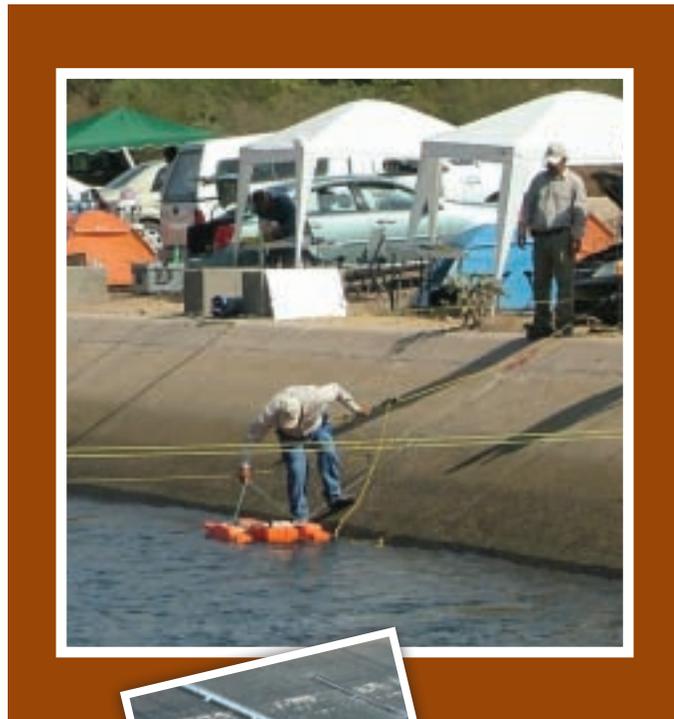


# Innovación y desarrollo tecnológico



## Técnicas de aforo en canales

En el canal de la presa Josefa Ortiz de Domínguez, Sin., se hizo un estudio experimental para evaluar y promover el uso correcto de las técnicas de aforo en canales más modernas existentes en el mundo, con un especial interés en los medidores de efecto Doppler. En el experimento se establecieron los criterios principales para la medición de caudal bajo la técnica de área velocidad (ISO 748) y las prácticas de buen uso para los nuevos equipos de ultrasonido, ya sea de efecto Doppler o tiempo de travesía. Para dar certidumbre a los resultados, durante la prueba se conformó un grupo de trabajo con personal de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y del Centro Nacional de Metrología. El grupo realizó sus evaluaciones en forma coordinada con los especialistas técnicos de empresas desarrolladoras de equipos de medición. Como resultado, se cuenta con una propuesta metodológica basada en una serie de procedimientos y prácticas para mejorar la selección, instalación y buen uso de equipos de medición en canales de riego en México. Con ello, se contribuirá significativamente al uso eficiente del agua.





## Actualización geohidrológica de la cuenca del lago de Pátzcuaro

Se desarrolló un estudio de actualización geohidrológica de la cuenca y caracterización de la interacción hidráulica del sistema acuífero con el lago de Pátzcuaro. Fueron aplicadas diversas metodologías, de las cuales destacan las caracterizaciones hidrogeológica, geoquímica, isotópica y la modelación matemática del funcionamiento conjunto lago-acuífero. La geoquímica mostró una clara evolución en el enriquecimiento de sodio y potasio del agua de recarga a medida que fluye lateral y verticalmente en el acuífero. Esta evidencia, en concordancia con la red de flujo subterráneo, indica que el acuífero sustenta al lago. La modelación matemática reproduce los niveles observados en el lago y los registros piezométricos del agua subterránea, con un grado de precisión aceptable. Asimismo, indica que el acuífero tiene una enorme capacidad de regulación a largo plazo y disponibilidad de agua subterránea factible de ser aprovechada sin incidir en el comportamiento hidrológico actual del lago.

Niveles del lago.



Modelación matemática.



Biofiltro sobre lecho orgánico.

