incrementan más allá de los 30 m. Existen también pequeñas zonas de recuperación donde el nivel estático ha aumentado. En este escenario, la sobreexplotación es menor, lo que permite una estabilización hidrológica del acuífero.

Escenario de Plan de Manejo

Se proyecta una reducción de las extracciones de 60.42 a 45.25 hm³ enfocada especialmente al control de

pozos agrícolas con mayores volúmenes de agua concesionada. Bajo este control, los abatimientos del nivel freático no son tan significativos como en el escenario inercial. En el año 2040 los abatimientos alcanzan un máximo de 30 m en la zona centro del acuífero pero se observan asimismo varias zonas de recuperación, en éstas, el nivel estático ha aumentado por lo menos 10 m, por lo que el acuífero se recupera y la extensión de la zona vulnerable se reduce.

A pesar existir conos de abatimiento, la evolución del acuífero es mucho más favorable que en el escenario inercial, por lo que para el año 2070, las zonas de recuperación han aumentado su tamaño y la sobreexplotación se ha reducido.

Figura 19 Simulación del abatimiento en el escenario de máxima tecnificación

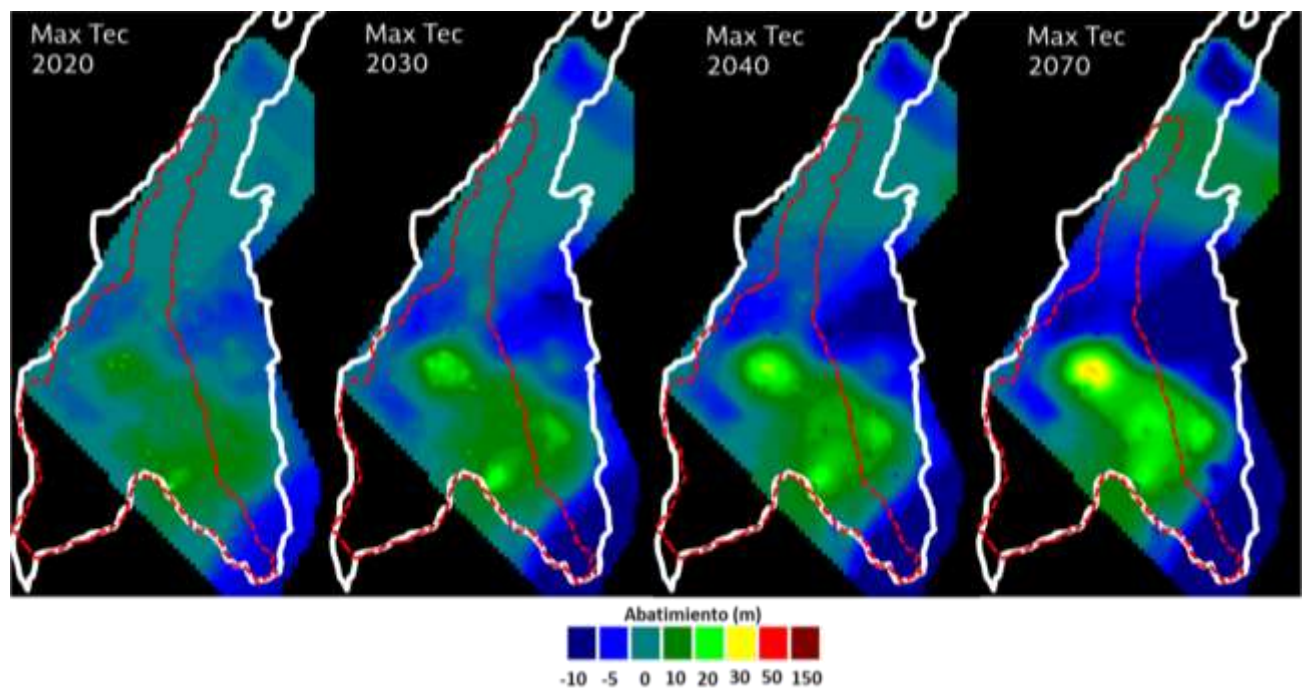
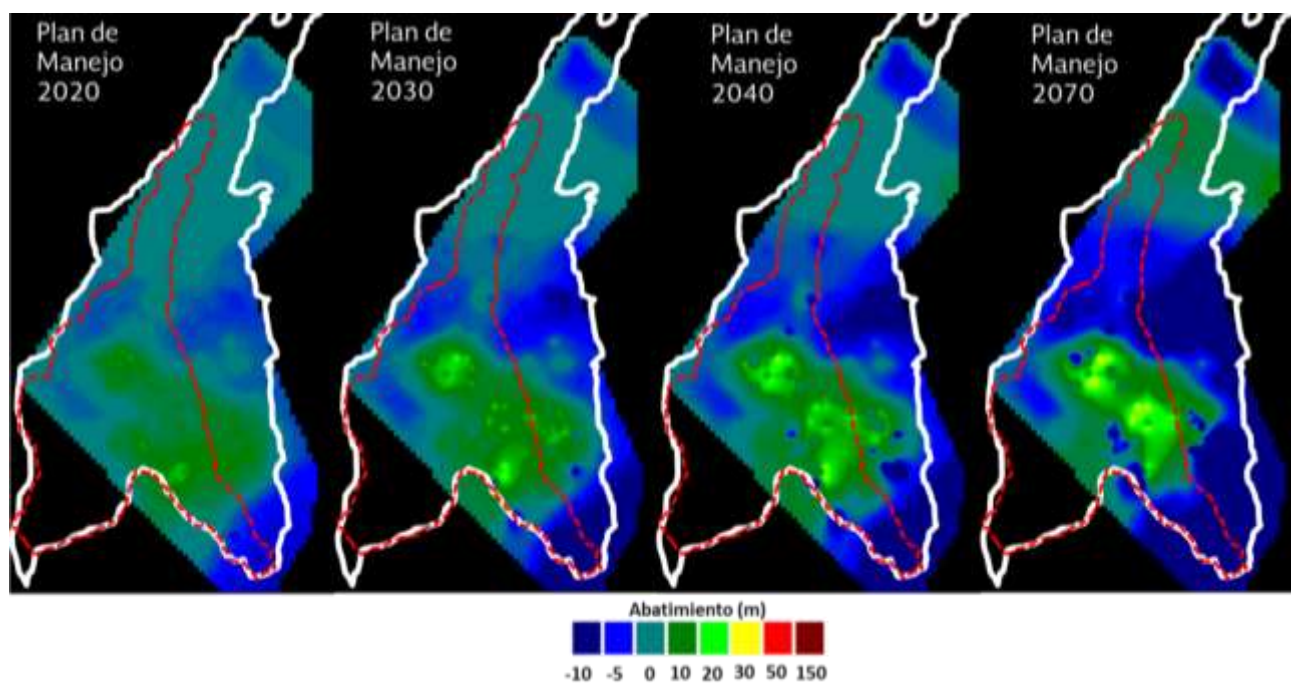


Figura 20 Simulación del abatimiento en el escenario de plan de manejo



Escenario de Condiciones Iniciales

Suponiendo el cese total del funcionamiento de todos los pozos y que consecuentemente las extracciones anuales se redujeran a cero inmediatamente se observa que el nivel estático a partir de los primeros años de simulación comienza a elevarse y para el año 2040 casi toda la región central del acuífero presenta recuperaciones de 10 m o más. En el año 2070 todas las zonas donde previamente se habían observado conos de abatimiento (escenario inercial) se encuentran totalmente recuperadas.

Escenario REPGA

Se considera un descenso del volumen extraído de 60.43 a 37.32 hm³, el cual es el volumen total concesionado de agua subterránea.

Se considera una reducción gradual pero difícil de lograr porque en la realidad las demandas son superiores al volumen concesionado. Para el año 2040 el abatimiento se encuentra bastante uniforme en casi toda la zona centro-sur del acuífero con valores de entre 10 y 20 m y algunas zonas de recuperación que tienden a localizarse preferencialmente en la zona sur.

Escenario de Equilibrio

Simulando una reducción gradual de las extracciones hacia el año 2040 de 60.43 a 29.81 hm³, se observa que en las regiones centro-oeste y centro-sur del acuífero existen abatimientos de alrededor de 30 m; asimismo existen zonas de recuperación de más de 10 m hacia el sur y sur-este del modelo.

