



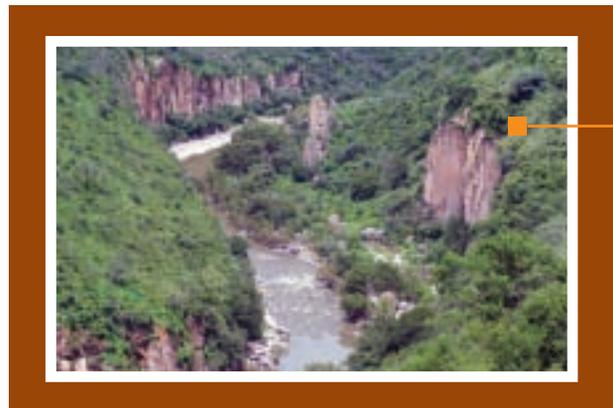
Asesoría y servicios tecnológicos

Colaboración con la Comisión Nacional del Agua

Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico

Ante la necesidad de aumentar el abastecimiento de agua potable al área metropolitana de la ciudad de Guadalajara, la ciudad de León y varias localidades de los Altos de Jalisco, la Conagua ha planteado la necesidad de construir las presas El Zapotillo y Arcediano que funcionarán en conjunto con la presa El Salto, ya construida. El IMTA hizo los estudios conducentes para determinar el gasto firme de extracción del sistema a partir del funcionamiento en cascada de los vasos. Para calcular el nivel de aguas máximas ordinarias se determinó el escurrimiento anual disponible mediante la metodología establecida por la Conagua en la norma NOM-011-CNA-2000. Se analizaron elevaciones de la corona de la cortina de la presa El Zapotillo de 1,630 a 1,655 msnm (la elevación del fondo del río es de 1,550 msnm) y para cada elevación se realizó el funcionamiento en cascada considerando las presas El Zapotillo y Arcediano con descarga libre y controlada, y la presa El Salto con descarga libre. Las dos alternativas que ofrecen mayor gasto firme del sistema son: 1) considerar las tres presas con vertedor con descarga libre, El Zapotillo con longitud de cresta del vertedor de 200 m y altura de cortina de 105 m, con lo cual se tiene un gasto firme de 15.186 m³/s considerando las aportaciones del Río Verde

y del Santiago y, 2) considerar El Zapotillo con vertedor controlado con una altura de cortina de 105 m y longitud efectiva de la cresta del vertedor de 65 m, Arcediano y El Salto con vertedor de descarga libre, con lo que el gasto firme del sistema aumenta a 15.483 metros cúbicos por segundo.



Evaluación del Programa Agua Limpia

El Instituto evaluó el Programa Agua Limpia del ejercicio fiscal 2007. Se concluyó que el Programa debe continuar y fortalecerse, ya que permite llevar a cabo operativos preventivos de saneamiento básico y desinfección de agua en localidades de alta y muy alta marginalidad, así como la atención de emergencias, prevención y control del cólera.



Comportamiento hidráulico del canal colector, para el gasto máximo de descarga $Q=557.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Vertedor de la obra de excedencias de la presa Coyotes, Sinaloa

Se realizó un estudio teórico-experimental del vertedor de la obra de excedencias de la presa Coyotes, en el río del mismo nombre, en Concordia, Sin. El proyecto considera abastecer de agua potable a unos 12,000 habitantes de cuatro comunidades y suministrará riego a 500 ha. Mediante un modelo físico escala 1:24 construido en el laboratorio Enzo Levi se determinó la necesidad de modificar la longitud de cresta del vertedor de 70 a 100 m, y el ancho de plantilla del canal colector de 7 a 12 m. Los ajustes representan cambios sustantivos en el proyecto y garantizan su buen funcionamiento una vez construida la obra. Debe resaltarse la importancia de la modelación física en este tipo de proyectos, ya que estos ajustes solamente pueden ser detectados y analizados a través de estudios experimentales en laboratorios especializados.

Instrumentación de puntos de control en la red principal de canales de diversos distritos de riego

Dentro del Programa de Mejoramiento de la Medición en los Distritos de Riego, iniciado en 2003, intervino el IMTA para respaldar técnicamente la instrumentación de 52 puntos de control en la red principal de canales de diversos distritos de riego del país. De esta manera, se participó en la definición de los puntos de medición y en la selección de los equipos, así como en la verificación de su adecuada instalación. Todo ello se hizo de forma coordinada con cinco organismos de cuenca: Balsas, Río Bravo, Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico Norte y Baja California. Los equipos instalados cumplen los requisitos específicos indicados en las normas internacionales ISO/IEC, con lo que la confiabilidad de la medición en México, realizada bajo este esquema, satisface los estándares internacionales.



Elaboración de normas técnicas en materia de agua

En el contexto del programa de elaboración de normas técnicas hidrológicas, el IMTA elaboró seis normas: *Cálculo del daño esperado por inundaciones*, *Estudios topohidráulicos en cauces y vasos*, *Método sección-velocidad para determinar el caudal en corrientes superficiales*, *Método sección-pendiente para determinar el caudal en corrientes superficiales*, *Tránsito de avenidas: método hidrológico*, y *Escurrimientos naturales o vírgenes ante escenario de cambio climático*. Estas normas, en una primera etapa, serán de uso exclusivo de la Conagua y, en una segunda, serán de apoyo a los organismos, empresas, instituciones y personal relacionado con el sector que se dedica a la investigación y elaboración de proyectos de infraestructura hidráulica. El conjunto de normas es de gran importancia, ya que constituye el inicio de la conformación de un manual y, a la vez, contribuye al desarrollo de la normativa en materia de agua en el país.

Se elaboró una norma para caudal de corrientes superficiales.