## Sistema de biofiltración, estado de Morelos

El IMTA desarrolló un sistema de biofiltración para tratamiento de agua residual municipal, con capacidad de 1.5 l/s, en Cuentepec, Temixco, para la Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente (CEAMA) de Morelos, la presidencia municipal de Temixco y la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI). El proceso fue elegido con base en los bajos costos de operación y mantenimiento del sistema, y en la facilidad de manejo de este tipo de planta de tratamiento, además de generar un efluente de excelente calidad fisicoquímica y microbiológica, que cumple con la normatividad vigente. La planta será construida con fondos de la CDI y de CEAMA durante el año 2008, como una primera fase para el saneamiento integral de ese municipio.

## Sistema de alerta al riego, gobierno de Chihuahua

Con objeto de coleccionar y procesar información para alerta al riego, generar estadística hidroagrícola y mejorar la operación de zonas de riego, se adaptó y transfirió el *Sistema de Alerta al Riego ICAM-RIEGO* (Información de Campo y Administrativa en los Módulos de Riego), con financiamiento de las asociaciones civiles, el gobierno del estado de Chihuahua y la Conagua, en diez módulos del distrito de riego 005 Delicias (72,000 ha), en un módulo del distrito de riego 042, Buenventura (16,000 ha) y en un módulo del distrito de riego 089 El Carmen (8,000 ha) ubicados en Chihuahua.

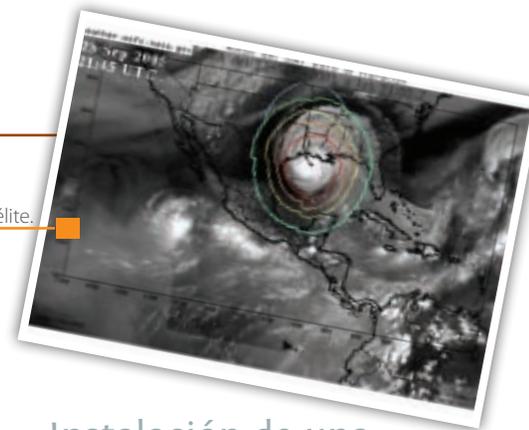


Componentes del sistema ICAM-Riego.

Mapas de satélite.

## Optimización de *software* para alerta, Centro Nacional de Prevención de Desastres

En 2004, para el Centro Nacional de Prevención de Desastres se elaboró un *software* para calcular en forma automática las regiones y el tipo de alerta ante la amenaza de un ciclón tropical en nuestro país. Dicho *software* fue utilizado durante las temporadas 2005 y 2006 por personal de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación como auxiliar para la emisión de los boletines de alertamiento por ciclón tropical. Para mejorar el sistema, durante 2007 se incorporaron nuevas herramientas, entre las que se cuentan: redimensionamiento de los mapas para visualizar todos los sistemas presentes, superposición de los mapas de alertamiento con imágenes de satélite y pronóstico de precipitación a través del análisis de ciclones análogos en tiempo real.



## Instalación de una vivienda ecológica para la captación y almacenamiento de agua de lluvia

Para ofrecer una opción de vivienda ecológica, autosuficiente en agua, saneamiento y energía, se diseñó y construyó una casa ecológica en las instalaciones del IMTA. La casa está edificada con materiales naturales e integra tecnologías apropiadas para la captación y almacenamiento de agua de lluvia, tratamiento de agua residual negra y gris, la desinfección del agua para consumo con cajas solares, el riego de huertos familiares con fines de producción agrícola para autoconsumo, el bombeo mediante bicibombas y el abastecimiento energético por medio de paneles solares. Se utilizará con fines de validación de tecnologías y capacitación.

Vivienda ecológica.