Figura 21 Simulación del abatimiento en el escenario de condiciones iniciales

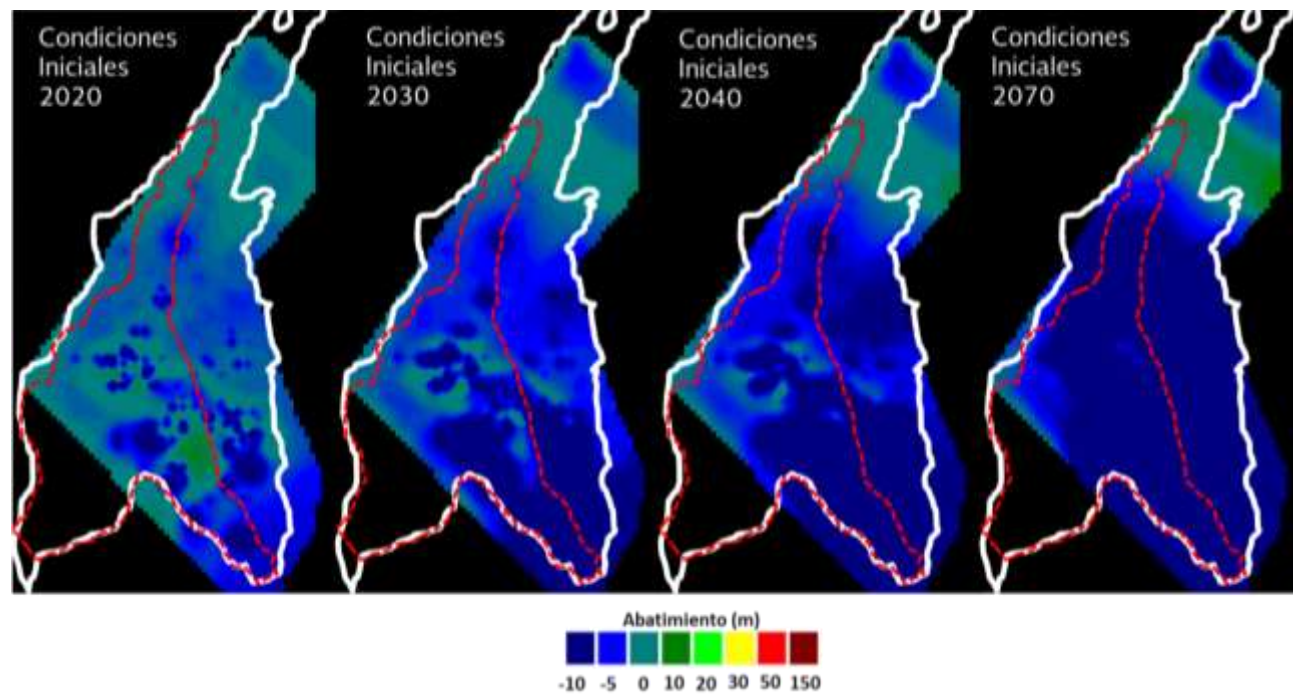


Figura 22 Simulación del abatimiento en el escenario REPDA

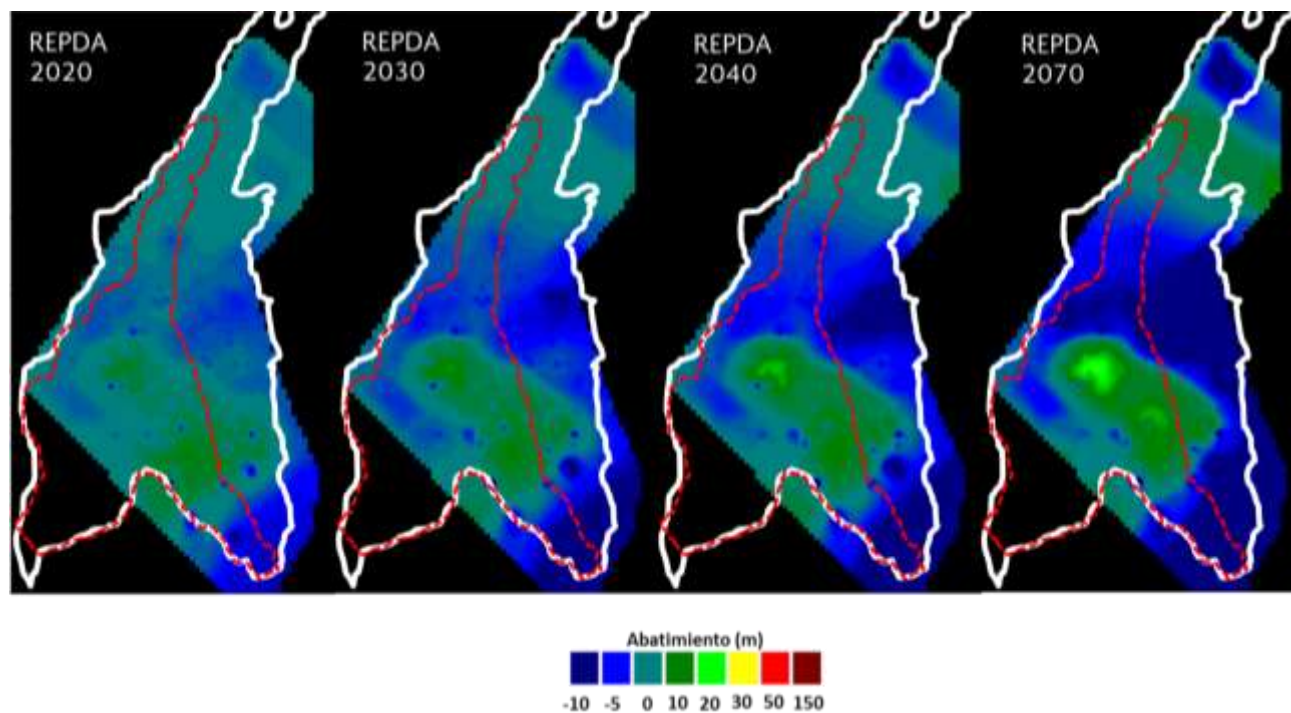
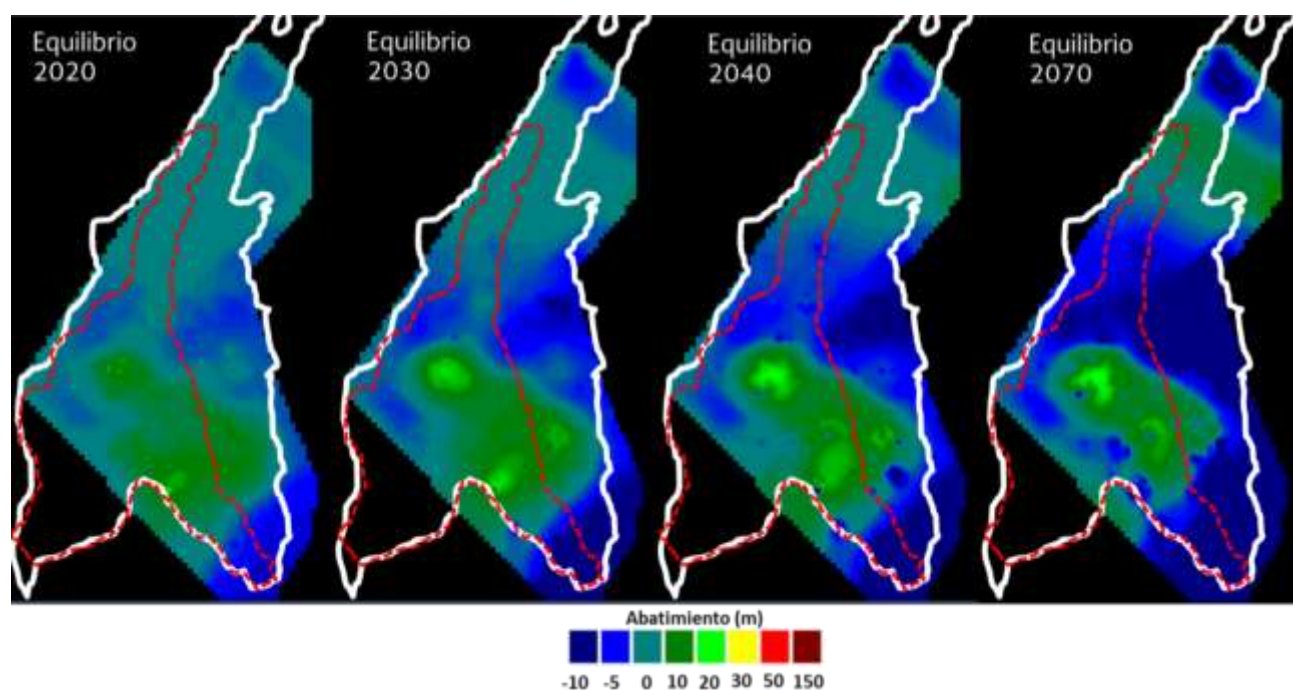


Figura 23 Simulación del abatimiento en el escenario de equilibrio



Escenario de Equilibrio Inmediato

Para el año 2020 aparecen zonas de recuperación, las cuales se expanden conforme al paso del tiempo. Para el año 2070 las zonas con abatimiento mayor a 20 m son aisladas en el centro del acuífero, mientras que en las regiones aledañas se observa una recuperación considerable. En comparación con el escenario de equilibrio gradual se aprecia una recuperación más rápida y con una mayor extensión.