Estimación de riesgos de contaminación de agua y sedimentos por uso de agroquímicos

El IMTA desarrolló la primera etapa de un estudio para estimar el riesgo de contaminación de agua y sedimentos por uso de agroquímicos en el Distrito de Temporal Tecnificado 018 Huixtla, Chiapas. Para ello, se realizó el inventario del uso de agroquímicos y un diagnóstico preliminar de su afectación en agua y sedimentos. Los resultados indican que entre los plaguicidas aplicados, el 2,4-D y la atrazina ocupan los primeros lugares con 66 y 57 t/año, respectivamente. Por su parte, el paraquat se aplica en cantidades de 21 t/año, es persistente, tóxico y se acumula poco en la materia orgánica del suelo, lo cual indica un mayor riesgo de contaminar a los cuerpos de agua. Se encontraron metabolitos de DDT en concentraciones que exceden los criterios ecológicos para sedimentos en la desembocadura del río Coatán, así como clordano y metabolitos de DDT en agua en la desembocadura del río Huixtla al estero Hueyate, aunque éstos no exceden la normatividad. Es importante mencionar que ambos plaguicidas actualmente están en desuso. Los parámetros medidos en campo muestran una clara afectación por las actividades agrícolas. Aunque los SDT en el agua se encuentran en niveles adecuados para uso y consumo humano, es interesante observar que su concentración en norias es superior a las medidas en agua superficial y de pozo. Se recomienda extender el muestreo de agua y sedimentos para incluir otras épocas del año, sobre todo después de la aplicación de agroquímicos.

Estudio de contaminación por agroquímicos, DTT 18 Huixtla, Chiapas.



Seguimiento a los cambios por la disminución del caudal por la construcción de la presa El Zapotillo, Jalisco

Para la realización del proyecto sobre infraestructura hidráulica, la Ley General de Equilibrio Ecológico establece el cumplimiento de las manifestaciones de impacto ambiental. Por lo anterior, se efectuó el estudio de las condiciones a las que se tiene que sujetar la presa El Zapotillo, Jal., antes, durante y después de su construcción, con la finalidad de evitar al máximo los impactos ambientales negativos y maximizar los positivos. Para ello, se desarrollaron los programas de Manejo y Monitoreo Ambiental, de Monitoreo y Acciones, y de Restauración de la Vegetación, en el sistema ambiental regional definido para la presa, así como el *Estudio de organismos indicadores de la calidad del agua en el Río Verde*, para el seguimiento a los cambios por la disminución del caudal aguas abajo de la futura cortina. El resultado final es un mapa del área de estudio en cuatro categorías de aptitud y de zonas sin aptitud, para el despliegue de actividades dirigidas a la restauración ecológica dentro del programa de manejo ambiental.

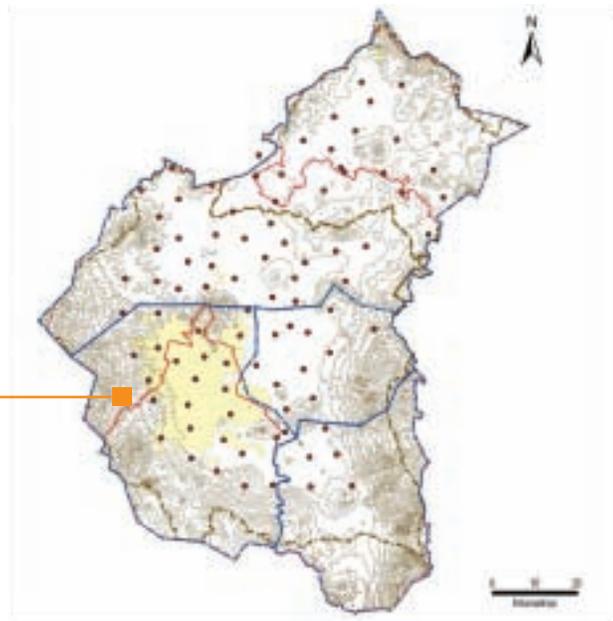
Inversiones de tecnificación del riego en el distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua

Con financiamiento del Banco de Desarrollo de América del Norte y bajo la supervisión de la Conagua, el IMTA realizó la evaluación del impacto de las inversiones de tecnificación del riego en el distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua. Se estimó un incremento en la eficiencia global del 14%; el volumen ahorrado, con base en el cálculo del

desempeño de distritos de riego considerando el año 2002 como referencia y en relación al 2007 es del orden de 174 hm³. El incremento de la producción fue de 13%, la relación costo-beneficio pasó de 1.11 a 1.70, la producción del agua de 1.10 a 1.73 kg/m³ y la productividad del agua de 1.89 a 4.87 pesos por metro cúbico.

Optimización de las redes de monitoreo piezométrico de cuatro acuíferos

El Instituto desarrolló para el Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México un estudio con el fin de optimizar las redes de monitoreo piezométrico y proponer pozos complementarios a la red de control de la calidad del agua subterránea para los acuíferos de la zona metropolitana



de la ciudad de México, Texcoco, Chalco-Amecameca y Cuautitlán-Pachuca. En 2005, la red de monitoreo piezométrico estaba compuesta de 221 pozos de los cuatro acuíferos. Combinando métodos geoestadísticos, de optimización y criterios geohidrológicos se obtuvo una red óptima de 89 pozos piloto para los cuatro acuíferos, lo cual significa una reducción en costo del 60% con respecto al costo de monitoreo de 2005. Por su parte, la red óptima de calidad del agua propuesta quedó integrada con 75 pozos para los cuatro acuíferos.

Planes directores para la modernización integral del riego de distritos de riego

El IMTA formuló los planes directores para la modernización integral del riego de los distritos de riego 018 Colonias Yaquis, 041 Río Yaqui y 084 Valle de Guaymas, Son.; 048 Ticul, Yuc.; 060 Pánuco (El Higo), Ver., y 098 José María Morelos, Mich. Para cada uno de los casos se elaboró un diagnóstico de la situación actual y perspectivas, un SIG, una propuesta de modernización integral y el análisis socioeconómico de la misma.

Para el distrito de riego 018 la propuesta de tecnificación a nivel parcelario considera la nivelación de tierras en 750 ha, 200 ha con tuberías de compuertas, 400 ha de sistemas de riego presurizado, 100 ha con drenaje subterráneo y el revestimiento de 10 km de regaderas. A nivel de la red de conducción, la rehabilitación de 15 km de canales y 38 estructuras de control y medición. La inversión requerida para la modernización es de \$87.22 millones. El análisis costo-beneficio genera una tasa interna de retorno de 16.5%, una relación costo-beneficio de 1.32 y un valor actual neto de \$18.83 millones.





