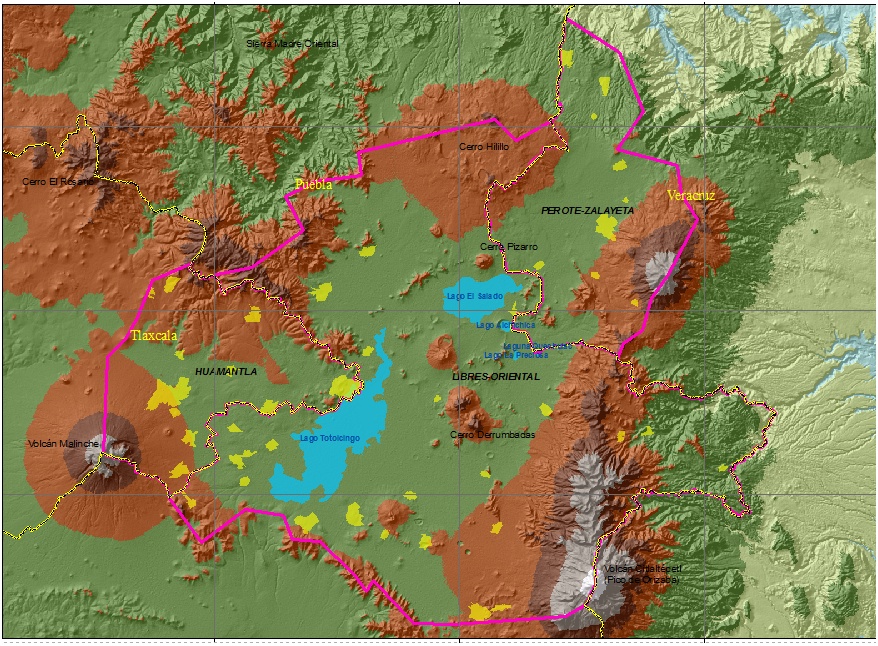
****

**MANEJO INTEGRADO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ACUÍFERO HUAMANTLA-LIBRES ORIENTAL-PEROTE, PUE Y VER.**

Resumen Ejecutivo

Contrato No. SGT-OCB-PUE-09-P-113-RF-I3

Contenido

[1. Generalidades 1](#_Toc283641762)

[1.1 Antecedentes 1](#_Toc283641763)

[1.2 Problemática 2](#_Toc283641764)

[1.3 Objetivos del Plan de Manejo 2](#_Toc283641765)

[2. Situación actual 3](#_Toc283641766)

[2.1. Población y desarrollo socioeconómico 3](#_Toc283641767)

[2.2. Climatología 4](#_Toc283641768)

[2.3. Aguas subterráneas 5](#_Toc283641769)

[3. Caracterización y proyección de la demanda 7](#_Toc283641770)

[4. Caracterización y proyección de la disponibilidad 8](#_Toc283641771)

[Proyección de la oferta de agua 8](#_Toc283641772)

[Escenario inercial. Oferta total de agua aprovechable 8](#_Toc283641773)

[Escenario de máxima tecnificación (sustentable). Oferta total de agua aprovechable 8](#_Toc283641774)

[5. Modelo de Simulación de Flujo 9](#_Toc283641775)

[6. Escenarios paramétricos 10](#_Toc283641776)

[7. Costos económico-ambientales por la sobreexplotación 11](#_Toc283641777)

[Costos de extracción 11](#_Toc283641778)

[Costos por depreciación y mantenimiento 11](#_Toc283641779)

[Costos de oportunidad 11](#_Toc283641780)

[Evaluación de los beneficios económicos producto de la sobreexplotación 11](#_Toc283641781)

[Análisis de la relación beneficio-costo de la sobreexplotación 12](#_Toc283641782)

[8. Alternativas de manejo integrado 13](#_Toc283641783)

[9. Conclusiones y recomendaciones 19](#_Toc283641784)

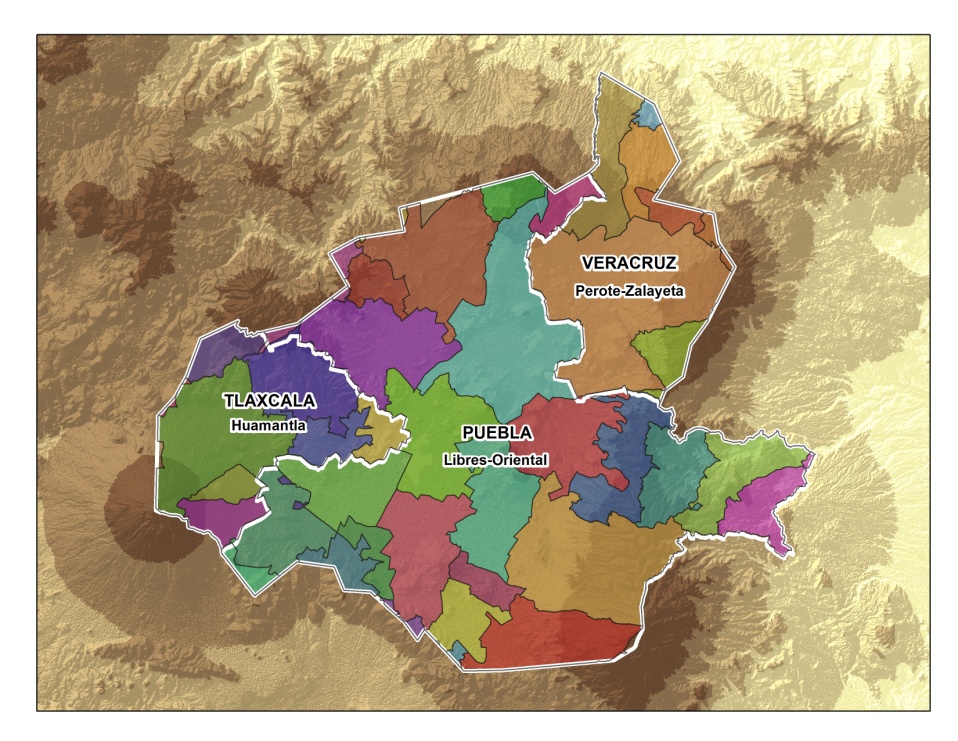
[Conclusiones 19](#_Toc283641785)

[Recomendaciones 20](#_Toc283641786)

# Generalidades

## Antecedentes

El acuífero Huamantla-Libres Oriental-Perote (HLOP) es un acuífero interestatal ubicado en tres estados, pero dividido administrativamente en tres acuíferos diferentes, y agrupados en uno solo para el presente Plan de Manejo.



Comprende extensiones del oriente de Tlaxcala, centro de Puebla y centro-poniente de Veracruz. Un acuífero (Perote-Zalayeta) pertenece al Organismo de Cuenca (OC) Golfo Centro (Región X), mientras que Huamantla y Libres-Oriental se ubican dentro del OC Balsas (Región IV). Las subregiones de planeación involucradas son: Alto Balsas (OC Balsas), Veracruz Centro y Veracruz Norte (OC Golfo Centro).

Con base al DOF del 28 de agosto de 2009, se tiene que la superficie total de 5,841.71 km2, correspondiendo 851.59 a Huamantla, 3,973.80 a Libres–Oriental y 1016.32 a Perote–Zalayeta.

Desde los 50´s, el acuífero HLOP ha sido estudiado geohidrológicamente, principalmente para suministro de agua ha regiones como las ciudades de México y Puebla (CHCVM, Proyecto Moctezuma, Programa de Desarrollo Regional Angelópolis). Ninguno de estos proyectos ha sido concretado a la fecha.

Presenta una configuración hidrológica superficial prácticamente nula con fuertes tasas de evaporación, por lo que el sobreaprovechamiento de aguas subterráneas y la alteración de las salidas geohidrológicas naturales, provoca la disminución del nivel freático y la paulatina desaparición de las lagunas de El Carmen y El Salado. La recarga natural es originada, principalmente desde: Volcán La Malinche, y sierras de Citlaltepetl y Perote. Se cree de la existencia de una región de retención hidrológica importante en la zona de Buenos Aires-Serdán.

Estudios piezométricos de 1966-1996 cuantificaron abatimientos de 1-6 m en la zona de Totolcingo; de 1-3 m en la zona de Libres-Oriental; de 2-3 m en la región de Tepeyahualco; de 2-4 m en Perote, y de 2-6 m en la zona de Buenos Aires-Ciudad Serdán. Recientemente (1996-2002), se han considerado desniveles de entre 2-4 m, con promedios anuales de entre 0.60-0.75 m. Se identifican tres conos de abatimiento: poniente de la cuenca (Tlaxcala), y porción suroriental y noroccidente del estado de Puebla.

Es probable que la creciente extracción de agua, al provocar el abatimiento de la superficie freática en las áreas lacustres, este induciendo una infiltración significativa estacional de agua de lluvia en el lecho de los lagos, que originalmente no eran receptoras de recarga; no obstante, la carencia de piezómetros en las lagunas así como de estudios recientes de estos fenómenos, sugiere la medición directa de estos factores para conocer mejor los efectos de la pérdida de estas áreas como zonas de descarga permanente del acuífero.