Status Quo

En el escenario *status quo* los resultados de los abatimientos son casi idénticos a los del escenario inercial, puesto que las

En este escenario las extracciones serían únicamente 0.97 hm³ menores que en el escenario inercial en el año 2040.

Evolución de la Profundidad del Nivel Estático

Considerando la evolución de la profundidad del nivel estático en el periodo 2012-2070, el escenario inercial se aprecia una clara tendencia a descender, especialmente en el sur del acuífero, la cual es especialmente vulnerable a la sobreexplotación debido a que ahí se encuentran las principales zonas de riego, y por ende, los pozos agrícolas con mayores extracciones.

Figura 24 Simulación del abatimiento en el escenario de equilibrio inmediato

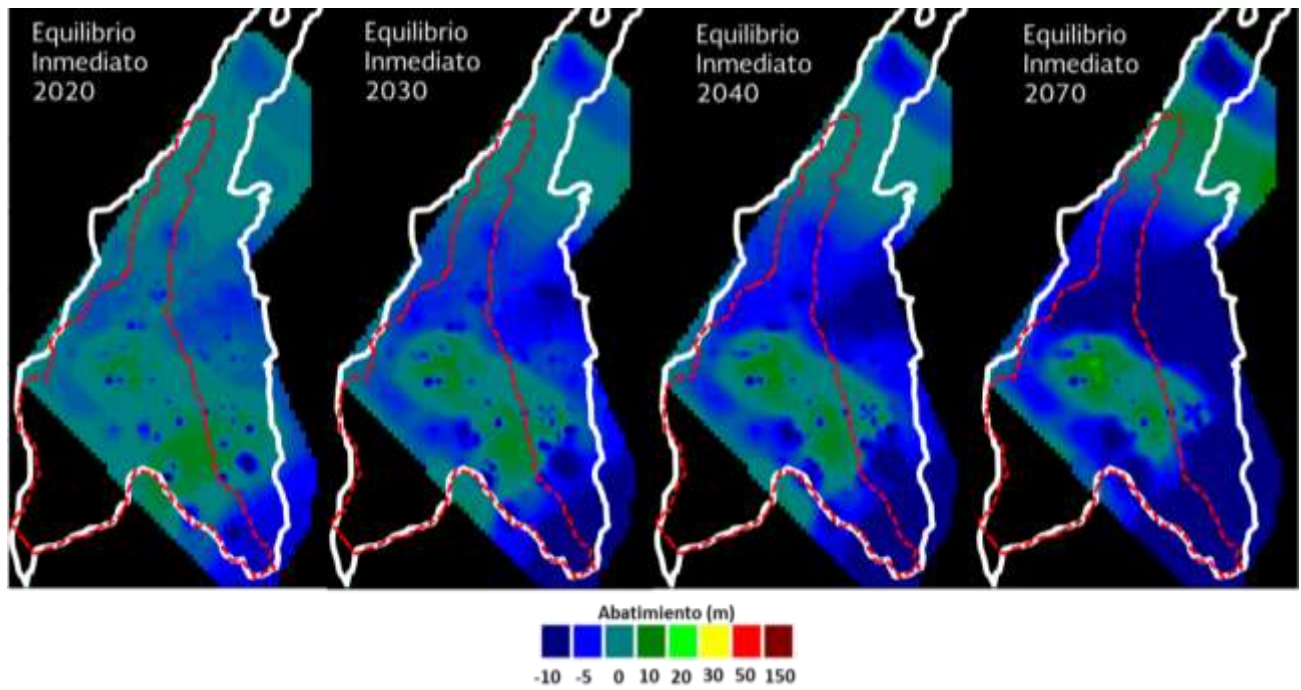
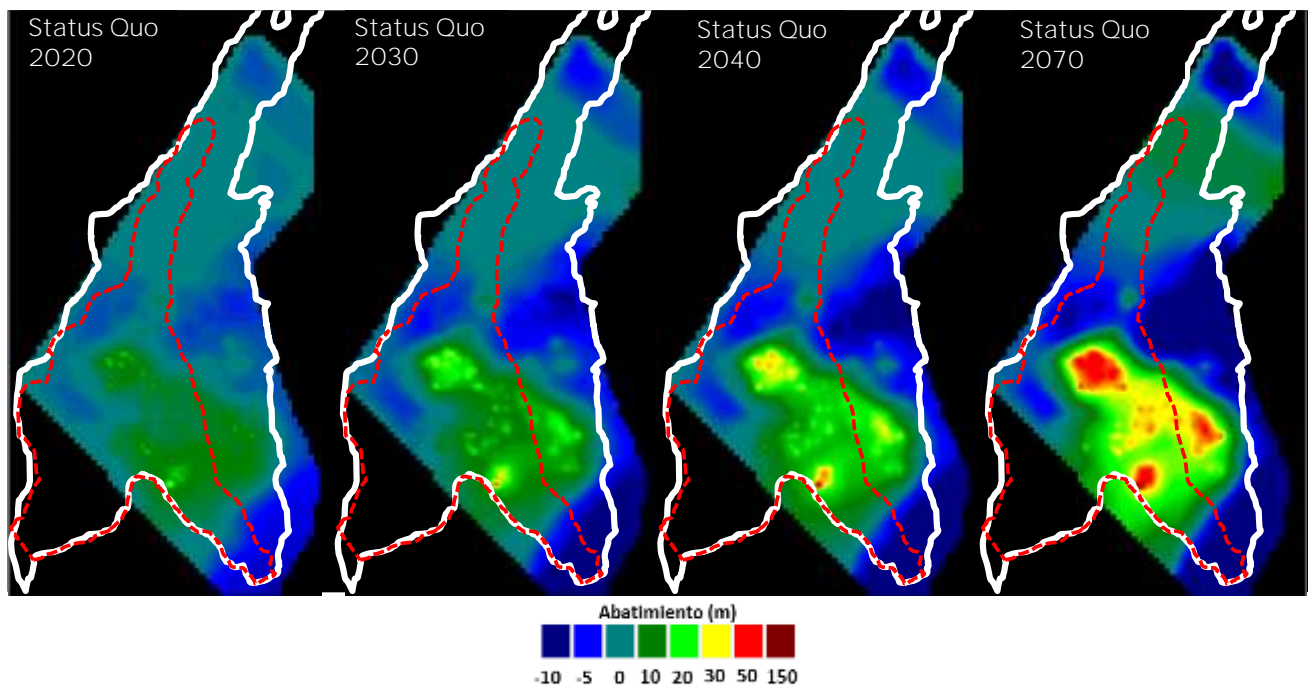


Figura 25 Simulación del abatimiento en el escenario Status Quo



En el escenario de máxima tecnificación las profundidades continúan incrementándose, sin embargo, éstas llegan a estabilizarse y mantenerse más o menos constantes. Hacia el final del periodo de planeación la profundidad del nivel presenta una tendencia ascendente. Para el escenario de plan de manejo se aprecia una tendencia similar a la de máxima tecnificación, pero las cargas hidráulicas se incrementan en mayor medida, permitiendo una recuperación del acuífero más significativa

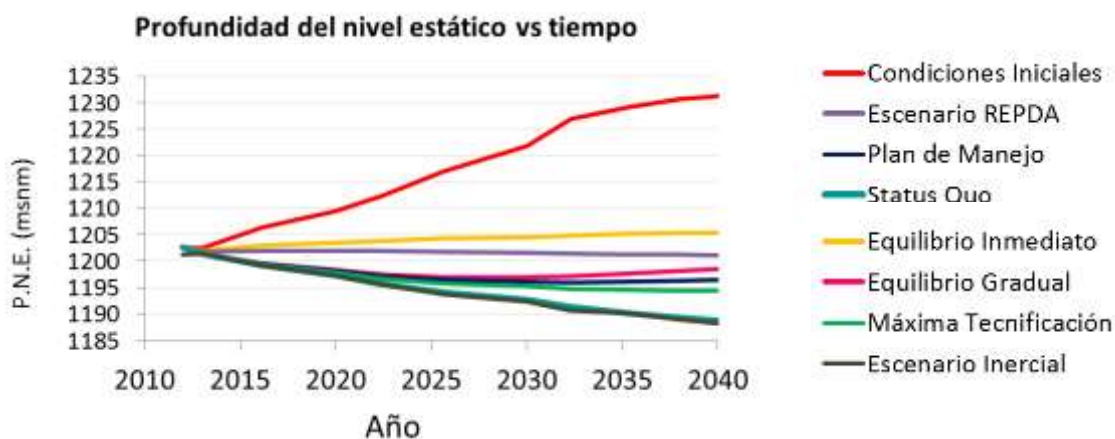
Considerando todos los escenarios en el periodo 2012-2040 se evidencia que en los escenarios status quo e inercial se presentan los mayores descensos del nivel estático, los cuales presentarían un abatimiento promedio de 13 m. Estos resultados indican que la sobreexplotación del acuífero se agudizaría en un futuro y que es necesario tomar medidas inmediatas para estabilizarlo.