Para el distrito de riego 041 la propuesta de tecnificación a nivel parcelario considera la nivelación de tierras en 4,875 ha, 7,782 ha de sistemas de riego presurizado, 1,985 ha con drenaje subterráneo y el revestimiento de 37 km de regaderas. A nivel de la red de conducción se plantea el revestimiento de 192 km de canales, la rehabilitación de 15 km de canales, 305 estructuras de control y medición, 624 tomas granja y 140 obras de toma, la rehabilitación de diez represas, 10 km de drenes, la modernización y automatización de 150 pozos y la construcción de diez cárcamos de bombeo. Asimismo, la rehabilitación de las válvulas de la presa Álvaro Obregón y el sistema de alumbrado en la cortina de la presa. La inversión requerida para la modernización es de \$527.52 millones. El análisis costo-beneficio genera una tasa interna de retorno de 15.5% y una relación costo-beneficio de 1.42.

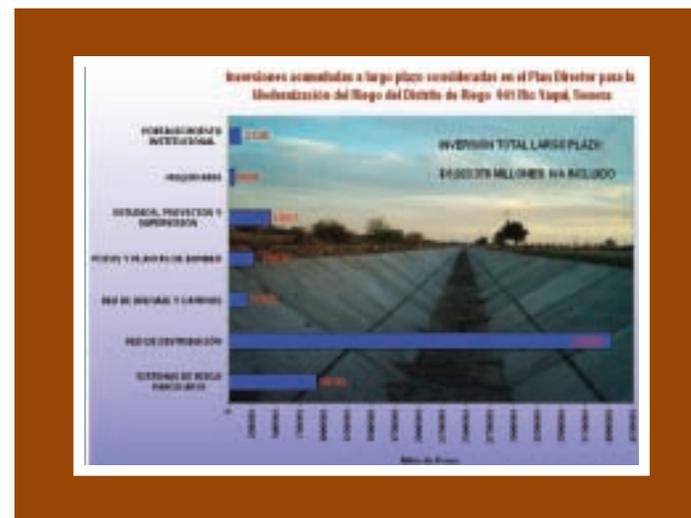
En el distrito de riego 084 las acciones propuestas se concentran en la instalación de sistemas de riego, rehabilitación de equipos de bombeo e instalación de medidores. El monto de la inversión asciende a \$180 millones, con lo cual se espera ahorrar un volumen de agua de 14.7 hm³ para lograr el uso sustentable del acuífero. El análisis costo-beneficio demuestra la viabilidad de la propuesta con \$60.3 millones de valor presente neto, una relación costo-beneficio de 1.77 y una tasa interna de retorno de 17.12 por ciento.

Para el distrito de riego 048 la propuesta de tecnificación considera la modernización y rehabilitación de la superficie total del distrito (9,870 ha) con sistemas de gravedad, aspersión y multicompuertas, mediante sistemas de alta eficiencia de goteo y microaspersión. La inversión de la propuesta asciende a \$182 millones. El análisis costo-beneficio genera una tasa interna de retorno de 26.2%, una relación costo-beneficio de 1.73 y un valor actual neto de \$172 millones.

Para el distrito de riego 060, la propuesta de tecnificación considera la modernización del riego por gravedad a presurizado de una superficie de 1,390 ha, y el entubado de 20.5 km de canales y regaderas. La inversión requerida para la modernización es de \$77 millones. El análisis costo-beneficio genera una tasa interna de retorno de 22.3%, una relación costo-beneficio de 1.8 y un valor actual neto de \$139 millones.

Para el distrito de riego 098, la propuesta de tecnificación asciende a \$185.8 millones e incluye la rehabilitación de canales, modernización de plantas de bombeo y tecnificación del riego. La evaluación económica demuestra la viabilidad de la propuesta de modernización con un valor actual neto de \$387.6 millones, una relación costo-beneficio de 2.25 y una tasa interna de retorno de 44.8 por ciento.

Inversiones acumuladas a largo plazo, DR 041, Río Yaqui, Sonora.



Evaluación de programas para el sector agrícola

Para la Subdirección General de Administración se llevaron a cabo las evaluaciones de consistencia y resultados del diseño de los programas de Desarrollo Parcelario, y de Rehabilitación y Modernización de Distritos de Riego; para el Organismo de Cuenca Balsas se evaluaron los programas Uso Pleno de la Infraestructura Hidroagrícola, Uso Eficiente del Agua y la Energía Eléctrica, y Rehabilitación y Modernización del Estado de Morelos, en los ejercicios presupuestales 2004 y 2005.

De acuerdo con las fortalezas de los programas, se considera que su diseño es robusto y están vinculados con el objetivo estratégico de la Semarnat sobre la mejora de la productividad en el sector agrícola, a través de propiciar un uso eficiente del agua en las actividades agrícolas que reduzca el consumo del líquido, al tiempo que proteja los suelos de la desalinización. Se analizaron los indicadores encontrándose que todos y cada uno de ellos cumple con las definiciones de las características de los indicadores señaladas en el Anexo Dos del oficio circular No. 307. A-1593, emitido por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

Análisis costo-beneficio del proyecto de construcción de la presa San Vicente Boquerón, Puebla

Con el fin de determinar la rentabilidad social de la construcción de la presa San Vicente Boquerón en la Región Balsas, se estimaron los beneficios sociales para el uso de

agua potable en las comunidades San Vicente Boquerón, Acatlán de Osorio, Rancho Nuevo y Tehuixtle. El proyecto se aprobó y servirá para determinar la construcción de la infraestructura hidráulica del lugar.

Colaboración con Petróleos Mexicanos

Tratamiento de agua para su reutilización en la recuperación secundaria de yacimientos de petróleo

Se realizaron trabajos para determinar el tratamiento requerido para el agua congénita de la Central de Almacenamiento y Bombeo, de Naranjos, Ver., y para agua de mar, con el fin de ser reutilizada en la recuperación secundaria de yacimientos de petróleo. Se hicieron muestreos para la caracterización específica del agua y se efectuaron pruebas, en laboratorio, de precipitación-coagulación-sedimentación, de oxidación y descarbonatación, de filtración y de adsorción.



Tanque de almacenamiento de agua congénita en la Central de Abastecimiento de Naranjos, Veracruz.





Diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados de la refinería Ing. Antonio M. Amor, Guanajuato

Se hizo un diagnóstico de la planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados de la refinería Ing. Antonio M. Amor, Salamanca, Gto., con la intención de mejorar la calidad del agua tratada y aumentar el caudal con propósito de reúso. Para ello, se rediseñó el sistema de aeración de los reactores biológicos, del digestor de lodos y del sistema de separación de grasas y aceite. Asimismo, y dada la naturaleza del agua residual, se realizaron pruebas para el pretratamiento de corrientes con alto contenido de sulfuros y fenoles, y se inició el desarrollo de una biomasa específica para altas cargas de los contaminantes antes mencionados. Por otra parte, se efectuaron pruebas para la eliminación de dureza, sílice y SDT con objeto de dar una conductividad adecuada al efluente y cumplir con los ciclos de concentración de las torres de enfriamiento, considerando únicamente como carga el agua residual tratada de refinería. Para garantizar la buena operación

de la planta, al personal operativo se le proporcionaron herramientas que le permitirán conocer el proceso de tratamiento a detalle, generar y aplicar programas de mantenimiento, de seguridad y de higiene, así como las herramientas teóricas y prácticas para la correcta operación de la planta bajo diferentes condiciones de carga.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Tecnologías apropiadas

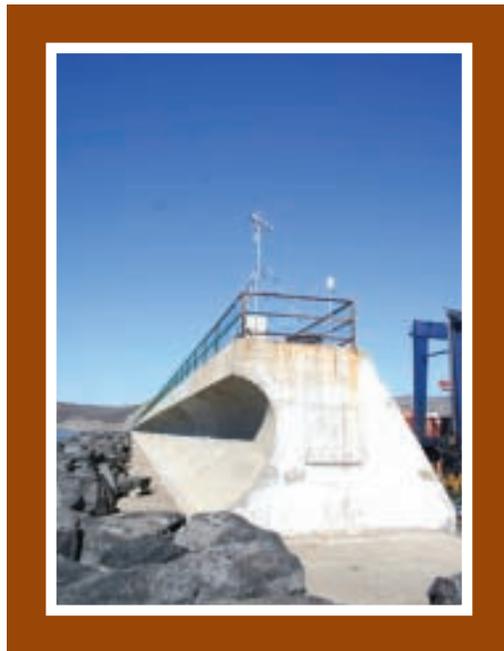
Con fines demostrativos se llevó a cabo un proyecto piloto, con tecnologías apropiadas en materia de agua, en la comunidad mazahua del ejido San Martín y Mesas de San Martín, municipio Villa de Allende, Méx. Bajo este esquema se transfirieron 15 paquetes compuestos por sistemas de captación de agua de lluvia, sistemas para el riego en huertos familiares, cajas de desinfección solar y lavaderos ecológicos. De esta manera, se dotó de infraestructura de agua y saneamiento a 78 personas.

Tecnologías apropiadas.



Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua

Se coordinó y dirigió el Programa de Uso Eficiente y Racional del Agua 2007, con intención de que las dependencias y entidades del gobierno federal ahorren agua. Participaron cincuenta dependencias, 60% más con respecto al año anterior, que fueron treinta, y se logró un 6.28% de ahorro de agua, equivalente a 79,023.7 m³. En promedio, en las instituciones se consumieron 30 litros/empleado/día, cifra que se encuentra dentro del objetivo establecido.



Red Nacional de Estaciones Meteorológicas y Oceanográficas.

Instituto Mexicano del Transporte

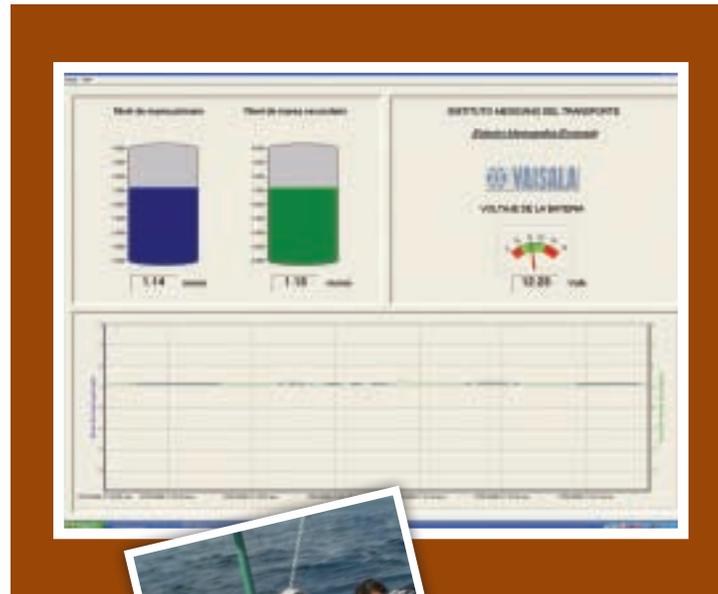
En la implementación de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas y Oceanográficas del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), y para contar con una mayor cobertura de monitoreo sobre los fenómenos meteorológicos y oceanográficos que se presentan regularmente en el océano Pacífico y en el Golfo de México, se creó un proyecto de colaboración para la adquisición, implementación y puesta en marcha de diez estaciones meteorológicas, diez boyas direccionales para medir oleaje, diez estaciones mareográficas y nueve sensores de presión para medir tsunamis. Por el océano Pacífico, los puertos marítimos propuestos son: Ensenada y San Felipe, B.C.; Guaymas, Son.; Topolobampo, Sin.; Manzanillo, Col., y Lázaro Cárdenas, Mich.; por el Golfo de México: Altamira, Tam., Coatzacoalcos y Dos Bocas, Ver., y Ceiba Playa, Cam. Para garantizar el funcionamiento y precisión de los sensores de las estaciones meteorológicas, previo a su instalación, se llevó a cabo un programa de calibración. Cada estación opera con transmisión de datos vía radio VHF, con sensores de visibilidad, temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar, magnitud del viento, dirección del viento y precipitación pluvial. Además, las estaciones tienen una capacidad de almacenamiento de datos de hasta cinco meses y un suministro de energía para operar hasta dos meses, en caso de recarga de batería por días nublados. Por otra parte, el oleaje es un proceso costero de gran importancia, pues afecta tanto a la navegación como a





comunidades y operaciones marítimas; adicionalmente, la morfología costera es modificada por los procesos litorales resultantes de la interacción del viento, oleaje, corrientes, mareas, sedimentos y otros agentes. Por lo anterior, resulta importante mantener una vigilancia constante sobre este fenómeno a través de la red de boyas que conforma la Red Nacional. Para restablecer el banco de datos de la Red Mareográfica Nacional, se instalaron diez estaciones mareográficas; con dicho equipo se recibirá a tiempo real la información de las variaciones de marea en los puertos antes señalados. Finalmente, dado que el océano Pacífico y sus costas son las más vulnerables del país a tsunamis, se instalaron nueve sensores de presión y de nivel del mar que permiten dar la alerta de llegada de estos fenómenos.