## Problemática

El problema central en la zona de Huamantla y Libres–Oriental, es el excesivo cambio en los usos de suelo y el crecimiento paulatino de extracciones de agua subterránea que a través de las últimas décadas han resultado en notables cambios, propios de un proceso gradual de desertificación. Estas condiciones han afectado las características del proceso de recarga y descarga natural.

La sobreexplotación es hasta ahora en apariencia moderada, no constituyendo una amenaza en cantidad para el horizonte de planeación hacia el año 2040, sin embargo, esta condición es a costa de la desaparición de las lagunas El Carmen y El Salado. Para el acuífero Huamantla se observa un descenso más acelerado de los niveles piezométricos.

Aún cuando los acuíferos presentan una continuidad hidrogeológica entre sí, la administración de cada uno de ellos a partir de la división política estatal ha dificultado la coordinación interestatal en el manejo integrado de las aguas subterráneas.

Para efectos de sobreexplotación, los estudios técnicos carecen de actualidad y las configuraciones piezométricas no representan una sobreexplotación continua ni generalizada, ya que algunos años han tenido recuperación de los niveles piezométricos; sin embargo, el análisis de piezómetros con registros superiores a los 20 años, confirman una clara aunque moderada tendencia de abatimiento en los niveles.

Los volúmenes reales de aprovechamiento superan a los reportados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), sobre todo en los sectores agrícola y público-urbano. El porcentaje de aprovechamientos que cuentan con un medidor volumétrico, del orden del 20%, aún es muy bajo; por ello, principalmente en captaciones de uso agrícola, existe una baja precisión en la estimación del gasto.

El Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) se encuentra aún en un proceso de gestión y consolidación, esto significa que todavía no desempeña las funciones que logrará realizar en el futuro, cuando cuente con mayores recursos humanos, técnicos y económicos. En diagnósticos anteriores realizados por el COTAS se identifican las siguientes problemáticas: limitada oferta de agua pero incremento en su demanda; vulnerabilidad a la contaminación; creciente competencia por el agua; alta concentración de pozos (Huamantla y Cuapiaxtla), y abatimientos puntales en Puebla y Tlaxcala.

## Objetivos del Plan de Manejo

**Objetivo General**: Adecuar el desarrollo de la región y de su entorno para un manejo sustentable del acuífero Huamantla-Libres Oriental-Perote, en congruencia con el contexto de la actual política nacional hídrica.

**Objetivos Específicos**: i) Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola; ii) Incrementar el acceso y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento; iii) Promover el manejo integrado del agua en cuencas y acuíferos; iv) Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico; v) Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura del buen uso; vi) Prevenir los riesgos derivados de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos; vii) Evaluar los efectos del cambio climático e hidrológico global y local; viii) Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la LAN en materia administrativa.

# Situación actual

1. Población y desarrollo socioeconómico

Dentro de cada uno de los tres estados que participan en los acuíferos, las principales localidades son: Ciudad Serdán (Puebla), Huamantla (Tlaxcala) y Perote (Veracruz); la población conjunta de éstas localidades en el año 2009 asciende aproximadamente a 663 mil habitantes. Dentro de los acuíferos se identifican 8 localidades mayores a 10,000 habitantes.

1. Área de estudio. Localidades según rangos de población

| Estado | Municipio | Localidad | No. Localidades | Población 2009 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Libres Oriental | Chalchicomula de Sesma | Ciudad Serdán | 1 | 22,649 |
| Libres Oriental | Libres | Ciudad de Libres | 1 | 15,032 |
| Libres Oriental | Sal Salvador El Seco | San Salvador El Seco | 1 | 17,082 |
| Huamantla | Huamantla | Huamantla | 1 | 52,108 |
| Huamantla | El Carmen Tequexquitla | Valle de El Carmen Tequexquitla | 1 | 14,035 |
| Perote | Perote | Perote | 1 | 38,380 |
| Perote | Altotonga | Altotonga | 1 | 19,527 |
| Perote | Jalacingo | Jalancingo | 1 | 13,231 |
| Varios | Varios | De 5,000 – menor de 10,000 hab | 13 | 96,060 |
| Varios | Varios | De 2,500 a menor de 5,000 hab | 23 | 84,555 |
| Varios | Varios | De 1,000 a menor de 2,500 hab | 89 | 142,159 |
| Varios | Varios | De 100 a menor de 1,000 hab | 321 | 137,209 |
| Varios | Varios | Menor a 100 hab | 529 | 10,578 |
|  |  | TOTAL | 983 | 662,605 |

FUENTE: INEGI. Censo 2000, conteo 2005. CONAPO. Proyección de la población 2005-2050

|  |  |
| --- | --- |
| En términos de tipo de población, habitan 289,946 habitantes (43.8%) distribuidos en 939 localidades rurales, en contraparte, la población urbana es de 373,659 habitantes (56.2%) y se distribuye en únicamente 44 localidades. |  |

1. Área de estudio. Localidades urbanas y rurales

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Acuífero | Localidades | | | Población | | |
| Urbana | Rural | Total | Urbana | Rural | Total |
| Libres - Oriental | 24 | 590 | 614 | 162,173 | 172,551 | 334,724 |
| Huamantla | 11 | 214 | 225 | 116,675 | 38,160 | 154,835 |
| Perote | 9 | 135 | 144 | 93811 | 79235 | 173,046 |
| Total | 44 | 939 | 983 | 372,659 | 289,946 | 662,605 |

Fuente: INEGI. Censo 2000, conteo 2005. CONAPO. Proyección de la población 2005-2050

En términos de Producto Interno Bruto (PIB) municipal, los municipios que de manera independiente presentan un mayor PIB se localizan al poniente y noreste del acuífero HLOP, zonas en las cuales se superan los 3 mil MDP (Huamantla y Perote), y en donde la actividad secundaria y terciaria igualan o superan a la primaria. Aún ante esta situación y al considerar que los municipios poblanos presentan las menores cifras de PIB municipal, éstos en conjunto aportan el 52% del PIB de los tres acuíferos, los municipios ubicados en Veracruz aportan el 27%, y los de Tlaxcala el 21% del PIB total de los tres acuíferos. La Región Hidrológico Administrativas Balsas participa con el 73% del total y Golfo Centro con el 27%. La cifra total de PIB municipal es de 31,679 MDP al año 2005, misma que implica el PIB total de municipios que se circunscriben parcial o totalmente en el acuífero.

1. PIB municipal para el acuífero HLOP. Datos consolidados por estado

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Clave** | **Estado** | **PIB 2005 en dólares (PPC de 2005)** | **PIB per cápita 2005 en dólares (PPC de 2005)** | **PIB 2005 en pesos a precios corrientes** | **PIB per cápita 2005 en pesos a precios corrientes** | **% PIB** |
| 21 | Puebla | 2,343,520,521 | 121,352 | 16,583,405,437 | 858,717 | 52.35 |
| 29 | Tlaxcala | 911,191,170 | 43,522 | 6,447,843,088 | 307,976 | 20.35 |
| 30 | Veracruz | 1,222,206,035 | 33,914 | 8,648,671,102 | 239,987 | 27.30 |
|  |  | 4,476,917,726 | 198,788 | 31,679,919,628 | 1,406,681 | 100.00 |

Fuente: IGH SC a partir de Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal

1. Climatología

El clima que impera en la zona es templado, subhúmedo con lluvias en el verano, aunque en su parte central, es semiseco; dominan las temperaturas medias anuales de 14° C. La evaporación potencial media anual oscila entre 800 mm y 1,900 mm con un valor medio de 1,460 mm y variación estacional similar a la de la temperatura; los valores mayores ocurren en las partes bajas y los menores, en las áreas montañosas. La evaporación potencial media mensual es mayor que la precipitación media respectiva en todos los meses, excepto en las áreas montañosas y en la porción veracruzana de la cuenca.

Se identifican 46 estaciones climatológicas operando en su mayoría desde 1966. En el periodo 1968-86, la altura de precipitación media anual fue de 590 mm, y varió de 400 mm a 1,700 mm en las porciones planas y las montañosas, respectivamente. Es notoria la disminución de la lluvia en los últimos 30 años, causada, aparentemente por la desforestación y los cambios meteorológicos integrales de plazo prolongado. La temporada de lluvias abarca los meses de abril a octubre, siendo agosto y septiembre los más lluviosos.

Con escurrimiento superficial momentáneo y minúsculo, las corrientes principales son las siguientes: arroyo Xonecuila, río Barranca La Malinche, y numerosos arroyos; todos ellos alimentan tanto superficial como subterráneamente al lago de Totolcingo (El Carmen) y Tepeyehualco (El Salado) –de grandes extensiones, que se llenan de agua en la época de lluvias y se reducen o desaparecen en la de estiaje- y los axalapascos, entre los que destacan: Alchichica, La Preciosa, Aljojuca, Quecholac, Tecuitlapa y Luis Atexcac.

La precipitación media ponderada por acuífero varía desde un mínimo de 624.9 mm, en el acuífero Libres-Oriental, hasta 778.4 mm en el acuífero Perote-Zalayeta; mientras que en el acuífero Huamantla es de 631.3 mm.