Por otro lado, los escenarios de máxima tecnificación, plan de manejo y de equilibrio gradual presentan tendencias mucho más favorecedoras, pues a pesar de observarse en un principio un descenso en el nivel estático, éste se estabiliza y recupera hacia finales del periodo de estudio.

En el escenario de máxima tecnificación se calcula un abatimiento de 8 m en promedio para el año 2040, mientras que en el de plan de manejo tan sólo de 6 m, el cual es menos de la mitad del abatimiento que se esperara con el escenario inercial.

En los escenarios teóricos (REPDA, equilibrio inmediato y de condiciones iniciales) se observa una elevación del nivel estático desde el comienzo del periodo de simulación, el cual es evidente debido a la importante reducción de las extracciones.

Figura 26 Evolución de la profundidad del nivel estático con el tiempo



VII. DESCRIPCIÓN DEL PLAN

VII.1 DESCRIPCIÓN DE OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Objetivo 1: Coordinación institucional fortalecida

Línea Estratégica 1.1 Existencia del diálogo interinstitucional

Línea de Acción 1.1.1 Impulso a la transversalidad institucional

Acción 1.1.1.1 Convenio multisectorial para difusión de planes de trabajo institucionales

Acción 1.1.1.2 Promoción y difusión de programas institucionales

Acción 1.1.1.3 Convenio de coordinación multisectorial para la implementación y seguimiento del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Línea Estratégica 1.2 Participación política y social en la solución de problemas del agua

Línea de Acción 1.2.1 Crear compromisos institucionales y con la sociedad

Acción 1.2.1.1 Gestión de recursos financieros para efecto de la implementación del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan.

Línea Estratégica 1.3 Cumplimiento y compromiso institucional

Línea de Acción 1.3.1 Mejorar la cultura de servicio

Acción 1.3.1.1 Simplificación de trámites y servicios institucionales

Objetivo 2: Observancia del marco jurídico

Línea Estratégica 2.1 Conocimiento de leyes y reglamentos

Línea de acción 2.1.1 Orientación y difusión del marco normativo

Acción 2.1.1.1 Programa de orientación y asistencia en materia de cumplimiento administrativo y normativo

Acción 2.1.1.2 Programa de difusión del Reglamento del acuífero y seguimiento

Línea Estratégica 2.2 Actualización y regulación de normatividad en el uso del agua

Línea de Acción 2.2.1 Análisis del marco jurídico y normativo

Acción 2.2.1.1 Esquema de trabajo para la elaboración de propuestas de adecuación al marco jurídico y normativo en materia de agua

Línea Estratégica 2.3 Suficiente protección y vigilancia

Línea de Acción 2.3.1 Aplicación del marco normativo

Acción 2.3.1.1 Programa de inspección y vigilancia en materia hídrica

Acción 2.3.1.2 Mecanismos de aplicación de ordenamientos ecológicos y territoriales

Objetivo 3 Aumento de la cultura del agua

Línea Estratégica 3.1 Conocimiento de la problemática del agua

Línea de Acción 3.1.1 Disposición de espacios físicos y equipamiento para la difusión de información

Acción 3.1.1.1 Operación permanente de espacios municipales para la cultura del agua

Línea de Acción 3.1.2 Difusión de la cultura del agua

Acción 3.1.2.1 Preparación de material didáctico para fomento de la cultura del agua

Acción 3.1.2.2 Campañas de la cultura del agua

Acción 3.1.2.3 Difusión de cultura del agua en medios de comunicación

Línea de Acción 3.1.3 Difusión del Plan de Manejo

Acción 3.1.3.1 Difusión de Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Objetivo 4 Infraestructura adecuada

Línea Estratégica 4.1 Actualización de la infraestructura hidráulica

Línea de Acción 4.1.1 Diagnóstico de la infraestructura existente

Acción 4.1.1.1 Análisis estructural y funcional de infraestructura hidráulica en el sector agrícola y público-urbano

Línea de Acción 4.1.2 Actualización de infraestructura hidráulica

Acción 4.1.2.1 Programa de rehabilitación, modernización y mantenimiento de infraestructura hidráulica

Línea Estratégica 4.2 Se cuenta con obras para recarga del acuífero

Línea de Acción 4.2.1 Estudios y proyectos

Acción 4.2.1.1 Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de sistemas de recarga inducida en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Acción 4.2.1.2 Proyecto ejecutivo para la construcción de obras de recarga inducida en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Acción 4.2.1.3 Construcción, operación y mantenimiento de obras de recarga inducida en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Línea Estratégica 4.3 Acceso a nuevas tecnologías para uso agrícola

Línea de Acción 4.3.1 Transferencia de tecnología

Acción 4.3.1.1 Programa de transferencia de tecnologías en el sector agrícola y público-urbano

Objetivo 5 Disminución de la contaminación

Línea Estratégica 5.1 Programa de buenas prácticas de manejo en la agricultura

Línea de Acción 5.1.1 Disminución de agroquímicos

Acción 5.1.1.1 Fomento y difusión de agroquímicos de origen orgánico

Línea de Acción 5.1.2 Capacitación a productores

Acción 5.1.2.1 Programa periódico de capacitación a productores agrícolas

Línea Estratégica 5.2 Programa de control de descargas de aguas residuales

Línea de Acción 5.2.1 Creación de nueva infraestructura de saneamiento

Acción 5.2.1.1 Proyectos ejecutivos para construcción de nueva infraestructura de saneamiento

Línea de Acción 5.2.2 Impulso a tecnologías alternas de saneamiento

Acción 5.2.2.1 Identificación y diseño de alternativas de saneamiento para localidades rurales

Línea Estratégica 5.3 Implementación de un plan de manejo de desechos sólidos

Línea de Acción 5.3.1 Manejo integral de residuos

Acción 5.3.1.1 Implementación de plan de manejo intermunicipal de residuos sólidos

Línea Estratégica 5.4 Establecimiento de un programa de monitoreo permanente

Línea de Acción 5.4.1 Diagnóstico de la calidad del agua

Acción 5.4.1.1 Muestreo y análisis sistemático de la calidad de agua superficial y subterránea

Objetivo 6 Estabilización del acuífero

Línea Estratégica 6.1 Conocimiento de la disponibilidad del agua

Línea de Acción 6.1.1 Disponibilidad de agua subterránea

Acción 6.1.1.1 Actualización geohidrológica del acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Línea de Acción 6.1.2 Disponibilidad de agua superficial

Acción 6.1.2.1 Actualización de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Nexapa

Línea Estratégica 6.2 Actualización y confiabilidad del padrón de usuarios

Línea de Acción 6.2.1 Actualización del padrón de usuarios

Acción 6.2.1.1 Censo de aprovechamientos de agua superficial, subterránea y descargas

Línea Estratégica 6.3 Mejorar la eficiencia en el uso del agua

Línea de Acción 6.3.1 Mejorar la eficiencia en el sector agrícola

Acción 6.3.1.1 Tecnificación de riego

Acción 6.3.1.2 Elaboración de planes directores de unidades de riego

Acción 6.3.1.3 Reconversión de cultivos y prácticas alternativas en la actividad agrícola

Acción 6.3.1.4 Fomento de la agricultura protegida

Línea de Acción 6.3.2 Instrumentación hidráulica

Acción 6.3.2.1 Programa de cuantificación volumétrica en aprovechamientos subterráneos

Línea Estratégica 6.4 Alternativas de uso de agua

Línea de Acción 6.4.1 Intercambio de fuentes de abastecimiento

Acción 6.4.1.1 Reemplazo de fuentes subterráneas de abastecimiento de agua potable por fuentes superficiales

Objetivo 7 Comité regulador de instituciones y usuarios del agua

Línea Estratégica 7.1 Organización eficiente

Línea de Acción 7.1.1 Comité Técnico de Aguas Subterráneas

Acción 7.1.1.1 Conformación legal, administrativa y física del COTAS

Línea de Acción 7.1.2 Programa de trabajo del COTAS

Acción 7.1.2.1 Definir programa de trabajo anual del COTAS

Línea de Acción 7.1.3 Fortalecimiento de las capacidades de gestión del COTAS

Acción 7.1.3.1 Capacitación a Gerencia Operativa y vocales usuarios

Línea Estratégica 7.2 Reglamento de aguas subterráneas

Línea de Acción 7.2.1 Reglamento del acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Acción 7.2.1.1 Elaboración del Reglamento del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Línea de Acción 7.2.2 Implementación de Reglamento del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Acción 7.2.2.1 Definir mecanismos de implementación y seguimiento

Línea Estratégica 7.3 Estudios y proyectos

Línea de Acción 7.3.1 Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

Acción 7.3.3.1 Implementación, seguimiento y actualización del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan

VII.2 COSTOS Y FINANCIAMIENTO

Tabla 18 Financiamiento por objetivo, periodo 2140-2040 (miles de \$)