Medición de niveles de marea, Ensenada, B.C.



Medición de temperatura ambiente.



Sanitario ecológico.

Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro con el patrocinio de la Fundación Gonzalo Río Arronte

Transferencia de tecnologías apropiadas

Como parte del Programa se transfirieron tecnologías apropiadas a trece comunidades de la cuenca: San Pedro Pareo, La Vitela, Huecorio, Urandén de Carián, Santa Isabel Ajuno y San Juan Tumbio, en Pátzcuaro; Sanambo, en Quiroga, y La Providencia, Los Cerritos, El Pedregal, El Sobrado, La Reunión y Tupátaro, en Huiramba. Con dichas tecnologías se tendrá capacidad para almacenar, aproximadamente, 3,058,000 litros de agua; 1,710 litros de agua por día desinfectada, apta para consumo humano. Con el Sistema de Aprovechamiento de Agua para Cultivo, se contará con un área aproximada de 20,808 m² para huertos productivos, con los lavaderos ecológicos se tendrá capacidad para tratar diariamente 53,800 litros de aguas grises y con los sanitarios ecológicos se tiene capacidad para tratar diariamente 61,200 litros de aguas negras.

Humedales

En el marco de los proyectos realizados con la Fundación, se concluyó la instalación y comenzó la operación del humedal para el tratamiento de las aguas residuales de la localidad de Erongarícuaro, Michoacán. Con ello, se favorece la conservación y la recuperación de la cuenca del lago de Pátzcuaro y se mejoran las condiciones sanitarias de la localidad.



Zona de servicio en el distrito de Itzi Huriata.

Planta de tratamiento Las Garzas, rehabilitada.



Calidad del servicio de agua potable e incremento de la cobertura de alcantarillado sanitario en zonas urbanas

En la ciudad de Pátzcuaro se optimizó la calidad del servicio a través de mejoras en la infraestructura de la red de distribución, lo que permitió incrementar los horarios de suministro a 8 h diarias, en promedio, beneficiando a veinte mil habitantes con un mejor servicio de agua. Asimismo, se incrementaron las eficiencias comercial y física en tres sectores de la ciudad: Huecorio, Itzi Huriata y Revolución, con lo que se logró aumentar los ingresos en 17%, aún sin incremento a la tarifa, así como elevar la eficiencia física en 2.5 por ciento.

En esa misma ciudad y con objeto de reducir las descargas de aguas crudas municipales al lago, se incrementó la cobertura de alcantarillado sanitario y se llevó a cabo la rehabilitación de las plantas de tratamiento de San Pedrito y las Garzas, todo ello con el fin de garantizar el tratamiento de más de 100 l/s de aguas residuales. El esfuerzo incluyó la adecuación y modernización de la infraestructura civil, así como del equipamiento hidráulico y del sistema eléctrico, además de realizar una serie de adecuaciones de los talleres y laboratorios, y rehabilitar los equipos electromecánicos. Esta actividad se complementó con la elaboración de manuales de operación y mantenimiento, con capacitación de personal y la generación de un esquema tarifario para la recuperación de costos. También, se elaboraron los proyectos ejecutivos para la interconexión de colectores en la calle Ignacio Zaragoza y de las descargas domiciliarias en el río Guani. Con la operación integral de esta infraestructura, se estará en condiciones de tratar más del 60% de las aguas residuales que emanan de las zonas urbanas en la cuenca del lago de Pátzcuaro.

En la ciudad de Quiroga se efectuó la inspección física y la conformación de dos distritos hidrométricos. Como resultado de estas acciones, al rehabilitar la infraestructura hidráulica y reparar fugas, se recuperaron 22 l/s en pérdidas, la eficiencia física se incrementó en 5.2% y la recaudación se elevó un 50 por ciento.





Tecnología conservacionista de agua, suelo, bosque en la cuenca

Se promovió la aplicación de tecnología conservacionista de agua, suelo, bosque en la cuenca. Para ello, se seleccionaron ocho microcuencas prioritarias que abarcan una superficie de 28,500 ha. Se realizaron 25 km de zanjas de infiltración, con las cuales se infiltran en promedio 225 m³ de agua por ha; 75 km de cercos vivos con especies maderables de cedro; 134 ha de reforestaciones compactas con preparación del terreno, alcanzando prendimientos del 90% y estimando una sobrevivencia del 40% después de la época de secas; 2 ha de abonos verdes para mejoramiento de la estructura del suelo y aumento de su resistencia a la erosión; dos silos pastel para suplemento alimenticio del ganado para así disminuir la presión sobre los montes, y plantación de 5,000 árboles frutales en traspatio. Para el control de azolves en cárcavas se construyeron 406 m³ de represas de costales, 400 m³ de represas de geocostales, 943 m³ de represas de piedra acomodada y 963.3 m³ de represas de gaviones; el impacto de estas últimas obras se refleja en la retención de 12 m³ de azolves, en promedio, en cada una de ellas por ciclo de lluvias. La estrategia de trabajo participativa permitió la generación de diez mil jornales como empleo temporal para los productores. Se instaló un módulo para reproducir especies vegetales que apoyarán los trabajos conservacionistas, iniciando con el pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*), planta utilizada en la estabilización de laderas. Este módulo se transformará en un Centro Regional Reprodutor de Material Vegetativo para la cuenca.



Recuperación ambiental de la cuenca.

Colaboración con el estado de Morelos

Planes estratégicos para la recuperación ambiental de la cuenca del Apatlaco

Con el fin de contribuir en la atención y atenuación de la problemática hídrica que afecta las principales cuencas del país, el IMTA, bajo el patrocinio de la Fundación Gonzalo Río Arronte, desarrolló el Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Río Apatlaco. Se contó con la cooperación, colaboración y participación del gobierno del estado de Morelos, a través de la CEAMA; de la Semarnat, a través de su delegación federal en el estado; de la Comisión Nacional Forestal; de la Dirección de Cuenca Balsas de la Conagua; de los diez municipios del estado que comparten territorialmente la cuenca, y de la población civil organizada.



Tecnologías apropiadas

Se determinó la factibilidad técnica y económica para efectuar proyectos hidroagrícolas y de potabilización y saneamiento con tecnologías apropiadas en nueve comunidades de los Altos de Morelos. Se identificaron los sitios y las tecnologías apropiadas para cubrir las necesidades de abastecimiento de agua, producción de alimentos, saneamiento y tratamiento de agua, así como la elaboración del análisis costo-beneficio.