1. Precipitación media ponderada en milímetros

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Acuífero | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Anual |
| Libres-Oriental | 11.1 | 10.9 | 16.8 | 40.9 | 71.6 | 112.4 | 93.0 | 92.8 | 101.4 | 50.1 | 15.0 | 8.8 | **624.9** |
| Huamantla | 8.8 | 9.4 | 17.1 | 45.9 | 82.8 | 120.4 | 92.3 | 96.8 | 89.3 | 48.9 | 13.1 | 6.6 | **631.3** |
| Perote-Zalayeta | 20.8 | 21.5 | 19.7 | 33.7 | 49.4 | 117.2 | 92.6 | 99.5 | 157.3 | 99.3 | 43.2 | 24.2 | **778.4** |

Fuente: Elaboración propia IGH SC

1. Aguas subterráneas

La zona se encuentra dentro de la Región Hidrológica No 18 Balsas, cuenca del río Atoyac. Geomorfológicamente, está considerada como una cuenca del tipo endorréico, cuyos límites naturales lo constituyen sierras de composición volcánica como sedimentaria (Volcán La Malinche, Pico de Orizaba, Cofre de Perote, Caldera Los Humeros y Sierra Soltepec). El patrón de drenaje es de tipo radial centrífugo, en zonas altas, y subdendritico y rectangular en regiones bajas. Hacia el centro de la cuenca, se ostenta una extensa planicie de origen lacustre, donde sobresalen algunos cerros y sierras aisladas de procedencia volcánica y sedimentaria, así como vestigios de antiguas y extensas zonas lacustres.

El acuífero HLOP se clasifica en seis unidades hidrogeológicas, atendiendo a su litología y características hidrodinámicas: Acuitardo superior en sedimento lacustres; Acuífero libre a semiconfinado y/o zonas de recarga en tobas, lahares y piroclastos; Unidad acuífero no confinada y/o zona de recarga en vulcanitas; Acuífugo en rocas ígneas intrusivas; acuitardo inferior en calizas y margas con intercalaciones de lutitas; y, Unidad acuífera profunda y/o zona de recarga de calizas.

|  |  |
| --- | --- |
| Aun cuando las lagunas de Totolcingo y Tepeyahualco, contribuyen con un sistema local de recarga en sus inmediaciones, en realidad se encuentran regionalmente ubicadas en zonas de descarga, hacia donde el flujo de aguas subterráneas se dirige, de manera que como cuenca cerrada, la recarga proviene de las serranías, y sale del sistema a través de la evaporación lagunar. Este sistema en sí constituye una condición hidrológica que une los sistemas superficiales y subterráneos de la región, por lo que cualquier aprovechamiento superficial o subterráneo modifica el funcionamiento de las lagunas. | C:\Users\Juan Pablo\2 PLAN DE MANEJO\Modelo matemático\Figuras\FigCondIniYDireccion.emf |

Las áreas receptoras que generan una mayor recarga, son: volcán de La Malinche y sierras del Citlaltepetl y Perote, donde la precipitación pluvial es mayor y hay extensos afloramientos de rocas fracturadas, y en los flancos montañosos donde predominan los materiales aluviales y coluviales de grano grueso. Otra fuente de recarga natural es el deshielo del Citlaltepetl, que origina infiltración temporal o perenne.

Originalmente, antes de que se diera una explotación intensiva del acuífero, el flujo subterráneo descargaba en las lagunas, ya que por una parte, las salidas por flujo subterráneo hacia el acuífero Valle de Tecamachalco y el de Martínez de la Torre-Nautla se encontraban saturadas, y por otra, no había descarga del acuífero por bombeo. Con el paso de los años, la profundidad al nivel estático en las zonas de las lagunas descendió hasta más de 5 m de su lecho con recuperaciones estacionales de magnitud desconocida durante los períodos de lluvia, que aún permiten la formación de las lagunas por períodos cada vez más breves, es por ello que las lagunas han visto reducida su extensión y su profundidad, y el flujo subterráneo que anteriormente descargó a través de ellas, actualmente sigue una dirección SW-NE con dirección hacia el acuífero de Perote –Zayaleta y posteriormente hacia el acuífero de Martínez de La Torre – Nautla.

El abatimiento del acuífero en las áreas lacustres ha inducido una infiltración estacional significativa en el lecho de los lagos, lo que conlleva una infiltración directa de la lluvia en áreas que originalmente no eran receptoras de recarga. Estas zonas son altamente vulnerables a la contaminación y dicho problema pone en riesgo la calidad del agua subterránea en la periferia de las lagunas.

En torno a la caracterización de los aprovechamientos subterráneos, el censo más reciente se realizó en el año de 1996 encontrando 749 aprovechamientos activos, 195 inactivos y 3 sin dato. Es necesaria la actualización del censo que de acuerdo con los análisis, se estima que desde su versión original omitió una cantidad importante de captaciones y además de ello la cantidad ha aumentado durante los últimos años.

En cuanto a calidad de agua subterránea, la salinidad del agua es baja, pero aumenta hacia las depresiones centrales, -áreas lacustres de El Carmen y Tepeyehualco-, donde alcanza valores de 1,000 ppm, a causa de la presencia de depósitos salinos producto de la evaporación. En las mismas áreas, el agua subterránea contiene Boro y otros elementos químicos disueltos, en concentraciones superiores a los aceptables de acuerdo con la norma de agua potable. El tipo más común de agua es mixta carbonatada y sulfatada-mixta. En general el líquido es apto para consumo humano, y para el uso agrícola es adecuada para cultivos tolerantes a la salinidad, exceptuando a una pequeña porción de la zona Tepeyahualco.

En términos piezométricos, a partir de la información histórica se graficaron 45 hidrógrafos de niveles estáticos; se aprecia que la tendencia general es hacia el abatimiento.

|  |  |
| --- | --- |
| Se configuró la evolución del nivel estático para el periodo 1996-2008. Los resultados indican que la zona con abatimientos más críticos se localizan en la porción centro-sur, entre el cerro El Brujo y Las Derrumbadas, que junto con la Ciudad Libres, presentan los mayores abatimientos, siendo de 0.50 a 0.90 m/año. En general, toda la zona con información piezométrica resultó con evoluciones negativas, siendo el abatimiento medio ponderado regional de 0.37 m/año; de 0.345 m/año para Huamantla; de 0.321 m/año en Libres – Oriental, y de 0.227 m/año en Perote-Zayaleta. Sólo los años 1996 y 2008 cuentan con una distribución geográfica aceptable para el estudio comparativo de las configuraciones en todo el acuífero. | C:\Huamantla_Libres_Perote\Figuras\Abatimiento_medio_anual.jpg |

# Caracterización y proyección de la demanda

1. Zona de estudio. REPDA histórico según origen y uso

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Uso** | **SUBTERRANEO** | | | | **SUPERFICIAL** | | | |
| **2005** | **2006** | **2007** | **2008** | **2005** | **2006** | **2007** | **2008** |
| **Termoeléctrica** | **6,473,649.0** | **6,473,649.0** | **6,473,649.0** | **6,473,649.0** | **0.0** | **0.0** | **0.0** | **0.0** |
| **Agropecuario** | **256,017,499.2** | **258,187,336.2** | **261,549,436.2** | **248,042,737.3** | **32,996,559.5** | **30,339,595.2** | **27,162,464.6** | **27,181,515.9** |
| **Público Urban** | **27,600,134.9** | **27,600,134.9** | **27,628,385.9** | **27,345,944.7** | **75,641,744.6** | **75,641,744.6** | **75,754,803.3** | **75,818,937.0** |
| **Industrial** | **5,783,047.0** | **5,783,047.0** | **5,901,047.0** | **6,176,567.0** | **3,469.0** | **3,469.0** | **3,469.0** | **3,469.0** |
| **Total** | **295,874,330.1** | **298,044,167.1** | **301,552,518.1** | **288,038,898.0** | **108,641,773.1** | **105,984,808.8** | **102,920,736.9** | **103,003,921.9** |

Fuente: Cubo del agua, CONAGUA 2009

|  |  |
| --- | --- |
|  | Históricamente el volumen concesionado en la zona es de 394.5 Mm3/año, correspondiendo el 73.4% al acuífero Libres-Oriental, el 16.5% y 10.1% al acuífero de Huamantla y Perote-Zayaleta, respectivamente. Con respecto al origen del recurso, el 73.4% proviene de fuentes subterráneas y 26.6% es de origen superficial |

Actualmente el REPDA tiene registradas en la zona de estudio 1,826 aprovechamientos, de los cuales 1,442 son subterráneos y 348 superficiales (70% y 21%, respectivamente). De los primeros, 1,128 son de uso agrícola, mientras que de los superficiales, 344 son de uso público-urbano. El volumen total concesionado es de 292.6 millones de metros cúbicos.