Objetivo	Inversión (miles \$)
Objetivo 1. Coordinación interinstitucional fortalecida	\$ 7,625.00
Objetivo 2. Observancia del marco jurídico	\$ 15,525.00
Objetivo 3. Aumento de la cultura del agua	\$ 21,558.00
Objetivo 4. Infraestructura adecuada	\$ 405,950.00
Objetivo 5 Disminución de la contaminación	\$ 46,450.00
Objetivo 6. Estabilización del acuífero	\$ 312,768.00
Objetivo 7. Comité regulador de instituciones y usuarios del agua	\$ 22,700.00
Total	\$ 832,576.00

Tabla 19 Inversión por objetivo y acción, periodo 2014-2040 (miles de \$)

Objetivo / Acción	Importe (miles \$)
Objetivo 1. Coordinación interinstitucional fortalecida	\$ 7,625.00
<i>Convenio multisectorial para difusión de planes de trabajo institucionales</i>	\$ 800.00
<i>Promoción y difusión de programas institucionales</i>	\$ 4,050.00
<i>Convenio de coordinación multisectorial para la implementación y seguimiento del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$ 250.00
<i>Gestión de recursos financieros para efecto de la implementación del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$ 2,025.00
<i>Simplificación de trámites y servicios institucionales</i>	\$ 500.00
Objetivo 2. Observancia del marco jurídico	\$ 15,525.00
<i>Programa de orientación y asistencia en materia de cumplimiento administrativo y normativo</i>	\$ 4,050.00
<i>Programa de difusión del Reglamento del acuífero y seguimiento</i>	\$ 405.00
<i>Esquema de trabajo para la elaboración de propuestas de adecuación al marco jurídico y normativo en materia de agua</i>	\$ 270.00
<i>Programa de inspección y vigilancia en materia hídrica</i>	\$ 6,750.00
<i>Mecanismos de aplicación de ordenamientos ecológicos y territoriales</i>	\$ 4,050.00
Objetivo 3. Aumento de la cultura del agua	\$ 21,558.00
<i>Operación permanente de espacios municipales para la cultura del agua</i>	\$ 4,548.00
<i>Preparación de material didáctico para fomento de la cultura del agua</i>	\$ 405.00
<i>Campañas de cultura del agua</i>	\$ 13,500.00
<i>Difusión de cultura del agua en medios de comunicación</i>	\$ 2,700.00
<i>Difusión del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$ 405.00
Objetivo 4. Infraestructura adecuada	\$ 405,950.00
<i>Análisis estructural y funcional de infraestructura hidráulica en el sector agrícola y público-urbano</i>	\$ 6,000.00

<i>Programa de rehabilitación, modernización y mantenimiento de infraestructura hidráulica</i>	\$	306,510.00
<i>Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de sistemas de recarga inducida de agua tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	2,000.00
<i>Proyecto ejecutivo para la construcción de obras de recarga inducida de agua tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	3,000.00
<i>Construcción, operación y mantenimiento de obras de recarga inducida de agua tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	15,000.00
<i>Programa de transferencia de tecnología para uso eficiente del agua en el sector agrícola y público-urbano</i>	\$	73,440.00
Objetivo 5. Disminución de la contaminación	\$	46,450.00
<i>Fomento y difusión de agroquímicos de origen orgánico</i>	\$	300.00
<i>Programa periódico de capacitación a productores agrícolas</i>	\$	11,400.00
<i>Proyectos ejecutivos para construcción de nueva infraestructura de saneamiento</i>	\$	9,500.00
<i>Identificación y diseño de alternativas de saneamiento para localidades rurales</i>	\$	16,500.00
<i>Implementación del plan de manejo intermunicipal de residuos sólidos</i>	\$	6,500.00
<i>Muestreo y análisis sistemático de la calidad de agua superficial y subterránea</i>	\$	2,250.00
Objetivo 6. Estabilización del acuífero	\$	312,768.00
<i>Actualización geohidrológica del acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	4,250.00
<i>Actualización de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Nexapa</i>	\$	5,296.00
<i>Censo de aprovechamientos de agua superficial, subterránea y descargas</i>	\$	4,522.00
<i>Tecnificación de riego</i>	\$	192,000.00
<i>Elaboración de planes directores de unidades de riego</i>	\$	4,000.00
<i>Reconversión de cultivos y prácticas alternativas en la actividad agrícola</i>	\$	27,000.00
<i>Fomento de la agricultura protegida</i>	\$	21,000.00
<i>Programa de cuantificación volumétrica en aprovechamientos subterráneos</i>	\$	34,700.00
<i>Reemplazo de fuentes subterráneas de abastecimiento por fuentes superficiales</i>	\$	20,000.00
Objetivo 7. Comité regulador de instituciones y usuarios del agua	\$	22,700.00
<i>Conformación legal, administrativa y física del COTAS</i>	\$	6,750.00
<i>Definir programa de trabajo anual del COTAS</i>	\$	1,300.00
<i>Capacitación a Gerencia Operativa y vocales usuarios</i>	\$	1,300.00
<i>Elaboración del Reglamento del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	9,000.00
<i>Definir mecanismos de implementación y seguimiento</i>	\$	1,350.00
<i>Implementación, seguimiento y actualización del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan</i>	\$	3,000.00
Total	\$	832,576.00

Plan de Manejo Integral del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos

Tabla 20 Financiamiento por periodo (miles de \$)

Objetivo	2014-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040
Objetivo 1. Coordinación interinstitucional fortalecida	\$ 675.00	\$ 1,425.00	\$ 1,425.00	\$ 1,425.00	\$ 1,250.00	\$ 1,425.00
Objetivo 2. Observancia del marco jurídico	\$ 1,150.00	\$ 2,875.00	\$ 2,875.00	\$ 2,875.00	\$ 2,875.00	\$ 2,875.00
Objetivo 3. Aumento de la cultura del agua	\$ 1,608.00	\$ 3,990.00	\$ 3,990.00	\$ 3,990.00	\$ 3,990.00	\$ 3,990.00
Objetivo 4. Infraestructura adecuada	\$ 26,874.00	\$ 126,770.00	\$ 121,770.00	\$ 101,336.00	\$ 14,600.00	\$ 14,600.00
Objetivo 5. Disminución de la contaminación	\$ 1,690.00	\$ 20,030.00	\$ 6,530.00	\$ 5,390.00	\$ 6,280.00	\$ 6,530.00
Objetivo 6. Estabilización del acuífero	\$ 35,820.00	\$ 107,100.00	\$ 24,424.00	\$ 60,500.00	\$ 24,624.00	\$ 60,300.00
Objetivo 7. Comité regulador de instituciones y usuarios del agua	\$ 2,200.00	\$ 3,500.00	\$ 5,000.00	\$ 3,500.00	\$ 5,000.00	\$ 3,500.00
Total	\$ 70,017.00	\$ 265,690.00	\$ 166,014.00	\$ 179,016.00	\$ 58,619.00	\$ 93,220.00

Tabla 21 Financiamiento por nivel de gobierno; periodo 2014-2040 (miles de \$)

Objetivo	Federal	Estatal	Municipal	Usuario
Objetivo 1. Coordinación interinstitucional fortalecida	\$ 4,443.75	\$ 1,906.25	\$ 1,275.00	\$
Objetivo 2. Observancia del marco jurídico	\$ 13,027.50	\$ 1,012.50	\$ 1,012.50	\$ 472.50
Objetivo 3. Aumento de la cultura del agua	\$ 9,429.00	\$ 12,129.00	\$	\$
Objetivo 4. Infraestructura adecuada	\$ 192,975.00	\$ 194,615.00	\$ 18,360.00	\$
Objetivo 5. Disminución de la contaminación	\$ 22,900.00	\$ 21,925.00	\$ 1,625.00	\$
Objetivo 6. Estabilización del acuífero	\$ 224,418.00	\$ 88,350.00	\$	\$
Objetivo 7. Comité regulador de instituciones y usuarios del agua	\$ 14,915.00	\$ 5,915.00	\$ 935.00	\$ 935.00
Total	\$ 482,108.25	\$ 325,852.75	\$ 23,207.50	\$ 1,407.50

VII.3 BENEFICIOS E IMPACTOS

De seguir en aumento la demanda de agua subterránea y presentarse una reducción de la recarga natural; la sobreexplotación en el período 2014-2040 alcanzará en promedio una magnitud de 18.5 millones de metros cúbicos anuales, con costos de sobreexplotación de un orden de \$0.72/m³ sobreexplotado, de manera que el costo total de la sobreexplotación ascendería a una cantidad de 705.21 MDP. A través de la inversión de 832 MDP (costo del Plan de Manejo), el acuífero se verá en equilibrio y la calidad de sus aguas será aceptable, para asegurar el beneficio común de los habitantes de la zona y de sus alrededores.