Sistemas de potabilización y de tratamiento de agua

Se rediseñó y rehabilitó la planta potabilizadora del ejido Ajuchitlán, construida por la CEAMA, para abastecer de agua a trescientos habitantes mediante el tratamiento del agua de la presa El Vivero. El sistema es por filtración en múltiples etapas para un caudal de 1 l/s. El agua de la presa presentó valores que exceden los límites permisibles de la NOM 127-SSA1-1994 para uso y consumo humano en turbiedad, color, coliformes totales, coliformes fecales y aluminio.

Operación y mantenimiento de la red agroclimatológica

Con la finalidad de ofrecer a la comunidad agropecuaria de Morelos la información agrometeorológica que le permita optimizar los recursos para mejorar la competitividad y sustentabilidad de las cadenas agroalimentarias y agroindustriales, el IMTA se encargó de la ampliación de 17 a 23 estaciones agroclimatológicas automáticas. La eficiencia en la operación de la red durante 2007 fue del 98% y únicamente se han tenido fallas en la transmisión de los datos debidas a vandalismo (dos estaciones) y mal funcionamiento de los equipos de transmisión (dos estaciones), los cuales han sido reparados oportunamente. Con estas labores de mantenimiento se garantizó el funcionamiento de todas las estaciones agroclimatológicas y la obtención de los datos cada 15 minutos para su almacenamiento, difusión y disponibilidad a todo público a través de la página web <http://galileo.imta.mx/FUPROMOR>. Con la medición constante de las principales variables meteorológicas se apoya principalmente al sector agrícola, al proporcionarle la información necesaria para mejorar los métodos de producción y prevención ante el clima adverso.



Colaboración con el estado de Guerrero

Proyectos ejecutivos para tecnificación

Para la Dirección Local de la Conagua, el gobierno del estado y las asociaciones civiles de usuarios del riego se elaboraron los proyectos ejecutivos para tecnificación, mediante redes colectivas en baja presión y sistemas parcelarios de multicompuertas de las siguientes unidades: Juan Catalán Berbera, Tixtla (453 usuarios en 280 ha); Ahualulco, Tetipac (50 usuarios en 100 ha) y la unidad de Pilcaya (429 usuarios en 500 ha). Los beneficios potenciales que generará la construcción de los sistemas de riego colectivo a baja presión consisten en una operación sin uso de energía eléctrica en Tixtla y Pilcaya, incremento del 12% de la productividad del agua y aumento de la eficiencia de la red de conducción, cercana al cien por ciento.





Rehabilitación del dren Cucuyachero y manejo de la laguna El Tular

Para el Organismo de Cuenca Pacífico Sur y el gobierno estatal se elaboró el proyecto ejecutivo para la rehabilitación del dren Cucuyachero y se analizaron alternativas para el manejo de la laguna El Tular, en el distrito de riego 095 Atoyac de Álvarez. Entre los resultados destacan la recomendación para resolver la situación legal de los terrenos de la laguna antes de realizar nuevas obras de infraestructura, y la urgencia de lograr un acuerdo entre los protagonistas sociales para resolver el tema de la apertura de la barra entre ganaderos y pescadores. También, se aconseja no unir el dren Fonseca, aguas abajo del distrito de riego, con el estero Cucuyachero, por el posible daño ecológico en la laguna y el peligro de sodificación de suelos. Además, se propone el dragado del paso del embarcadero hacia las palapas, lo cual implica un costo de \$959,236, con el objetivo de que puedan transitar las embarcaciones cuando se abra la barra.

Colaboración con el Estado de México

En el Estado de México se inició un Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Cuenca de Valle de Bravo. Por otra parte, se desarrolló un Plan de Manejo Ambiental para el distrito de riego Los Insurgentes.

Colaboración con varios estados

Se proporcionó asesoría en administración, operación y conservación a 945 usuarios y técnicos de unidades de riego y sociedades de responsabilidad limitada en Durango, Morelos, Nuevo León y Veracruz, así como en la elaboración del material didáctico; asimismo, en la organización y protocolización de cuatro sociedades de responsabilidad limitada en Morelos, Nuevo León y Veracruz.

Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado, Sonora

Se prestó asistencia técnica para la supervisión de los trabajos del sector hidrométrico número uno, mediante el cual se ha iniciado el proceso de sectorización y la consecuente mejora de la operación, reducción de costos y bases para iniciar su programa de reducción de agua no rentable. Asimismo, se realizó el diagnóstico técnico del sistema de distribución del Golfo de Santa Clara, Son., administrado también por el organismo operador, donde se generaron opciones para mejorar la calidad del servicio ante la llegada de la infraestructura hotelera y comercial, incluyendo la ubicación de nuevas fuentes y su incorporación a la red existente.



Supervisión del estado de las válvulas ubicadas en los límites del sector 4.



Medición de caudal y desfogue en el pozo número 10, distrito hidrométrico número 4.

Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, Baja California

El Instituto realizó un estudio para determinar la factibilidad de infiltrar al subsuelo 500 l/s de aguas residuales tratadas de la ciudad de Tijuana. La zona en estudio se ubica entre el rancho Santa Anita, la presa Abelardo L. Rodríguez y el Valle de las Palmas, B.C. Para cumplir con el objetivo, se hicieron: treinta sondeos transitorios electromagnéticos, el censo de aprovechamientos, la nivelación de veinte brocales, nueve pruebas de infiltración, la caracterización geoquímica en treinta aprovechamientos de agua subterránea y cuatro pruebas de bombeo. La caracterización geoquímica indica que en la zona septentrional del acuífero los niveles de salinidad son muy altos y se observan concentraciones relativamente elevadas de nitrato en el agua subterránea, lo que sugiere que la infiltración de los retornos de riego constituye un importante proceso de salinización del agua subterránea. Por las pruebas se encontró que el acuífero del Valle de las Palmas tiene una alta capacidad de infiltración, lo cual permitiría recargar un flujo de 500 l/s. Sin embargo, no se recomienda dicha recarga debido a los altos niveles de salinidad que presenta el acuífero.



Estudio de factibilidad en Tijuana.