# Caracterización y proyección de la disponibilidad

La disponibilidad media anual, con datos del periodo 1996–2008, resulta contrastante con lo reportado en el Diario Oficial de la Federación (28 de agosto de 2009). Conforme a los resultados, no existe volumen disponible para otorgar nuevas concesiones en los acuíferos Huamantla y Libres-Oriental, mientras que para el acuífero Perote-Zalayeta si existe disponibilidad de aguas subterráneas para nuevas concesiones.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Acuífero | Recarga total media anual (Rt) | Descarga natural comprometida (DNCOM) | Volumen concesionado\* (VCAS) | Disponibilidad media anual (DAS) |
| m³/año | | | |
| Huamantla | 64,300,000 | 13,600,000 | 53,401,466 | -2,701,466 |
| Libres-Oriental | 306,300,000 | 152,800,000 | 171,637,511 | -18,137,511 |
| Perote-Zalayeta | 156,300,000 | 74,900,000 | 22,314,133 | 59,085,867 |

Fuente: IGH SC a partir de \*REPDA al 31 de marzo de 2009.

#### Proyección de la oferta de agua

##### Escenario inercial. Oferta total de agua aprovechable

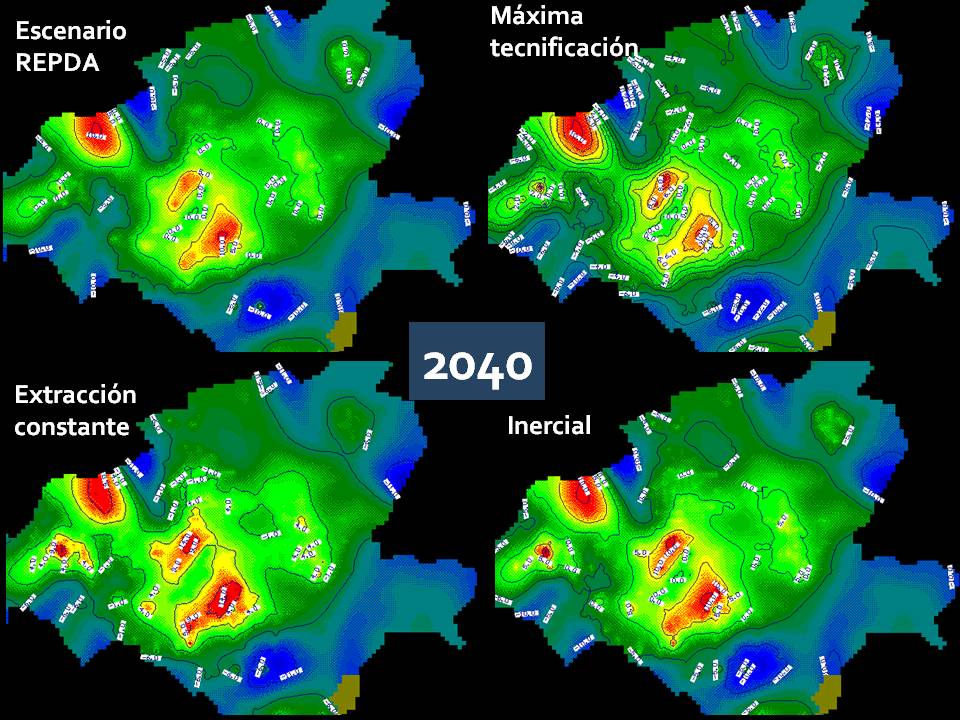
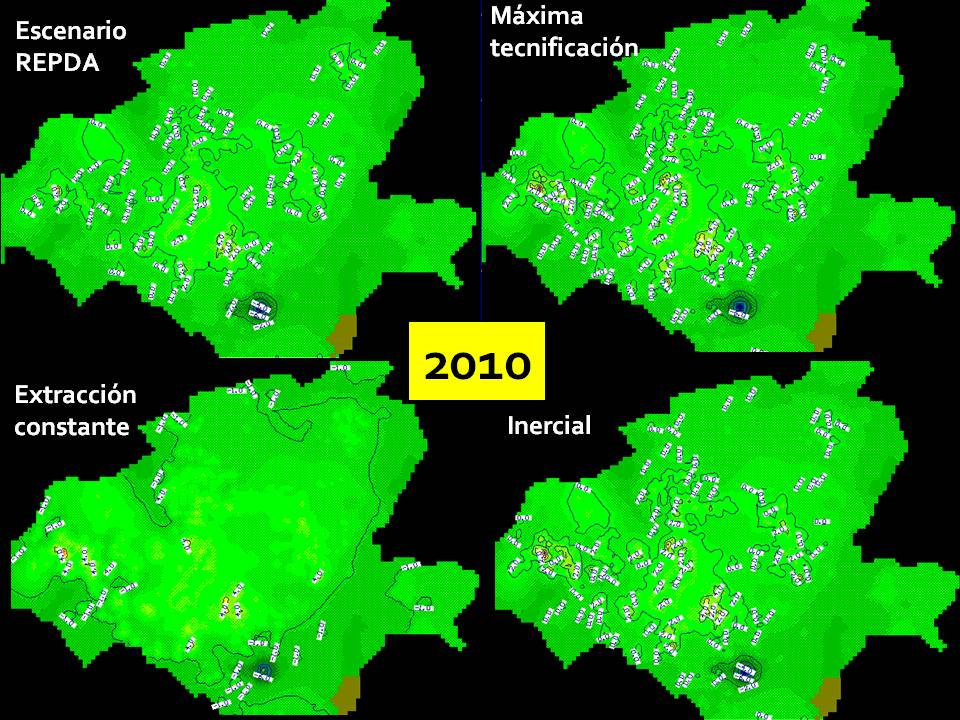
**Acuífero de Huamantla.** La disponibilidad en este acuífero alcanzará una magnitud de 58.70 hm³ en el año 2040, cuando en el 2010 es de 54.68 **hm³**; el incremento se debe al aumento en la recarga inducida y de agua residual tratada en las localidades urbanas. En el **Acuífero de Libres-Oriental** la disponibilidad alcanzara un volumen total al año 2040 de 285.55 hm³, cuando en el 2010 es de 240.99, el incremento proviene a partir de la desaparición de descargas por evapotranspiración al profundizarse el nivel estático por debajo de las zonas lagunares (el aumento es a costa de la pérdida gradual de ecosistemas lagunares, hasta alcanzar la pérdida total en el 2040), por el incremento en la recarga inducida en las localidades urbanas y en el incremento del agua residual tratada. Por último, el **Acuífero Perote-Zayaleta** alcanzará una disponibilidadtotal al año 2040 de 117.7 hm³, cuando en el 2010 es de 113.2; el incremento se presenta por tres factores: primero, al aumento de la población urbana, que al demandar más agua potable y mantenerse los mismos porcentajes de pérdidas físicas en las redes de distribución, provocan una mayor recarga inducida al acuífero; segundo, al aumento de la superficie riego en un 33%, el cual provoca que los retornos de riego al acuífero aumenten en la misma proporción; finalmente, al incrementarse la población urbana y mantenerse la misma cobertura de alcantarillado se ocasiona que se incremente el agua residual tratada.

##### Escenario de máxima tecnificación (sustentable). Oferta total de agua aprovechable

**Acuífero de Huamantla,** la disponibilidad anual al año 2040 alcanzará los 57.62 hm³, cuando en el 2010 es de 54.43; el incremento se debe básicamente al aumento en el agua residual recolectada y posteriormente tratada. En el **Acuífero Libres – Oriental** la disponibilidad anual al año 2040 será de 221.46 hm³, cuando en el 2010 es de entre 236 y 241 hm3; el decremento se debe básicamente a la descarga por evapotranspiración. Por último, para el **Acuífero Perote-Zayaleta,** se tendrá una disponibilidad anual al año 2040 de 117.5 hm³, cuando en el 2010 es de 113.2; el incremento es producto de dos factores; al aumentar la superficie de riego en un 33%, se provoca que los retornos de riego al acuífero aumenten en la misma proporción; y, al incrementarse la población urbana e incrementarse la cobertura de alcantarillado se incremente el agua residual tratada.

# Modelo de Simulación de Flujo

Para efectos de modelación matemática del acuífero HLOP ante diferentes alternativas de manejo, se empleo el software Visual MODFLOW versión 2.8.3. El ambiente del acuífero se discretizó por medio de una malla de elementos tridimensionales que en planta presenta una geometría regular de 110 elementos en el sentido Este – Oeste y de 100 elementos en el sentido N – S, con un total de 4 capas. La dimensión en planta de cada elemento resultó de 1 km x 1 km, mientras que el espesor de los elementos resultó variable, adecuado principalmente a la configuración topográfica del relieve, al basamento impermeable del acuífero y a estratos con distinta actividad en aprovechamiento de agua subterránea.



La calibración del modelo se realizó a partir de datos piezométricos que datan de los años setentas, con un total de 30 años de modelación.