Al comparar el Escenario Inercial vs Alternativa de Manejo, (2014 – 2040) los costos por sobreexplotación son favorables para el escenario de Alternativa de Manejo, mismo que acumula un menor costo que el Inercial, por 127 MDP, que para el año 2066 se incrementa hasta 1,538 MDP (Tabla 22). En el mediano y largo plazo, el escenario de Alternativa de Manejo resulta más competitiva, ya que en ese tiempo cuenta acuífero equilibrado que evita todo costo de sobreexplotación.

Existen dos factores de gran relevancia en la Alternativa de Manejo: el incremento de la productividad del agua como consecuencia de la tecnificación hidroagrícola y el beneficio del saneamiento de las descargas de aguas negras a cauces y a otros sitios potencialmente peligrosos, mismos que representan un beneficio de 342 MDP en el período 2014-2040.

La relación costo–beneficio de un Escenario Inercial para el período 2014-2040, sería de 342.28 MDP, que se duplicaría en una proyección hasta el año 2066.

Tabla 22 Comparativo entre escenario inercial y sustentable en dos periodos de proyección a los años 2040 y2066

RESUMEN	PROYECCIÓN 2014-2040		PROYECCIÓN 2014-2066	
	INERCIAL	SUSTENTABLE	INERCIAL 2066	SUSTENTABLE
VARIACIÓN ACUMULADA DE VALOR PARCELAS MDP	\$ 131.75	\$ 103.64	\$ 395.24	\$ 103.64
IMPACTO ACUMULADO DE NORIAS AFECTADAS MDP	\$ 25.76	\$ 20.28	\$ 77.28	\$ 20.28
MANANTIALES	\$ 95.53	\$ 87.71	\$ 286.60	\$ 87.71
GASTO BASE	\$ 53.57	\$ 49.18	\$ 160.71	\$ 49.18
ACUÍFEROS CONTIGUOS	\$ 73.66	\$ 67.62	\$ 220.97	\$ 67.62
COSTO ACUM. DE LA ENERGÍA ADICIONAL UTILIZADA POR LA SOBREEXPLORACIÓN	\$ 300.81	\$ 249.08	\$ 902.44	\$ 249.08
COSTO DE LA SOBREEXPLORACIÓN HISTÓRICA PARA UN FUTURO EN EQUILIBRIO	\$ 24.13	\$ -	\$ 72.38	\$ -
COSTO TOTAL DE LA SOBREEXPLORACIÓN HISTÓRICA	\$ 705.21	\$ 577.52	\$ 2,115.62	\$ 577.52
INERCIAL VS ALTERNATIVA DE MANEJO		\$ 127.69		\$ 1,538.10
COSTO DE LA SOBREEXPLORACIÓN POR METRO CÚBICO SOBREEXPLORADO	\$ 0.72	\$ 0.75		

Plan de Manejo Integral del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos

BENEFICIO ACUMULADO DE LA SOBREEXPLORACIÓN	\$ 1,163.24	\$ 567.39	\$ 2,326.47	\$ 567.39																																			
INERCIAL VS ALTERNATIVA DE MANEJO		-\$ 595.84		-\$ 1,759.08																																			
BENEFICIO NETO DE SITUACIÓN HISTÓRICA CON SOBREEXPLORACIÓN	\$ 458.03	-\$ 10.12	\$ 210.86	-\$ 10.12																																			
BENEFICIO NETO DE ALTERNATIVA DE MANEJO VS INERCIAL		-\$ 468.15		-\$ 220.98																																			
USO AGRÍCOLA DEL AGUA EN ESCENARIO SUSTENTABLE (HM3 ACUM)		717.1585739																																					
INCREMENTO EN PRODUCTIVIDAD DEL AGUA	30%	\$ 0.48																																					
BENEFICIO DE USO EFICIENTE DEL AGUA CON PAQUETES TECNOLÓGICOS		\$ 342.28		\$ 684.56																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ACUÍFERO</td> <td style="text-align: right;">2012</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M3 AGUAS NEGRAS</td> <td style="text-align: right; color: blue;">12.3</td> <td style="text-align: right; color: blue;">VOLUMEN</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% DE FILTRACIÓN</td> <td style="text-align: right;">5.56%</td> <td style="text-align: right; color: blue;">0.684</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M3 DE AGUA SUBT CONTAM POR CADA M3 DESCARGADO INERCIAL</td> <td style="text-align: right;">10</td> <td style="text-align: right; color: blue;">6.839</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>COSTO DE RECUPERACIÓN DE CALIDAD (\$/M3)</td> <td style="text-align: right;">\$ 2.00</td> <td style="text-align: right; color: blue;">\$ 13.68</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>AÑOS</td> <td style="text-align: right;">26</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow;">PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: green;">\$ 355.62</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: green;">\$ 711.24</td> </tr> </table>					PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ACUÍFERO	2012				M3 AGUAS NEGRAS	12.3	VOLUMEN			% DE FILTRACIÓN	5.56%	0.684			M3 DE AGUA SUBT CONTAM POR CADA M3 DESCARGADO INERCIAL	10	6.839			COSTO DE RECUPERACIÓN DE CALIDAD (\$/M3)	\$ 2.00	\$ 13.68			AÑOS	26				PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA		\$ 355.62		\$ 711.24
PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL ACUÍFERO	2012																																						
M3 AGUAS NEGRAS	12.3	VOLUMEN																																					
% DE FILTRACIÓN	5.56%	0.684																																					
M3 DE AGUA SUBT CONTAM POR CADA M3 DESCARGADO INERCIAL	10	6.839																																					
COSTO DE RECUPERACIÓN DE CALIDAD (\$/M3)	\$ 2.00	\$ 13.68																																					
AÑOS	26																																						
PROTECCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÁNEA		\$ 355.62		\$ 711.24																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>BENEFICIO TOTAL DE ALTERNATIVA DE MANEJO CON RESPECTO A INERCIAL</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: green;">\$ 229.74</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>COSTO DE LAS ACCIONES DEL PLAN DE MANEJO</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: red;">\$ 832.00</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>BENEFICIO NETO TOTAL</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: green;">-\$ 602.26</td> <td></td> <td style="text-align: right; color: green;">\$ 342.82</td> </tr> </table>					BENEFICIO TOTAL DE ALTERNATIVA DE MANEJO CON RESPECTO A INERCIAL		\$ 229.74			COSTO DE LAS ACCIONES DEL PLAN DE MANEJO		\$ 832.00			BENEFICIO NETO TOTAL		-\$ 602.26		\$ 342.82																				
BENEFICIO TOTAL DE ALTERNATIVA DE MANEJO CON RESPECTO A INERCIAL		\$ 229.74																																					
COSTO DE LAS ACCIONES DEL PLAN DE MANEJO		\$ 832.00																																					
BENEFICIO NETO TOTAL		-\$ 602.26		\$ 342.82																																			

VII.4 MONITOREO Y SEGUIMIENTO

Acción	Indicador	Estado Actual
Objetivo 1. Coordinación interinstitucional fortalecida		
1.1.1.1 Convenio multisectorial para difusión de planes de trabajo institucionales	Gestión de firma de convenios: $I_1 = \text{Número de convenios firmados} / \text{número total de reuniones ejecutivas para la firma}$; Instituciones participantes: $I_2 = \text{Número de instituciones firmantes} / \text{Número total de instituciones involucradas}$; Convenios firmados: $I_3 = \text{Número de convenios firmados}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
1.1.1.2 Promoción y difusión de programas institucionales	Número de talleres realizados: $I_1 = \text{Eventos realizados} / \text{Eventos recomendados (4)}$; Instituciones involucradas: $I_2 = \text{Número de instituciones firmantes} / \text{Total de instituciones involucradas}$; Cantidad de usuarios informados: $I_3 = \text{Número de usuarios que conocen los programas} / \text{número total de usuarios que tomaron los talleres}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$