## Desinfección de agua mediante fotocatalisis solar, adaptación de tecnología

En el contexto de los estudios de fotocatalisis para el tratamiento y desinfección de agua se trabajó con la desinfección de agua para consumo humano utilizando el equipo autónomo de energía solar, desarrollado en España por Aosol Energías Renovables, S.A. La fotólisis (exposición solar directa) demostró una efectividad cercana a 40% en la inactivación de las bacterias coliformes fecales, aplicando 2 h de recirculación. En pruebas efectuadas con dióxido de titanio adsorbido en anillos de vidrio, material desarrollado en el IMTA, la eficiencia de desinfección fue de 90%, con el material en el fondo de los reactores y 4 h de recirculación. Dada la limitada eficiencia obtenida, se modificó el arreglo de anillos en forma de una barra recubierta de anillos en espiral. En este arreglo la concentración de dióxido de titanio equivale a 41 mg/l del catalizador, concentración con la que ya se

Equipo autónomo de energía solar.



ha demostrado la inactivación de los coliformes fecales. Con los anillos en arreglo en espiral, se obtuvo una efectividad de 100% para la inactivación de coliformes fecales y totales en noventa minutos de recirculación. En las mismas condiciones, se obtuvo una reducción de 99% de los microorganismos mesófilos aerobios mediante 3 h de recirculación. Debe tomarse en consideración que dichas pruebas fueron realizadas en el mes de diciembre, que se caracteriza por una baja energía radiativa. Estos resultados permiten concluir que la desinfección en equipos autónomos en operación continua es posible, así como la remoción de microorganismos resistentes como los mesófilos, responsables del recrecimiento observado en SODIS (*solar disinfection*) y en fotólisis.

## Tecnologías para desalinización de agua de mar

### Energía solar para desalinización

El IMTA desarrolló una tecnología que utiliza la energía solar para desalar agua de mar o salobre con una capacidad de 10 l/d. El equipo ocupa un área de 6 m<sup>2</sup>. El sistema desarrollado remueve hasta un 99% de sólidos disueltos totales (SDT), y se obtuvieron mejores eficiencias de producción que los sistemas solares convencionales (3.3 l/m<sup>2</sup>/d versus 2.5 l/m<sup>2</sup>/d). Por otro lado, en búsqueda de otras alternativas para desalación, se encontró, que la planta acuática *Najas marina* vive en ambientes con SDT mayores a 2 g/l, y se demostró que soporta salinidades hasta 5 g/l y llega a remover un 30% de la sal presente en el agua.

## Laboratorio de membranas y desalinización

Se adquirieron todos los equipos necesarios para implementar el laboratorio más completo en México y América Latina para realizar autopsias de membranas y hacer pruebas de desalinización de agua salobre y de mar, utilizando plantas piloto de: filtración en arena, desinfección, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa. Se podrán diagnosticar fallas en equipos de membranas para toma de decisiones, evaluación de la integridad, presión, efectividad y eficiencia de las membranas, así como diseñar los trenes de tratamiento con información generada in situ y brindar asesoría en la operación y mantenimiento de los equipos.



Equipo piloto móvil de microfiltración y ultrafiltración.

## Remoción de arsénico en agua para consumo humano

En el Instituto se optimizó el diseño y la operación de un reactor de electrocoagulación para remover arsénico en agua para consumo humano. El proceso permite producir un coagulante por disolución de electrodos de sacrificio mediante el paso de una corriente eléctrica a través de los electrodos. Las pruebas a flujo continuo en una planta piloto de 6.5 l/min compuesta por floculador, sedimentador y filtración en arena-antracita, han permitido remociones mayores al 96% de arsénico en agua con concentraciones iniciales de 100, 200, 300 y 500  $\mu\text{g/l}$ . Los costos de operación se estiman en  $\$1/\text{m}^3$ , pero se requiere hacer pruebas con un piloto de mayor gasto para escalar los resultados.

## Tratamiento de aguas residuales

Se desarrolló un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales de fraccionamientos o casas habitación para un caudal de 3-5 l/min, con base en los resultados de los estudios del funcionamiento de los biofiltros sumergidos usando diferentes empaques sintéticos. El prototipo se encuentra en fase de evaluación para patentarse y comercializarse.



Prototipo de biofiltro sumergido.

## Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero por aguas residuales

Se hizo el inventario de emisiones de gases de efecto invernadero 2005, por el tratamiento y descarga de las aguas residuales domésticas en las instancias estatal y nacional. A partir del inventario, se concluye que estos factores representan el 4% de las emisiones nacionales y que uno de los principales son las fosas sépticas. En este sentido, los principales contribuyentes son los estados de Campeche, Tabasco y Yucatán. Este resultado será una aportación a la Cuarta Comunicación Nacional a la Convención Marco sobre Cambio Climático.