Organismo de Cuenca Península de Baja California, gobierno del estado y Sociedad de Responsabilidad Limitada del DR 014 Río Colorado

El IMTA elaboró un estudio para analizar las alternativas de tecnificación y la propuesta de solución para contrarrestar los efectos del hundimiento del canal Nuevo Delta, garantizar el servicio de riego, reducir los riesgos por colapso de la infraestructura, reducir los volúmenes de agua aplicados y aumentar la utilidad neta de los productores. Se analizaron cinco alternativas de tecnificación: 1) reubicación del trazo del canal Nuevo Delta, 2) plantas de bombeo en combinación con los canales sublaterales actuales para conducir el agua por gravedad, 3) plantas de bombeo en combinación con redes colectivas de baja presión y riego parcelario por gravedad, 4) plantas de bombeo en combinación con redes colectivas de alta presión y sistemas de riego presurizado en las parcelas y 5) plantas de bombeo en combinación con redes colectivas de alta presión, sistemas de riego presurizado en las parcelas y reconversión de cultivos. Se concluyó que la tercera alternativa presenta más ventajas potenciales, ya que beneficiaría a 2,514 usuarios en 33,000 ha; requeriría una inversión directa de \$ 298 millones; permitiría un incremento del nivel de tecnificación mediante una segunda etapa a riego presurizado, así como una reconversión gradual de cultivos en el corto plazo, y generaría un ahorro anual de agua de 3.413 hm³, en la primera etapa, y de 36.682 hm³ en la segunda.





Organismo de Cuenca Lerma- Santiago- Pacífico

Se realizó el inventario de 275 unidades de riego por bombeo, que cubren una superficie de 15,714 ha en un SIG de la cuenca Lerma-Chapala, subcuenca río Duero, bajo Lerma, incorporando datos de parcelación, canales, drenes, estructuras, caminos y maquinaria de conservación, así como la caracterización de los pozos de cada unidad de riego.

Organismo de Cuenca Frontera Sur

A lo largo de la cuenca del río Huehuetán se colocaron instrumentos en cuatro microcuencas de 2 ha cada una, bajo diferentes usos del suelo. Los instrumentos instalados fueron aforadores tipo H, limnógrafos, pluviógrafos clásicos y pluviómetros digitales para la medición de precipitación y escurrimiento en las mismas. Se midió el arrastre de sedimentos a la salida de la microcuenca. Los resultados muestran que la erosividad de la lluvia alcanzó, en la parte alta, un valor de $32,200 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1} \text{ año}^{-1}$, que representa uno de los más altos del país, por lo que resulta imperativo mantener siempre el suelo con cobertura vegetal. El índice de escurrimiento promedio fue de 0.0268 en la parte alta y 0.156 en la parte baja; el gasto pico para un evento fue de 118 lps en la parte alta y 344.4 lps en la parte baja. Estos últimos datos indican la importancia del uso del terreno en la infiltración del agua al suelo, ya que en la parte alta llueve mucho más y los escurrimientos fueron menores, correspondientes a un uso del suelo de cafetal bajo sombra densa y de pastizal bajo pastoreo con árboles de mango cada diez metros, en las partes alta y baja, respectivamente. En ambos casos, los suelos son migajones arenosos. En producción de sedimentos,

las concentraciones de sólidos en suspensión en la parte alta fueron de 0.274 g/l y de 0.693 g/l en la parte baja, con valores máximos de 0.768 g/l y 2.399 g/l en la parte alta y baja, respectivamente. Lo anterior ratifica el efecto protector de la cobertura vegetal sobre la pérdida de suelo, pues a pesar de que las lluvias fueron más altas en la parte alta, el desprendimiento del suelo es menor.

Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Se llevó a cabo una revisión técnica del comportamiento estructural e hidráulico del acueducto Grijalva-Nido de Águilas, incluyendo el análisis de los efectos transitorios derivados del arranque y paro de bombas. Asimismo, se realizó un proyecto integral para mejorar la distribución del agua en la ciudad; para tal fin se efectuó un análisis de la capacidad de la infraestructura actual, la aportación de $2 \text{ m}^3/\text{s}$ del acueducto y el anteproyecto de un acuaférico. Las recomendaciones derivadas contribuyen a los esfuerzos



Acueducto Grijalva-Nido de Águilas.

que hace el municipio para garantizar la cobertura de agua potable para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez durante los próximos 25 años, con lo que se cubren las necesidades de 1,200,000 habitantes.



Otra vista del acueducto Grijalva-Nido de Águilas.

Ayuntamiento de Puebla

Se realizó el proyecto ejecutivo para el diseño y construcción del sistema de tratamiento de agua de lluvia y distribución del agua tratada en San José Xacxamayo, Puebla. El sistema de tratamiento es del tipo filtración en múltiples etapas para un caudal de 1 l/s para abastecer de agua a una población de mil habitantes. El agua de lluvia captada y almacenada en la olla presentó valores que exceden los límites permisibles de la NOM 127-SSA1-1994 para uso y consumo humano en turbiedad, color, aluminio, coliformes totales y fecales.

Rentabilidad socioeconómica del Programa de Rescate Ecológico de los Ríos Atoyac, Alseseca y la Presa de Valsequillo, Puebla

Se estimaron, en una primera parte, los beneficios ambientales mediante una valoración contingente y los beneficios inmobiliarios debido al aumento en la calidad del agua, así como los beneficios agrícolas, por aumento en la oferta de agua. De esta manera, el proyecto permitió determinar los datos de diseño de las plantas de tratamiento y su ubicación en campo de manera óptima.

Comisión de Agua Potable y Alcantarillado, municipio de Apizaco, Tlaxcala

Con el objetivo de controlar la explotación intensiva del agua subterránea en la porción septentrional del acuífero Alto Atoyac, el IMTA desarrolló un estudio de actualización hidrogeológica que incluyó el cálculo del balance y la disponibilidad del recurso subterráneo. El acuífero en explotación es de tipo libre y se aloja en materiales granulares y volcánicos que presentan una gran heterogeneidad en sus propiedades hidráulicas. Los niveles estáticos varían de 3.0 a 172.8 m de profundidad en las inmediaciones de la Sierra de Tlaxco, hasta valores de 55.4 m hacia el sur de Apizaco. El volumen de extracción de agua subterránea es de 32 hm³/año, más 15.9 hm³/año de flujo lateral y manantiales, mientras que la recarga alcanza los 41 hm³/año, lo cual





indica un déficit de 2.1 hm³/año, en promedio, durante los últimos diez años. El sector que utiliza el mayor volumen de agua es el público-urbano, seguido del industrial y el agrícola. Considerando un volumen concesionado de 39 hm³/año, de acuerdo con el Registro Público de Derechos de Agua, se tiene una disponibilidad negativa de -12.89 hectómetros cúbicos al año.