Acción	Indicador	Estado Actual
1.1.1.3 Convenio de coordinación multisectorial para la implementación y seguimiento del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Reuniones para gestión de convenio: $I_1 = \text{Número de reuniones para gestión de convenio} / \text{Número máximo de reuniones para gestión de convenio (3)}$; Cumplimiento de acciones: $I_2 = \text{Número de acciones cumplidas al año} / \text{Número de acciones cumplidas al año establecidas en la Matriz de Planeación}$; Convenio firmado y vigente: $I_3 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
1.2.1.1 Gestión de recursos financieros para efecto de la implementación del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Recursos asignados al COTAS: $I_1 = \text{Inversión asignada para la operación del COTAS} / \text{Inversión requerida para la operación del COTAS}$; Recursos ejercidos al Plan de Manejo $I_2 = \text{Inversión ejercida para la implementación del Plan de Manejo} / \text{Inversión programada para la implementación del Plan de Manejo}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
1.3.1.1 Simplificación de trámites y servicios institucionales	Reducción de tiempo para gestión de trámites y servicios: $I_1 = [(\text{Tiempo de atención actual} - \text{Nuevo tiempo de atención}) / (\text{Tiempo de atención actual} / 2)]$; Reducción de tiempo para respuesta a trámites y servicios: $I_2 = ((\text{Tiempo de respuesta} - \text{Nuevo tiempo de respuesta}) / (\text{Tiempo de respuesta actual} / 2))$; Cumplimiento de derechos y obligaciones: $I_3 = \text{Número de trámites correctamente gestionados por usuarios}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
Objetivo 2. Observancia del marco jurídico		
2.1.1.1 Programa de orientación y asistencia en materia de cumplimiento administrativo y normativo	Sanciones revertidas: $I_1 = [\text{Número de sanciones sin sustento legal revertidas a la autoridad} / \text{número total de sanciones impuestas por la autoridad}] - 1$; Disminución de sanciones administrativas y económicas: $I_2 = [\text{Número de sanciones impuestas por omisión y/o negligencia} / \text{Número de sanciones año inmediato anterior}] - 1$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
2.1.1.2 Programa de difusión del Reglamento del acuífero y seguimiento	Número de eventos realizados: $I_1 = \text{Eventos realizados} / (\text{Eventos recomendados (2)})$; Número de asistentes: $I_2 = (\text{Número de asistentes} / \text{Total de usuarios})$; Conocimiento del Reglamento: $I_3 = \text{Asistentes que aprueban el taller de difusión} / \text{Total de usuarios}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
2.2.1.1 Esquema de trabajo para la elaboración de propuestas de adecuación al marco jurídico y normativo en	Reuniones realizadas al año: $I_1 = \text{Reuniones realizadas} / \text{Reuniones recomendadas (2)}$; Número de asistentes: $I_2 = \text{Número de asistentes} / \text{Total de usuarios}$; Propuestas	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$

Plan de Manejo Integral del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos

Acción	Indicador	Estado Actual
materia de agua	generadas: $I_3 = \text{Propuestas generadas} / \text{Propuestas recomendadas (2)}$; Propuestas concretadas: $I_4 = \text{Número de propuestas concretadas} / \text{Número de propuestas generadas (2)}$	$I_3 = 0$ $I_4 = 0$
2.3.1.1 Programa de inspección y vigilancia en materia hídrica	Número de visitas de inspección a usuarios al año: $I_1 = \text{Número de visitas} / \text{Visitas actuales} * 2$; Disminución de aprovechamientos sin concesión y/o asignación: $I_2 = [\text{Número de aprovechamientos sin concesión} / \text{Número de aprovechamientos sin concesión identificados en censo de aprovechamientos inmediato anterior}] - 1$; Disminución de volumen sin concesión y/o asignación: $I_3 = [\text{Volumen sin concesión} / \text{Volumen sin concesión estimado en censo de aprovechamientos inmediato anterior}] - 1$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
2.3.1.2 Mecanismos de aplicación de ordenamientos ecológicos y territoriales que inciden directamente en el acuífero	Cumplimiento de políticas y lineamientos: $I_1 = \text{Indicador general de cumplimiento establecido en el instrumento de planeación}$	$I_1 = x$
Objetivo 3. Aumento de la cultura del agua		
3.1.1.1 Operación permanente de espacios municipales para la cultura del agua	Visitas al año: $I_1 = \text{Números de asistentes} / \text{Número de eventos}$; Satisfacción de visitante: $I_2 = \text{Número de asistentes satisfechos} / \text{número total de asistentes}$; ECA en funcionamiento: $I_3 = \text{Número de ECA} / \text{Número de municipios (7)}$	$I_1 = x$ $I_2 = x$ $I_3 = x$
3.1.2.1 Preparación de material didáctico para fomento de la cultura del agua	Ahorro de recursos para generación de material: $I_1 = [\text{Recursos ejercidos para generación de material} / \text{Recursos asignados para preparación de material}] - 1$; Cantidad de material de difusión impreso: $I_2 = \text{Número de publicaciones generadas al año} / \text{Número recomendado de documentos de divulgación generados al año (4)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = x$
3.1.2.2 Campañas de cultura del agua y educación ambiental	Inversión por campaña: $I_1 = \text{Número de campañas} / \text{Costo de inversión}$; Asistencia a eventos: $I_2 = \text{Número de asistentes} / \text{Número de asistentes estimados previamente}$; Eventos realizados: $I_3 = \text{Número de eventos anuales} / \text{número de municipios (7)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = x$ $I_3 = x$
3.1.2.3 Difusión de cultura del agua en medios de	Número de minutos y/o tamaño de publicación: $I_1 = \text{Minutos semanales} / \text{Minutos}$	$I_1 = 0$

Acción	Indicador	Estado Actual
comunicación	<i>recomendados a la semana (60 min); Costo de publicación: $I_2 = [\text{Costo de publicación anual} / \text{Inversión estimada}] - 1$; Auditorio estimado: $I_2 = \text{Auditorio estimado} / \text{Auditorio potencial}$</i>	$I_2 = x$ $I_3 = x$
3.1.3.1 Difusión del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Eventos realizados: $I_1 = \text{Número de eventos anuales} / \text{Eventos mínimos recomendados (1)}$; Número de asistentes: $I_2 = \text{Número de asistentes} / \text{Total de usuarios}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
Objetivo 4. Infraestructura adecuada		
4.1.1.1 Análisis estructural y funcional de infraestructura hidráulica en el sector agrícola y público-urbano	Numero de pozos visitados: $I_1 = \text{Número de pozos visitados} / 355$; Estudios realizados: $I_2 = \text{Estudio efectuado} / \text{Estudio recomendado cada 5 años (1)}$; Pruebas de bombeo: $I_3 = \text{Numero pruebas de bombeo realizadas} / \text{Número total de pozos registrados}$; Eficiencia electromecánica: $I_4 = \text{Número de pozos con mejora electromecánica} / \text{número total de pozos}$; Eficiencia (Cuenca Tepalcingo): $I_5 = \text{Pozos de la cuenca Tepalcingo con mejora electromecánica} / \text{Número de pozos dentro de la cuenca Tepalcingo}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$ $I_5 = 0$
4.1.2.1 Programa de rehabilitación, modernización y mantenimiento de infraestructura hidráulica	Ahorro de agua: $I_1 = \text{Volumen de agua consumida 2013} - \text{Volumen de agua consumida 2015}$; Ahorro de agua (Agricultura): $I_2 = \text{Volumen de agua subterránea de uso agrícola actual} / \text{volumen de agua de uso agrícola 2015}$; Eficacia conducción: $I_3 = \% \text{eficacia conducción} / 90\%$; Eficacia captación: $I_4 = \% \text{eficacia captación} / 95\%$; Eficacia electromecánica: $I_5 = \% \text{eficacia electromecánica} / 80\%$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$ $I_5 = 0$
4.2.1.1 Estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental de sistemas de recarga inducida de agua tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Relación recarga-costos: $I_1 = \text{Volumen factible para recarga} / \text{Costo del estudio (m}^3/\$)$; Estudio realizado: $I_2 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
4.2.1.2 Proyecto ejecutivo para la construcción de obras de recarga inducida de agua tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Relación recarga-costos: $I_1 = \text{Volumen factible para recarga} / \text{Costo de las acciones} + \text{costo del estudio prefactibilidad y ejecutivo (m}^3/\$)$; Estudio realizado: $I_2 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
4.2.1.3 Construcción, operación y mantenimiento de obras de recarga inducida de agua	Relación recarga-costos: $I_1 = \text{Volumen factible para recarga} / \text{Costo de las acciones} + \text{costo del estudio prefactibilidad y ejecutivo (m}^3/\$)$	$I_1 = 0$

Plan de Manejo Integral del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos

Acción	Indicador	Estado Actual
tratada en el acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Estudio realizado: $I_2 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_2 = 0$
4.3.1.1 Programa de transferencia de tecnología para uso eficiente del agua en el sector agrícola y público-urbano	Alternativas ecológicas: $I_1 = \text{Número de alternativas tecnológicas implementadas} / \text{Número mínimo de alternativas tecnológicas a implementar (2)}$; Hectáreas con transferencia tecnológica aplicada: $I_2 = \text{Hectáreas atendidas con Programa} / \text{Hectáreas estimadas con algún tipo de transferencia de tecnología}$; Usuarios con cambio con alternativa tecnológica: $I_3 = \text{Usuarios con cambio con alternativa tecnológica} / \text{Número total de usuarios}$; Talleres de conversión tecnológica: $I_4 = \text{Talleres de conversión tecnológica realizados} / \text{Número de talleres anuales recomendados (2)}$; Volumen de agua ahorrado: $I_5 = \text{hm}^3 / \text{número total de usuarios con cambio de tecnología}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$ $I_5 = 0$
Objetivo 5. Disminución de la contaminación		
5.1.1.1 Fomento y difusión de agroquímicos de origen orgánico	Programa realizado: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$; Talleres organizados: $I_1 = \text{Número de sesiones} / \text{Número de sesiones recomendadas (2)}$; Usuarios capacitados: $I_2 = \text{Número de usuarios capacitados} / \text{Total de usuarios agrícolas}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
5.1.2.1 Programa periódico de capacitación a productores agrícolas	Programa realizado: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$; Talleres organizados: $I_2 = \text{Número de sesiones} / \text{Número de sesiones recomendadas (2)}$; Usuarios capacitados: $I_3 = \text{Número de usuarios capacitados} / \text{Total de usuarios agrícolas}$; Hectáreas agrícolas con manejo tecnificado de suelo y agua: $I_4 = \text{Hectáreas con tecnificación de suelo y agua} / \text{Total de hectáreas de riego}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$
5.2.1.1 Proyectos ejecutivos para construcción de nueva infraestructura de saneamiento	Número de plantas construidas: $I_1 = \text{Plantas construidas} / 7$; Plantas en funcionamiento: $I_2 = \text{Número de plantas construidas} / \text{Número de plantas operando} * 100$; Remoción de materia orgánica: $I_3 = \text{\% de remoción de materia orgánica}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
5.2.2.1 Identificación y diseño de alternativas de saneamiento para localidades rurales	Número letrinas ecológicas instaladas: $I_1 = \text{Número letrinas ecológicas instaladas} / \text{Número recomendado de letrinas ecológicas instaladas}$; Número de familias beneficiadas: $I_2 = \text{Número de familias beneficiadas} / \text{Número potencial de familias beneficiadas}$; Beneficio	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$

Acción	Indicador	Estado Actual
	social : $I_3 = \text{Número de habitantes beneficiados} / \text{habitantes sin alcantarillado} * 100$	
5.3.1.1 Implementación del plan de manejo intermunicipal de residuos sólidos	Número de tiraderos a cielo abierto identificado: $I_1 = \text{Número de tiraderos identificado}$; Tiraderos con tecnología apropiada: $I_2 = \text{Número de tiraderos con medidas de control} / \# \text{ tiraderos}$; Volumen de residuos sólidos controlados: $I_3 = \text{Volumen de basura sin control} / \text{volumen de basura controlada} * 100$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
5.4.1.1 Muestreo y análisis sistemático de la calidad de agua superficial y subterránea	Número de estaciones instaladas: $I_1 = \text{Número de estaciones instaladas} / \text{Número recomendado de estaciones de monitoreo (10)}$; Número de análisis de agua reportados: $I_2 = \text{Número de análisis de agua reportados} / \text{Número de análisis de agua recomendados}$; Análisis anuales: $I_3 = \text{Número de análisis al año} / \text{Número recomendado de análisis por estación al año (2)}$; Sitios con parámetros fuera de la NOM: $I_4 = \text{No (1)}; \text{Si (0)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$
Objetivo 6. Estabilización del acuífero		
6.1.1.1 Actualización geohidrológica del acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Número de campañas piezométricas realizadas anualmente: $I_1 = \text{Número de campañas piezométricas realizadas anualmente} / \text{Número recomendado de campañas piezométricas anuales realizadas (2)}$; Número de transductores instalados: $I_2 = \text{Número de transductores instalados} / \text{Número recomendado de transductores instalados (7)}$; Número de SEV's realizados: $I_3 = \text{Número de SEV's realizados} / \text{Número recomendado de SEV's a realizar (6)}$; Número de pruebas de bombeo realizadas: $I_4 = \text{Número de pruebas de bombeo realizadas} / \text{Número recomendado de pruebas de bombeo realizadas (10)}$; Estudio geohidrológico realizado: $I_5 = \text{No (0)}; \text{Si (1)}$	$I_1 = 1$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$ $I_5 = 0$
6.1.2.1 Actualización de la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del río Nexapa	Estaciones hidrométricas instaladas: $I_2 = \text{Número de estaciones hidrométricas instaladas} / \text{Número recomendado de estaciones hidrométricas a instalar (3)}$; Estudio técnico realizado: $I_2 = \text{No (0)}; \text{Si (1)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
6.2.1.1 Censo de aprovechamientos de agua superficial, subterránea y	Número de aprovechamientos y descargas detectados: $I_2 = [1 / (\text{Aprovechamientos y descargas detectados} / \text{Aprovechamientos y$	$I_1 = 0$

Plan de Manejo Integral del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan, Estado de Morelos

Acción	Indicador	Estado Actual
descargas	<i>descargas registradas en el REPDA</i>]; Censo realizado: $I_2 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_2 = 0$
6.3.1.1 Tecnificación de riego	Hectáreas agrícolas tecnificadas: $I_1 = \text{Hectáreas tecnificadas} / \text{Total de hectáreas de riego con tecnificación necesarias en escenario de máxima tecnificación}$; Volumen de agua recuperado: $I_2 = (\text{Demanda de agua ahorrada con tecnificación} / \text{Volumen potencial de ahorro de agua con tecnificación en escenario de máxima tecnificación})$; Eficiencia Global: $I_3 = \text{Eficiencia global en sector agrícola} / \text{Eficiencia global estimada en escenario de máxima tecnificación}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
6.3.1.2 Elaboración de planes directores de unidades de riego	Número de UR con Plan Director: $I_1 = \text{UR con Plan Director} / \text{Total de UR}$; Hectáreas de riego con Plan Director: $I_2 = \text{Hectáreas con Plan Director} / \text{Total de hectáreas de riego}$; Volumen de agua demandado: $I_3 = \text{Demanda de agua en UR con Plan Director} / \text{Volumen estimado de demanda de agua en escenario de equilibrio}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$
6.3.1.3 Reconversión de cultivos y prácticas alternativas en la actividad agrícola	Hectáreas agrícolas con reconversión de cultivos: $I_1 = \text{Hectáreas con reconversión de cultivos} / \text{Hectáreas estimadas para reconversión de cultivos}$; Volumen de agua recuperada por reconversión de cultivos: $I_2 = \text{Demanda de agua en agricultura con reconversión de cultivos} / \text{Potencial calculado de agua ahorrada con reconversión de cultivos es escenario de equilibrio}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
6.3.1.4 Fomento de la agricultura protegida	Metros cuadrados de agricultura protegida: $I_1 = \text{Extensión de agricultura protegida} / (\text{Extensión actual} / 4)$; Ahorro de agua: $I_2 = \text{Ahorro de agua con agricultura protegida} / \text{Meta de ahorro de agua con agricultura protegida} (1 \text{ hm}^3)$	
6.3.2.1 Programa de cuantificación volumétrica en aprovechamientos subterráneos	Campaña de valoración de extracciones por aprovechamiento: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$; Porcentaje de aprovechamientos con instrumentación volumétrica: $I_2 = \text{Aprovechamientos con medidor volumétrico} / \text{Total de aprovechamientos registrados en el REPDA}$; Volumen de agua cuantificada: $I_3 = \text{Volumen de agua cuantificada} / \text{Total del volumen concesionado y/o asignado}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$

Acción	Indicador	Estado Actual
6.4.1.1 Reemplazo de fuentes subterráneas de abastecimiento de agua potable por fuentes superficiales	Estudio de factibilidad: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$; Proyecto ejecutivo: $I_2 = \text{No (0); Si (1)}$; Presas construidas: $I_3 = \text{No (0); Si (1)}$; Volumen de reemplazo: $I_4 = \text{Volumen reemplazado / Volumen recomendado (5 hm}^3\text{)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$ $I_4 = 0$
Objetivo 7. Comité regulador de instituciones y usuarios del agua		
7.1.1.1 Conformación legal, administrativa y física del COTAS	Constitución legal, física y administrativa del COTAS: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$
7.1.2.1 Definir programa de trabajo anual del COTAS	Programa de trabajo definido: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$
7.1.3.1 Capacitación a Gerencia Operativa y vocales usuarios	Número de eventos de capacitación asistidos: $I_1 = \text{Eventos de capacitación / Eventos recomendados al año (2)}$; Número de personas capacitadas: $I_2 = \text{Personas Capacitadas / Numero de integrantes de Gerencia Operativa}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
7.2.1.1 Elaboración del Reglamento del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Reglamento publicado: $I_1 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$
7.2.2.1 Definir mecanismos de implementación y seguimiento	Número de asistentes: $I_1 = \text{Número de asistentes / Total de usuarios}$; Número de eventos de información y seguimiento : $I_2 = \text{Número de eventos / Cantidad de eventos recomendados (2)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$
7.3.1.1 Implementación, seguimiento y actualización del Plan de Manejo del Acuífero Tepalcingo-Axochiapan	Número de eventos de información y seguimiento: $I_1 = \text{Número de eventos / Cantidad de eventos recomendados (2)}$; Número de asistentes: $I_2 = \text{Número de asistentes / Total de usuarios}$; Actualización de Plan de Manejo: $I_3 = \text{No (0); Si (1)}$	$I_1 = 0$ $I_2 = 0$ $I_3 = 0$