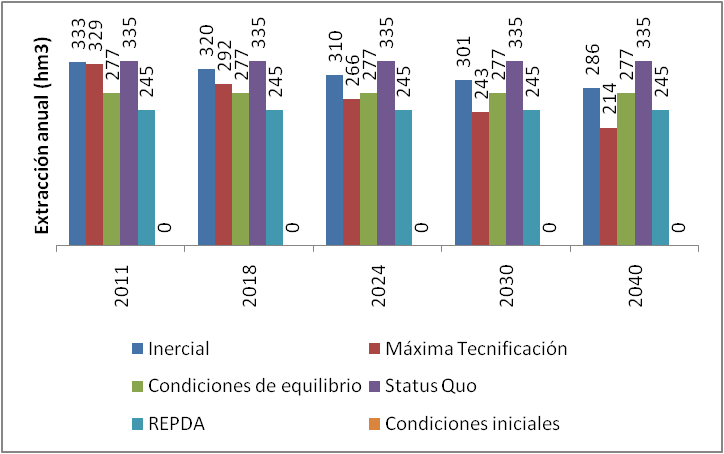
Dado que la variación piezométrica es de pocos centímetros anuales y en la zona de valle ocurren abatimientos y recuperaciones con una relación muy estrecha con el comportamiento lagunar, las áreas lagunares del Carmen y Tepeyahualco representan un factor notable de incertidumbre, pues carecen de datos piezométricos locales y de cualquier tipo de evaluación del comportamiento de almacenamientos o evaporación subsuperficial durante el estiaje u otros períodos en que éstas se secan. Asimismo, la falta de hidrometría en las captaciones y el uso de la base de datos del REPDA como fuente más confiable para representar una cantidad más real de aprovechamientos que la del censo de 1996, conllevaron a necesarias hipótesis y supuestos para la integración del modelo.

No obstante las dificultades mencionadas, el modelo dejó ver que las zonas de Huamantla y Libres Oriental descargan hacia las lagunas y que la sobreexplotación reduce gradualmente dichas descargas y tiende a permitir únicamente el flujo hacia el acuífero de Perote, subexplotado desde cualquier perspectiva de análisis. A través del modelo matemático fueron modelados distintos escenarios paramétricos, así como la alternativa de manejo integrado del acuífero.

# Escenarios paramétricos

Se conciben tres principales factores por diagnosticar mediante los escenarios paramétricos: el comportamiento del nivel estático ante distintas políticas de operación, la respuesta en el largo plazo ante una tasa constante de aprovechamiento y, la interrelación con las lagunas y humedales (descarga hacia dichos cuerpos). Para escenarios de alta eficiencia, se consideran las demandas netas de agua con menores pérdidas; en lo que se refiere a la distribución de las extracciones, se considera la reportada por el REPDA.

Los escenarios paramétricos considerados para la evaluación futura del comportamiento del acuífero son seis: inercial; REPDA; máxima tecnificación; condiciones de equilibrio y condiciones iniciales y status quo.



Para tasas de aprovechamiento menor o iguales a 244 hm³ (del mismo orden que el volumen concesionado), el acuífero tiende a estados estables, donde se lograría incluso una recuperación de los niveles en las áreas lagunares, con una aportación a dichos sistemas de descarga típicos de la región.

Con excepción del escenario Status Quo, en todos los escenarios las extracciones van a la baja. Esta situación resulta favorable para fines del balance y señala una mayor facilidad para definir políticas de manejo sustentable. Las variaciones del costo unitario de la energía eléctrica agua en los escenarios comparativos de máxima tecnificación e inercial, no tienen diferencias relevantes.

La evaluación económica deja claro que la sobreexplotación tiene una justificación aparente en el hecho de que la productividad del agua es positiva en la zona de Libres–Oriental aún para cultivos de baja densidad económica; por ello, a mayor extracción, mayor es el beneficio. La desecación de las lagunas no representa un impacto económico evidente. En contraparte, los esquemas de manejo en condiciones de máxima tecnificación y equilibrio, se justifican únicamente debido a que el mejoramiento del manejo del agua en el sector agrícola vendría acompañado de un incremento de la productividad del agua superior al costo de las inversiones en infraestructura y tecnificación. De no mejorarse el rendimiento agrícola y el valor de los cultivos, la tecnificación no tendría justificación económica aparente.

# Costos económico-ambientales por la sobreexplotación

#### Costos de extracción

Se obtuvo un costo por metro cúbico sobreexplotado considerablemente bajo, que para el acuífero de Libres–Oriental, es próximo a $0.05 por metro cúbico sobreexplotado, relacionado a su vez con una afectación de un total de 225 pequeñas captaciones a través de la historia del acuífero, con un costo total estimado de 160 MDP. Las captaciones se concentran en las inmediaciones de las lagunas del Carmen y Tepeyahualco; sin embargo, alrededor de dichas lagunas también ocurren recuperaciones estacionales, aunque la tendencia piezométrica multianual resulta a la baja.

Más del 50% del costo de la energía es cubierto por incentivos fiscales (0.3 $/m³ Vs 0.7 $/m³). La energía a su vez, representa casi el 90% del costo de extracción del agua subterránea.

Se concluye que actualmente cada metro cúbico de sobreexplotación causó un sobrecosto de 1.5 centavos, que equivale a un costo histórico total acumulado de 47 MDP (2009). Las afectaciones a captaciones junto con el incremento del costo de la energía, suman un total estimado de 60 MDP, equivalentes a 17 centavos por metro cúbico sobreexplotado.

#### Costos por depreciación y mantenimiento

El costo unitario por infraestructura de captación, se calcula en $1.01/m³, la depreciación, de $0.24/m³, que en suma resultan en $1.25/m³, lo que compone parte del costo del agua, sin implicar en sí un costo por sobreexplotación.

#### Costos de oportunidad

La ponderación de la productividad del agua por metro cúbico para los cultivos más rentables, representa un valor unitario de $29/m³, mientras que la correspondiente a los cultivos menos rentables, resultó de $0.23/m³, siendo en casos extremos un valor negativo $0.44/m³.

Las productividades por metro cúbico en Huamantla y Libres–Oriental, son de $0.58/m³ y $1.20/m³, respectivamente. Al considerar una reducción de extracciones en los usos menos productivos, hasta alcanzar un punto de equilibrio, sería necesaria una disminución de 35 hm³ en cada acuífero, con lo cual dichas productividades se incrementarían a $2.44/ m³ y $1.50/ m³, respectivamente, de este modo, el costo de oportunidad por metro cúbico, es de $1.86/ m³ y $0.30 / m³, respectivamente. En Perote–Zalayeta, al no encontrarse sobreexplotado ni requerir de una política de reducción de extracción del agua subterránea, no existe un costo de oportunidad.

Se concluye que el costo de la sobreexplotación por metro cúbico es hasta ahora, de un orden de $0.30/m³ sobreexplotado en Libres – Oriental y de $0.91/m³ en Huamantla. Esto, considerada una tasa de aprovechamiento en exceso de 18% y 50%, respectivamente.

#### Evaluación de los beneficios económicos producto de la sobreexplotación

*Beneficios netos del primer uso*

Para Libres–Oriental, el costo real de la energía eléctrica requerida para aprovechar un metro cúbico, es de $0.26/m³, sin embargo, los incentivos fiscales sobre la tarifa eléctrica, hacen de este monto una cantidad menor, próxima a $0.06/m³. De allí, se deduce que existe un $0.20/m³ de sobrecosto real del agua.

El beneficio neto anual sin subsidio a la tarifa eléctrica en el acuífero de Libres Oriental, es del orden de 1.8 MDP, lo que equivale a $0.05 / m³, y aparente se incrementa hasta 8 MDP, con un productividad por metro cúbico sobreexplotado, de $0.20 / m³.

El beneficio neto de la sobreexplotación histórica para Libres – Oriental, resulta de 92 MDP a pesos de 2009, a este beneficio se le descuenta el subsidio, de manera que resulta menor al beneficio aparente, que resulta de 377 MDP. Esto, como beneficio neto de la sobreexplotación. Complementariamente, el beneficio neto total real por año, es de un orden de 199 MDP, mientras que los subsidios lo tornan un beneficio aparente de 239 MDP.

Para Huamantla, el costo real de la energía eléctrica requerida para aprovechar un metro cúbico, es de $0.22 $/m³, sin embargo, los incentivos fiscales sobre la tarifa eléctrica, hacen de este monto una cantidad menor, próxima a $0.05 $/m³. De allí, se deduce que existe un $0.17 $/m³ de sobrecosto real del agua.

De la curva de beneficio neto acumulado sin subsidio a la tarifa eléctrica, se visualiza que el beneficio neto anual en Huamantla, es negativo, de -5 MDP, lo que equivale a -0.142 $/m³. El beneficio neto real de la sobreexplotación histórica ante estos antecedentes, resulta de un valor negativo de -62.338 MDP, con un valor aparente de -13.17 MDP aparentes.

*Beneficios de retornos de agua*

Los retornos de agua al acuífero representan un factor que evita una mayor sobreexplotación, con ello contribuyen en un beneficio relativo con el costo de oportunidad, que para Libres Oriental es de $0.30 / m³ y para Huamantla, de $1.86 / m³. En dichos términos, dada una sobreexplotación de un orden de 37 hm³ en Libres – Oriental y de 35 hm³ en Huamantla, y con un coeficiente de retorno total del 15%, el beneficio de los retornos (o el costo evitado por una mayor sobreexplotación), es de un orden anual de $1.67 millones de pesos, y $9.78 millones de pesos, respectivamente.

En síntesis, el beneficio **por metro cúbico sobreexplotado** por concepto de percolación y su impacto sobre el costo de oportunidad del agua, resulta de **$0.05** / m³ para el acuífero de Libres–Oriental, y de **$0.28** / m³ para el acuífero de Huamantla. Para el caso de Perote, no se considera sobreexplotación del acuífero. Históricamente, al considerar la sobreexplotación total, el beneficio acumulado asciende a $207 MDP. El beneficio anual total, es entonces de $11.45 MDP.