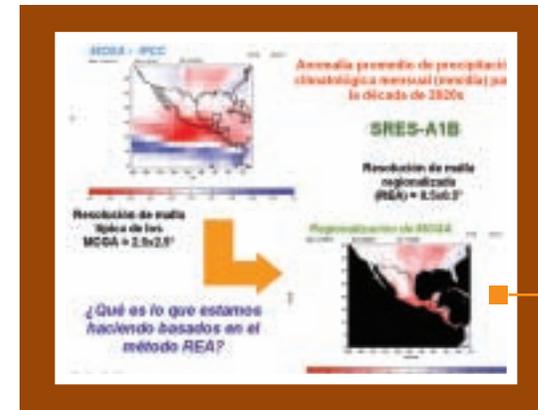
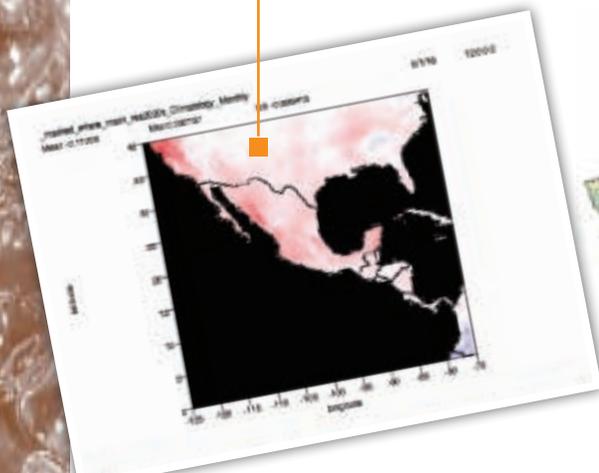




## Evaluación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México

### Escenarios climáticos

El grupo de trabajo conformado en el IMTA generó y analizó una serie de escenarios climáticos con una escala de  $0.5^\circ$  (*downscaling*), cinco veces más precisa que la del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés); inició la aplicación de modelos lluvia-escorrentamiento para estimar los cambios en la intensidad y magnitud de los escurrimientos; aplicó modelos de manejo de gestión para evaluar ante diferentes escenarios los cambios en los requerimiento hídricos de los cultivos en la cuenca del río Conchos; realizó estudios para estimar posibles cambios en el nivel del mar y en la dinámica física de embalses; desarrolló un modelo preliminar con un enfoque geoestadístico para correlacionar la temperatura oceánica y la precipitación continental, y comenzó una serie de estudios para caracterizar los cambios en los patrones de los fenómenos hidrometeorológicos extremos. A raíz de este esfuerzo se publicó un primer libro y se concluyó la redacción de un segundo, que se publicará el primer semestre de 2008.



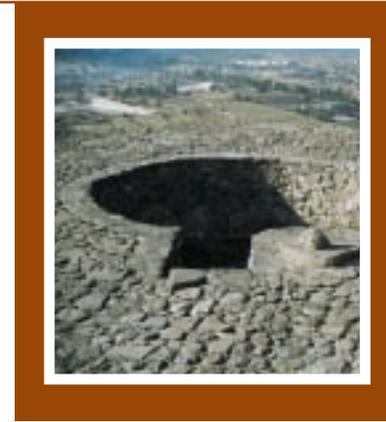
Método REA.