#### Análisis de la relación beneficio-costo de la sobreexplotación

Del análisis de los beneficios y de los costos de la sobreexplotación, se identifica: un Costo total por sobreexplotación histórica de 1,185 MDP (Afectación a captaciones, 160 MDP; Sobrecostos de energía, 60 MDP; y, Costos de oportunidad, 965 MDP) y un Beneficio acumulado por sobreexplotación, de 30 MDP. De este modo, la relación Beneficio – Costo de la sobreexplotación resulta de -1.155 MDP; mientras que la relación Beneficio / Costo es de 0.025.

En conclusión, ante la baja productividad de algunos cultivos que aprovechan importantes volúmenes de agua dentro del acuífero, la sobreexplotación es totalmente injustificada, los costos evaluados por afectación a captaciones, sobrecosto de energía y costo de oportunidad, son por sí solos bastante mayores a los beneficios. Los beneficios netos, si se analizan sin subsidios, son mínimos en Libres–Oriental y negativos en Huamantla principalmente para algunos cultivos básicos.

# Alternativas de manejo integrado

En términos de planeación, se consideran ocho objetivos específicos con total correspondencia a los establecidos en el Programa Hídrico Nacional 2007-2012.

* ***Objetivo Estratégico 1: Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola***

Siendo el sector agrícola el principal consumidor del recurso hídrico, las acciones que implanten y ejecuten de manera coordinada y continua favorecerá la oferta de agua subterránea, la cual podrá ser dirigida a esquemas de fortalecimiento y crecimiento del propio sector agrícola y de aquellos vinculados al mismo. Lo anterior requiere de aprovechamiento de áreas de oportunidad en esquemas como: la diversificación de actividades productivas y el incremento de la productividad agrícola.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No** | **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **1** | **Diversificación de actividades productivas** | **$4,500.00** | **$22,500.00** | **$18,000.00** | **$45,000.00** |
|  | Ampliación de proyectos rentables con base a las experiencias exitosas en la cuenca | $4,500.00 | $22,500.00 | $18,000.00 | $45,000.00 |
| **2** | **Incremento de la productividad agrícola** | **$64,399.20** | **$272,448.08** | **$878,317.11** | **$1,215,164.38** |
|  | Ampliación de superficies de riego | $0.00 | $5,316.92 | $42,683.08 | $48,000.00 |
|  | Construcción de invernaderos | $0.00 | $0.00 | $70,000.00 | $70,000.00 |
|  | Medición | $11,439.20 | $17,158.80 | $0.00 | $28,598.00 |
|  | Modernización de infraestructura hidroagrícola y reconversión de cultivos según las características de suelos y clima | $48,200.00 | $242,832.35 | $765,634.03 | $1,056,666.38 |
|  | Planes Directores | $4,760.00 | $7,140.00 | $0.00 | $11,900.00 |
|  | **Total General** | **$68,899.20** | **$294,948.08** | **$896,317.11** | **$1,260,164.38** |

* ***Objetivo Estratégico 2: Incrementar el acceso y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento***

Después del sector agrícola, el sector público-urbano ejerce mayor presión sobre los recursos hídricos subterráneos. Su papel dentro del esquema de alternativas de manejo, requiere de estrategias en cuatro escenarios: agua potable, control de descargas contaminantes, incremento y mantenimiento de sistemas de alcantarillado, y saneamiento.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| 1 | Agua potable | $3,975.23 | $88,344.03 | $8,411.31 | $100,730.57 |
| 2 | Control de descargas contaminantes | $2,100.00 | $3,300.00 | $9,600.00 | $15,000.00 |
| 3 | Incremento en cobertura y mantenimiento en sistemas de alcantarillado | $194,152.07 | $194,152.07 | $362,304.14 | $750,608.29 |
| 4 | Incremento en sistemas de saneamiento | $0.00 | $48,000.00 | $0.00 | $48,000.00 |
|  | **Total General** | **$200,227.30** | **$333,796.10** | **$380,315.45** | **$914,338.85** |

* ***Objetivo Estratégico 3: Promover el manejo integrado del agua en cuencas y acuíferos***

A la par de una política hídrica que favorece la gestión integrada de los recursos hídricos, el actual Plan de Manejo promueve la participación multisectorial y multitemporal de los diferentes actores vinculados, a través de un esquema de transversalidad suficiente y real. Es por ello, que el presente objetivo pretende coadyuvar a la conservación y compensación del medio ambiente, que permita asegurar la continuidad de los procesos hidrológicos en la zona de estudio, asegurando con ello, la oferta de agua en cantidad y calidad suficiente en el futuro inmediato y a largo plazo.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **1** | **Control y prevención de la contaminación de suelo y agua** | **$3,000.00** | **$9,000.00** | **$33,000.00** | **$45,000.00** |
|  | Manejo de residuos sólidos | $3,000.00 | $9,000.00 | $33,000.00 | $45,000.00 |
| **2** | **Instrumentos de coordinación institucional** | **$400.00** | **$1,200.00** | **$4,400.00** | **$6,000.00** |
|  | Coordinación institucional | $400.00 | $1,200.00 | $4,400.00 | $6,000.00 |
| **3** | **Manejo de cuencas** | **$21,666.67** | **$65,000.00** | **$238,333.33** | **$325,000.00** |
|  | Capacitación e información | $300.00 | $900.00 | $3,300.00 | $4,500.00 |
|  | Fomento de recarga de agua subterránea | $3,566.67 | $10,700.00 | $39,233.33 | $53,500.00 |
|  | Manejo Forestal Sustentable | $900.00 | $2,700.00 | $9,900.00 | $13,500.00 |
|  | Programa de recuperación de suelos | $4,500.00 | $13,500.00 | $49,500.00 | $67,500.00 |
|  | Protección a la biodiversidad | $600.00 | $1,800.00 | $6,600.00 | $9,000.00 |
|  | Reconversión de sistemas productivos | $3,000.00 | $9,000.00 | $33,000.00 | $45,000.00 |
|  | Recuperación de superficie forestal | $8,800.00 | $26,400.00 | $96,800.00 | $132,000.00 |
|  | **Total General** | **$25,066.67** | **$75,200.00** | **$275,733.33** | **$376,000.00** |

* ***Objetivo Estratégico 4: Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico***

Para este caso, el fortalecimiento técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico (principalmente Organismos Operadores o entidades administradoras del agua), adquiere un matiz muy importante dado que es punto de partida para la ejecución de las estrategias de solución y aprovechamiento de oportunidades que se presentan en este Plan de Manejo. Se pretende pues, fortalecer las estructuras técnicas y humanas para ser capaces de enfrentar los retos en la administración y gestión del recurso hídrico de cara a una realidad más demandante.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **1** | **Banco de derechos del agua a favor del acuífero** | **$133.33** | **$400.00** | **$1,466.67** | **$2,000.00** |
|  | Banco de derechos del agua a favor del acuífero | $133.33 | $400.00 | $1,466.67 | $2,000.00 |
| **2** | **Desarrollo de Organismos Operadores** | **$2,600.00** | **$7,800.00** | **$28,600.00** | **$39,000.00** |
|  | Creación y consolidación de organismos operadores o instituciones similares | $2,600.00 | $7,800.00 | $28,600.00 | $39,000.00 |
| **3** | **Estudios y proyectos** | **$1,800.00** | **$5,400.00** | **$19,800.00** | **$27,000.00** |
|  | Planeación | $300.00 | $900.00 | $3,300.00 | $4,500.00 |
|  | Programa de desarrollo en zonas rurales | $900.00 | $2,700.00 | $9,900.00 | $13,500.00 |
|  | Programa de desarrollo en zonas rurales, servicios ambientales, empleo y turismo | $600.00 | $1,800.00 | $6,600.00 | $9,000.00 |
| **4** | **Gestión de financiamiento** | **$140.00** | **$420.00** | **$1,540.00** | **$2,100.00** |
|  | Gestión de financiamiento hacia instituciones ejecutoras | $140.00 | $420.00 | $1,540.00 | $2,100.00 |
| **5** | **Gestión de programas de apoyo** | **$60.00** | **$180.00** | **$660.00** | **$900.00** |
|  | Gestionar recursos financieros para fomentar la participación social e institucional | $60.00 | $180.00 | $660.00 | $900.00 |
| **6** | **Gestión social y política** | **$100.00** | **$300.00** | **$1,100.00** | **$1,500.00** |
|  | Gestión de políticas y programas de incidencia hídrica | $100.00 | $300.00 | $1,100.00 | $1,500.00 |
| **7** | **Optimización de tarifas y recursos hídricos** | **$2,400.00** | **$7,200.00** | **$26,400.00** | **$36,000.00** |
|  | Difusión del concepto de pago por servicios ambientales | $100.00 | $300.00 | $1,100.00 | $1,500.00 |
|  | Identificación de áreas de oportunidad para el desarrollo socioeconómico | $900.00 | $2,700.00 | $9,900.00 | $13,500.00 |
|  | Valoración económica del agua | $1,400.00 | $4,200.00 | $15,400.00 | $21,000.00 |
| **8** | **Sistemas de información** | **$11,400.00** | **$34,200.00** | **$125,400.00** | **$171,000.00** |
|  | Censo de infraestructura hidráulica | $300.00 | $900.00 | $3,300.00 | $4,500.00 |
|  | Hidrología | $3,000.00 | $9,000.00 | $33,000.00 | $45,000.00 |
|  | Hidrometría | $5,400.00 | $16,200.00 | $59,400.00 | $81,000.00 |
|  | Inventario oficial de aprovechamientos y descargas | $900.00 | $2,700.00 | $9,900.00 | $13,500.00 |
|  | Medición y monitoreo de indicadores | $400.00 | $1,200.00 | $4,400.00 | $6,000.00 |
|  | Modernizar los lineamientos para mejorar la calidad del agua | $400.00 | $1,200.00 | $4,400.00 | $6,000.00 |
|  | Ordenamiento geográfico | $1,000.00 | $3,000.00 | $11,000.00 | $15,000.00 |
|  | **Total General** | **$18,633.33** | **$55,900.00** | **$204,966.67** | **$279,500.00** |

* ***Objetivo Estratégico 5: Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura del buen uso***

Dentro de una problemática compleja, existen diversas variantes y repercusiones sociales que inciden en la calidad de vida de los habitantes, es por ello que la participación social no solo debe ser la ejecutora de las alternativas de solución, sino también, la responsable de prevenir que las actuales problemáticas incrementen su intensidad, y lógicamente, conducir las controversias dentro de canales de imparcialidad y el bien común.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **No.** | **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **1** | **Comunicación y difusión** | **14664.41** | **$43,993.22** | **$161,308.48** | **$219,966.11** |
|  | Creación del programa de ahorro y cultura del agua | 13664.41 | $40,993.22 | $150,308.48 | $204,966.11 |
|  | Eficiencia en el consumo | 1000.00 | $3,000.00 | $11,000.00 | $15,000.00 |
| **2** | **Consolidación técnica y financiera del COTAS HLOP** | **6460.00** | **$19,380.00** | **$71,060.00** | **$96,900.00** |
|  | Colaboración con centros de investigación, instituciones educativas y otros | 6060.00 | $18,180.00 | $66,660.00 | $90,900.00 |
|  | Consolidación administrativa del COTAS | 400.00 | $1,200.00 | $4,400.00 | $6,000.00 |
| **3** | **Reglamentación del manejo del agua subterránea** | **266.67** | **$2,000.00** | **$1,733.33** | **$4,000.00** |
|  | Reglamentación del manejo del agua subterránea e incentivos a usuarios | 266.67 | $2,000.00 | $1,733.33 | $4,000.00 |
|  | **Total General** | **21391.07** | **$65,373.22** | **$234,101.81** | **$320,866.11** |

* ***Objetivo Estratégico 6: Prevenir los riesgos derivados de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos***

La región de influencia del acuífero Huamantla-Libres Oriental-Perote se circunscribe dentro de la zona geográfica a nivel nacional que históricamente ha enfrentado eventos hidroclimatológicos extremos, principalmente la sequía. Tales circunstancias disminuyen la oferta de agua superficial e incrementan la presión en el agua subterránea, razón por lo cual se deben delinea las estrategias de prevención y mitigación a este tipo de eventos aunados a otros de carácter hidroclimatológico.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 6

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **Investigación y tecnología de adaptación y mitigación a sequías** | **$1,000.00** | **$1,000.00** | **$3,000.00** | **$5,000.00** |
| Investigación | $1,000.00 | $1,000.00 | $3,000.00 | $5,000.00 |
| **Organización de usuarios** | **$396.09** | **$1,188.27** | **$4,415.64** | **$6,000.00** |
| Capacitación | $396.09 | $1,188.27 | $4,415.64 | $6,000.00 |
| **Protección ambiental y civil** | **$2,200.00** | **$2,200.00** | **$6,600.00** | **$11,000.00** |
| Estudios y proyectos | $2,200.00 | $2,200.00 | $6,600.00 | $11,000.00 |
| **Total General** | **$3,596.09** | **$4,388.27** | **$14,015.64** | **$22,000.00** |

* ***Objetivo Estratégico 7:Evaluar los efectos del cambio climático e hidrológico global y local***

Uno de las mayores amenazas para la continuidad del ciclo hidrológico tanto en el país como en el mundo, es el cambio de comportamiento de las variables climáticas que influyen directamente en las láminas de lluvia y las tasas tanto de evaporación como de evapotranspiración. La zona de influencia del acuífero Huamantla-Libres Oriental-Perote no es la excepción. Tales amenazas implican cambios en la fenología de los cultivos, los cuales demandarán mayores volúmenes de agua, y por ende, la presión sobre el acuífero podrá ser mayor que en la actualidad. Además, las demandas de agua de uso público-urbano se incrementaran con las mismas consecuencias anteriores hacia el acuífero.

Estas son solo dos razones en los dos principales usuarios del agua subterránea que direccionan la atención hacia un problema poco estudiado a nivel local hasta el momento, sin embargo, dado el nivel de complejidad y el tipo de alcances del COTAS, no se recomienda sino promover el estudios a nivel de cuenca más que desarrollarlos propiamente.

Para este caso, la difusión de la problemática que se deriva del cambio climático hacia el interior del COTAS, así como del apoyo para la ejecución de dichos estudios, son tareas pendientes en los cuales el COTAS puede participar con información específica y coordinación necesaria.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 7

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **Definición de soluciones para el deterioro ambiental de elementos directamente relacionados con el agua** | **$2,000.00** | **$0.00** | **$0.00** | **$2,000.00** |
| Definición de soluciones para el deterioro ambiental de elementos directamente relacionados con el agua | $2,000.00 | $0.00 | $0.00 | $2,000.00 |
| **Investigación del cambio climático y su incidencia en el ciclo hidrológico** | **$2,450.00** | **$100.00** | **$1,050.00** | **$3,600.00** |
| Investigación del cambio climático y su incidencia en el ciclo hidrológico | $2,450.00 | $100.00 | $1,050.00 | $3,600.00 |
| **Total General** | **$4,450.00** | **$100.00** | **$1,050.00** | **$5,600.00** |

* ***Objetivo Estratégico 8: Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la LAN en materia administrativa***

Diversas circunstancias pasadas y presentes han ocasionado que los niveles de eficiencia administrativa en la gestión del recurso hídrico tengan importantes áreas de oportunidad para el incremento en cuanto a mejorar sus resultados. Acciones como la actualización del padrón de usuarios, conocimiento de patrones de consumo, macro y micromedición, asistencia al contribuyente y eficiencia en la aplicación de la legislación aplicable, marcan un entorno poco favorable para la lograr una gestión y administración óptima del recurso agua en la zona. Por ello, su atención reviste de importancia dado que representa el esfuerzo toral para poner en marcha diversos mecanismos de solución como los presentados en este documento.

1. Inversión requerida para el cumplimiento del Objetivo 8

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Descripción** | **2011-2012** | **2013-2018** | **2019-2040** | **Total** |
| **Actualizar periódicamente los padrones de usuarios y contribuyentes de las aguas nacionales** | **$130.00** | **$130.00** | **$390.00** | **$650.00** |
| Actualización del padrón de usuarios | $130.00 | $130.00 | $390.00 | $650.00 |
| **Establecer los mecanismos para llevar a cabo la medición de las aguas nacionales** | **$2,340.00** | **$2,340.00** | **$7,020.00** | **$11,700.00** |
| Colocación de medidores volumétricos | $2,340.00 | $2,340.00 | $7,020.00 | $11,700.00 |
| **Establecer mecanismos y herramientas de orientación y asistencia al contribuyente de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes** | **$200.00** | **$200.00** | **$600.00** | **$1,000.00** |
| Asistencia fiscal a los contribuyentes | $200.00 | $200.00 | $600.00 | $1,000.00 |
| **Fortalecer la aplicación de los mecanismos de control previstos en la Ley y vigilar la adecuada utilización de las asignaciones y concesiones de aguas nacionales y permisos de descargas de aguas residuales para propiciar un adecuado manejo y preservación del agua** | **$408.00** | **$408.00** | **$1,224.00** | **$2,040.00** |
| Inspección de usuarios de aguas nacionales y de cauces | $408.00 | $408.00 | $1,224.00 | $2,040.00 |
| **Incrementar la presencia fiscal y administrativa entre contribuyentes de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, mediante la práctica de visitas domiciliarias, además de las revisiones fiscales de gabinete que se practican** | **$200.00** | **$200.00** | **$600.00** | **$1,000.00** |
| Aplicación efectiva de la normatividad | $200.00 | $200.00 | $600.00 | $1,000.00 |
| **Revisar los esquemas recaudatorios en materia de aguas nacionales y particularmente de descargas de aguas residuales, para contribuir al saneamiento de las cuencas y acuíferos** | **$300.00** | **$300.00** | **$900.00** | **$1,500.00** |
| Incentivar programas recaudatorios que estimulan la inversión federal dentro del acuífero | $300.00 | $300.00 | $900.00 | $1,500.00 |
| **Total General** | **$3,578.00** | **$3,578.00** | **$10,734.00** | **$17,890.00** |

Inversión total requerida

Se establece que el costo total de las inversiones programadas para su ejercicio en un período de 30 años, resulta de 3,196 MDP. En términos porcentuales, el Objetivo 1 relacionado con el sector agrícola es el de mayor peso al alcanzar prácticamente el 39.4% del total. Posteriormente, los Objetivos 2 y 3, (agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como el manejo de cuencas, respectivamente), se ubican en el segundo y tercer lugar de inversiones. Estos tres objetivos en su conjunto requieren el 79.79% de las inversiones totales, lo que representa en valores monetarios, 2,550 MDP.