### Análisis de modelos disponibles

Por otra parte, para determinar con mayor certidumbre los impactos del cambio climático en el sector hídrico en México, se hizo un análisis sobre la validación y reducción de escala del total de modelos disponibles (23) que participaron en el Cuarto Reporte de Evaluación (CRE) del IPCC, evaluadas como las mejores herramientas para estimar los posibles cambios en el clima global en las próximas décadas. Un problema en estudios de impacto es que la resolución espacial de estos modelos es muy burda (del orden de  $250 \times 250$  km, aproximadamente) y se hace necesario un procedimiento de reducción de escala adecuado. En este trabajo se implementó el método *Reliability Ensemble Averaging* (REA) para regionalizar las estimaciones de cambio climático de precipitación y temperatura en superficie en México, dada para el conjunto de los 23 modelos. Los resultados finales se obtuvieron para los escenarios SRES-A1B y SRES-A2 en el siglo XXI, y se convirtieron a una malla regular de  $0.5 \times 0.5^\circ$ . El método REA toma en cuenta dos criterios de fiabilidad: el desempeño del modelo en reproducir el clima actual (criterio de desempeño) y la convergencia de los cambios simulados entre modelos (criterio de convergencia).

## Irrigación, hidráulica y simbolismo del agua en el México prehispánico

Las civilizaciones mesoamericanas se desarrollaron bajo un modelo agrícola original, innovando técnicas de irrigación y obras hidráulicas que, aunque existen similitudes con otras culturas, marcan un patrón de civilización distinto al del viejo mundo. Bajo la tesis de que el agua, la tierra y el maíz son los elementos sustantivos que estructuraron a los pueblos mesoamericanos y sustentaron sus formas de gobierno, procesos cognitivos, desarrollos tecnológicos y sistemas de representación semiótica, se desarrolló un estudio antropológico en varias zonas arqueológicas en México. Con base en este estudio, se elaboró un documental que muestra un panorama general del conocimiento hidráulico mesoamericano: sistemas y técnicas de irrigación, dispositivos y tecnología de abastecimiento de agua dulce.



El Tezcotzingo, complejo sistema hidráulico construido por Nezahualcóyotl.

## Estudio para identificar formas de obtención de agua en comunidades rurales aisladas

En tres municipios marginados de México: Metlatónoc, Santos Reyes Yucuná y Tlalnepantla, pertenecientes a Guerrero, Oaxaca y Morelos, respectivamente, se llevó a cabo una investigación para analizar las formas que los habitantes utilizan para la obtención de agua para consumo humano. Se definieron teóricamente las estrategias sociales como una serie de acciones que define un grupo social con el propósito de satisfacer sus requerimientos y necesidades domésticas relacionadas con el uso del agua (aseo e higiene personal, preparación de alimentos, etcétera.). Estas estrategias suponen conductas de asociación, intercambio y cooperación –mercantiles y no mercantiles– orientadas a satisfacer o superar sus carencias de agua; conductas de consumo del recurso agua, basadas en sus necesidades; conductas de ahorro del agua; elaboración, reelaboración y reproducción de las reglas de interacción cooperativa que facilitan, permiten, prohíben u obligan a un uso diferente del recurso. Entre las estrategias que establecen las comunidades marginadas para la obtención de agua se identificaron: la organización comunitaria (inmediata e incipiente) para la búsqueda de alternativas que contribuyan a la solución del problema; la organización sexo-familiar para el acarreo de agua; la implementación de tecnologías rústicas para la captación (generalmente de agua de lluvia); la definición de una estrategia mercantil para la obtención de agua; y la generación de capacidad autogestiva para la obtención de obras o recursos.

## Programa de indicadores de gestión de organismos operadores (PIGOO)

En México hay alrededor de 1,200 organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento, de los cuales 389 atienden a ciudades con más de veinte mil habitantes. Cada año la Conagua publica la situación del subsector correspondiente, que contiene información referente a coberturas del servicio, inventarios, recaudación e inversiones generadas, entre otros. Se requiere sin embargo de un esquema de evaluación global del desempeño de los organismos, de la calidad del servicio, y de su gestión comercial e institucional. Por esta razón, resulta necesario evaluar, en una muestra de organismos, la evolución en el tiempo del proceso mencionado, a través de indicadores estratégicos representativos. Ante esta situación, la Presidencia de la República encargó al Instituto el seguimiento del impacto de los programas a nivel país mediante la implantación de una batería mínima de indicadores que permita evaluar la evolución del proceso en 52 organismos operadores, mediante indicadores anuales.