Las acciones no estructurales (representadas por los Objetivos 4, 5, 6, 7 y 8) los cuales garantizan la coordinación y cooperación de todos los actores, dado que se presentan como eje toral del cual depende la viabilidad de todos los proyectos. Su costo económico de implantación es comparablemente menor a los anteriores, 645 MDP (20.20%).

1. Inversión total requerida para el cumplimiento de los Objetivos del Plan de Manejo

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Objetivo | Huamantla | Libres-Oriental | Perote-Zalayeta | HLOP | Total |
| 1 | Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola | $451,640.00 | $669,164.00 | $139,360.00 |  | $1,260,164.00 |
| 2 | Incrementar el acceso y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento | $103,941.00 | $279,617.00 | $68,173.00 | $462,608.00 | $914,339.00 |
| 3 | Promover el manejo integrado del agua en cuencas y acuíferos | $105, 870.00 | $149,645.00 | $120,485.00 |  | $376,000.00 |
| 4 | Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico | $92,235.00 | $92,235.00 | $95,030.00 |  | $279,500.00 |
| 5 | Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura del buen uso | $109,910.00 | $116,208.00 | $94,749.00 |  | $320,866.00 |
| 6 | Prevenir los riesgos derivados de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos |  |  |  | $22,000.00 | $22,000.00 |
| 7 | Evaluar los efectos del cambio climático e hidrológico global y local |  |  |  | $5,600.00 | $5,600.00 |
| 8 | Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la LAN en materia administrativa |  |  |  | $17,890.00 | $17,890.00 |
|  | Total General | $863,596.00 | $1,306,868.00 | $517,736.00 | $508,098.0 | $3,196,359.00 |

1. Inversión total requerida para el cumplimiento de los Objetivos del Plan de Manejo (por periodo)

|  | Objetivo | 2011-2012 | 2013-2018 | 2019-2040 | Total |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola | $68,899 | $249,948 | $896,317 | $1,260,164 |
| 2 | Incrementar el acceso y la calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento | $200,227 | $333,796 | $380,315 | $914,339 |
| 3 | Promover el manejo integrado del agua en cuencas y acuíferos | $25,066 | $72,500 | $275,733 | $376,000 |
| 4 | Mejorar el desarrollo técnico, administrativo y financiero del sector hidráulico | $18,633 | $55,900 | $204,967 | $279,500 |
| 5 | Consolidar la participación de los usuarios y la sociedad organizada en el manejo del agua y promover la cultura del buen uso | $21,391 | $65,373 | $234,102 | $320,866 |
| 6 | Prevenir los riesgos derivados de los fenómenos meteorológicos e hidrometeorológicos y atender sus efectos | $3,596 | $4,388 | $14,016 | $22,000 |
| 7 | Evaluar los efectos del cambio climático e hidrológico global y local | $4,450 | $100 | $1,050 | $5,600 |
| 8 | Crear una cultura contributiva y de cumplimiento a la LAN en materia administrativa | $3,578 | $3,578 | $10,734 | $17,890 |
|  | Total General | $345,841 | $833,283 | $2,017,234 | $3,196,359 |

Beneficios e impactos

Entre los beneficios e impactos del presente Plan de Manejo, se tiene que: en el ámbito hidrológico, el plan reducirá la sobreexplotación; en términos socioeconómicos, el plan promueve la valoración del agua, la reorientación de subsidios y el incremento de la utilidad total de la actividad agrícola y el freno al incremento de costos debidos a la sobreexplotación; en términos ambientales el proyecto propone restablecer el equilibrio hidrológico y así evitar el agotamiento del agua en éste medio, sin omitir la protección de la calidad del agua.

Implementación

En términos de implementación, se propone la aplicación modificada del Círculo de Mejora Continua (Planear, Realizar, Verificar y Actuar), tomando en cuenta la ejecución de Acciones preliminares, Principales y de Apoyo.

A partir del diagnostico respectivo, se evaluaron diversas estrategias tendientes a resolver en el inmediato, corto, mediano y largo plazo, las problemáticas más sobresalientes. Esta actividad se ve reflejada en la Matriz de Planeación en la cual se detalla el conjunto de actividades necesarias para cumplir el Objetivo General.

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

1. El aprovechamiento de agua subterránea ha reducido progresivamente las descargas verticales del acuífero HLOP a través de las lagunas de El Carmen y El Salado, con grandes cambios en éstas, que se han vuelto estacionales y cada vez más de formación más esporádica.
2. Los acuíferos de HLOP, se encuentran en una cuenca susceptible a los procesos de desertificación, que han sido acelerados por deforestación, cambio de uso de suelo y desecación de los lagos. La pérdida de la reserva subterránea se refleja también en lagos cráter, que de ser ocho originalmente, en la actualidad quedan seis y uno está por desaparecer.
3. El acuífero de Libres – Oriental, dentro de sus límites oficiales, cuenta con una porción localizada al Oriente del Pico de Orizaba, misma que carece de una relación hidrogeológica con la Cuenca de Oriental. El acuífero de Perote – Zalayeta, en su zona norte, presenta una zona que carece de aprovechamientos y presenta importantes condiciones de recarga, además de las descargas propias del acuífero hacia el Acuífero Martínez de la Torre.
4. En general, los tres acuíferos presentan una tendencia de abatimiento lenta, siendo el abatimiento medio ponderado regional de 0.37 m/año.
5. La elevada permeabilidad de los suelos y la gran extensión del acuífero Libres – Oriental, conjugada con la moderada tasa de abatimiento, hace que durante años con lluvias extraordinarias el acuífero tenga importantes recuperaciones que se concentran en las áreas lacustres, zonas de descarga que dan origen a las lagunas.
6. En la década de 2000 a 2009, la superficie agrícola de riego tuvo un comportamiento estable en general -excepto en el estado de Tlaxcala-, donde se presentó una reducción de la superficie. Dadas estas condiciones, la demanda inercial del sector agrícola es actualmente a la baja.
7. El acuífero Libres–Oriental aun cuando presenta una reserva almacenada cuantiosa y con un moderado ritmo de abatimiento, el sistema hdrológico de su cuenca es susceptible a una gran sensibilidad a los abatimientos.
8. Dado que los tres acuíferos presentan en general un abatimiento, se concluye que existe un desequilibrio en su balance, sin embargo, actualmente ese desequilibrio tiene sus principales efectos en el medio ambiente y en las captaciones someras.
9. Por medio de políticas de manejo del acuífero por zonas, y con diversas acciones sobre la demanda, será posible recuperar en un mediano plazo condiciones en el acuífero similares a las observadas en la primera década de los años noventa.
10. El análisis de precipitación para los últimos 30 años en los acuíferos de Huamantla y Libres–Oriental, presenta una tendencia a la baja, que puede tener una relación directa con la situación de los lagos, que progresivamente han sido secados.
11. Se estima que la extracción total actual del acuífero, asciende a poco más de 334 millones de metros cúbicos, cifra que supera en casi cien millones el volumen concesionado, esta tasa de aprovechamiento tiende a mantener secas las lagunas y a mantener un ritmo de abatimiento en el futuro.
12. La sobreexplotación histórica ha tenido efectos mínimos o nulos en los pozos profundos, mientras se carece de un registro de norias o aprovechamientos someros afectados, de manera que el sobrecosto económico causado, es por mucho inferior al valor económico de la producción lograda a través del aprovechamiento de aguas subterráneas. Igualmente, estos abatimientos no han causado a la fecha fallas, fracturas, colapso de pozos ni daños de cualquier índole a la infraestructura.
13. Debido a que en la actualidad el acuífero presenta ya una respuesta de abatimiento ante el aprovechamiento de las aguas subterráneas, cualquier proyecto de trasvase de aguas desde la Cuenca de Oriental hacia otras cuencas externas, causaría un gran desequilibrio ambiental en la cuenca, así como un progresivo deterioro en la calidad de los suelos y del agua.
14. Las alternativas de uso eficiente del agua, representan por sí solas, medidas suficientes para la estabilización del acuífero, esto sin necesidad de recurrir a otras alternativas para el manejo de la demanda, como son: el reuso, el banco de derechos de agua y la recarga artificial de acuíferos.

## Recomendaciones

1. En las áreas próximas a las lagunas y a los lagos cráter, es conveniente reducir el aprovechamiento de aguas subterráneas, ya que impactan directamente sobre las lagunas. Dichas lagunas a su vez debe instrumentarse mediante piezómetros.
2. En los sitios próximos a las áreas de descarga de manantiales, es igualmente inconveniente construir nuevas captaciones, que pueden interferir con la afluencia de flujo subsuperficial.
3. Es conveniente detener el abatimiento de los niveles piezométricos en cada uno de los acuíferos.