Diagnóstico de los cambios generados en el ambiente acuático por la regulación del río Santiago

La comunidad de peces es una de las primeras en detectar los cambios producidos por la alteración de su entorno. En el río Santiago, los registros históricos señalan que se han colectado peces desde principios de siglo y que llegaron a registrarse en el tramo que va de la presa Santa Rosa hasta la presa San Rafael alrededor de 68 especies, incluyendo registros sobre los principales tributarios: ríos Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota. En varios tramos del Santiago, donde se colectaron dichas especies, actualmente ya no se localizan o disminuye su diversidad considerablemente. Además del deterioro de la calidad del agua, la fragmentación del ecosistema fluvial y la homogenización de las condiciones por la presencia de embalses han contribuido a la ausencia de especies en tramos importantes del río. En tributarios tales como el Huaynamota y el Bolaños se registraron ocho especies en total, presentándose especies nativas como la mojarra de río (*Cichlasoma beani*), la mojarra azul (*Lepomis macrochirus*), el bagre (*Ictalurus punctatus*) y otras especies reófilas como el matalote (*Moxostoma austrinum*). Las experiencias sobre la aplicación de medidas de mitigación y conservación de

ecosistemas fluviales tropicales son escasas; se requiere poner mayor énfasis en proteger estos ecosistemas para los cuales no existen normas, acuerdos o restricciones que promuevan su conservación.

Mapa de riesgo para microcuenca de la costa de Chiapas

Los deslizamientos o erosión por movimientos en masa son un serio problema en las cuencas altas de la costa de Chiapas, por lo que se aplicó un método derivado del enfoque pedogeomorfológico, el cual integra información de geoformas, uso del suelo, topografía, precipitación y geología. Mediante métodos estadísticos y álgebra de mapas (SIG) se obtuvo un mapa de riesgo de deslizamientos para una de las microcuencas instrumentadas en la parte alta, obteniéndose la clasificación siguiente: 76% de la cuenca sin riesgo, 21% con riesgo ligero, 2% con riesgo medio y 1% con riesgo alto.



Colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y el Colegio de Postgraduados

La cuenca del río Conchos, principal tributario del río Bravo y con una superficie aproximada de 65,000 km², se encuentra entre las regiones áridas del país donde se conjuntan una serie de procesos de degradación de los recursos naturales y de tendencias socioeconómicas que apuntan a la desertificación. Como parte de una investigación, coordinada por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y con la colaboración de edafólogos de El Colegio de Postgraduados (Colpos), se elaboraron indicadores sociales generales de población y actividades productivas para caracterizar la agricultura de riego y su relación con las condiciones del suelo. Se aplicó una encuesta socioeconómica a una muestra de agricultores de riego en las principales áreas de riego de la cuenca, en la cual se incluyeron los temas de principales prácticas productivas y la percepción sobre las condiciones del suelo agrícola. Esta información es un insumo para la elaboración de una tipología de productores de riego de acuerdo con una escala de desertificación que están construyendo investigadores del Colpos y del INE, y en la cual se vinculan los aspectos sociales con los edafológicos.

Remoción de arsénico en pozos de Mixco, Guatemala

Se realizaron pruebas de coagulación-floculación-sedimentación para remover arsénico en pozos de la ciudad de Mixco, donde se encontraron concentraciones de arsénico entre 0.13 y 0.16 mg/l, valores que se encuentran por encima de la norma guatemalteca para

agua de consumo humano COGUANOR 29 001:99, de 0.01 mg/l. Los resultados mostraron que con preoxidación, utilizando como coagulante el cloruro férrico con una dosis óptima de 12 mg/l y arcilla, se obtienen remociones de arsénico total del 90.91% y soluble del 100%. Se recomendó el proceso de clarificación convencional para la remoción de arsénico.

Aseguramiento de la calidad en el laboratorio de calidad del agua, IMTA

El laboratorio de calidad del agua mantuvo su acreditamiento ante la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C. (EMA) en 38 pruebas analíticas, y participó en una prueba de aptitud técnica coordinada por la Conagua con el objeto de renovar la aprobación del laboratorio en las pruebas acreditadas. Asimismo, se participó en una prueba de aptitud coordinada por el Centro Nacional de Metrología para dar cumplimiento a una de las políticas de la EMA, con resultados de aprobación.





Sector industrial y organismos operadores de agua

En el laboratorio de materiales del IMTA se realizaron 103 servicios de evaluación de medidores de agua de diferentes diámetros para atender las solicitudes del sector industrial y de organismos operadores de agua, y se renovó la acreditación ante la EMA para el 2008. Por otra parte, se desarrolló el proyecto ejecutivo e instalación de un nuevo Banco Modular Universal que permitirá la realización de pruebas con fines de certificación, basadas en las normas oficiales mexicanas asociadas con regaderas, fluxómetros, inodoros y válvulas de admisión, y descarga para tanques de inodoro.



Mapa de indicadores.



Banco Modular Universal.

Inversiones del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento

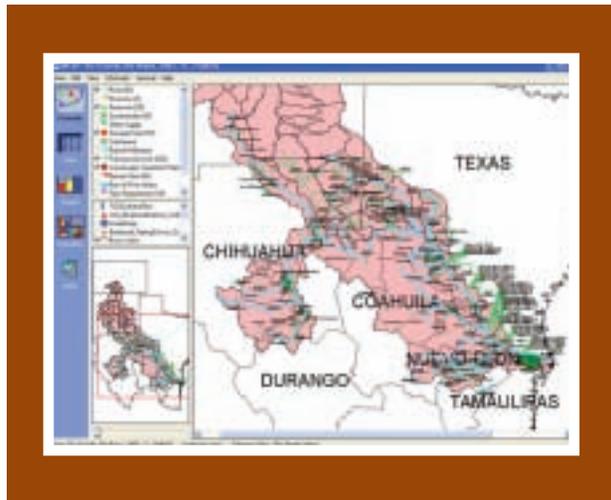
Se analizaron y jerarquizaron las inversiones del subsector mediante los indicadores asociados con sus metas programáticas, para así evaluar la eficiencia en la aplicación de sus recursos financieros.

Trabajos con componente internacional

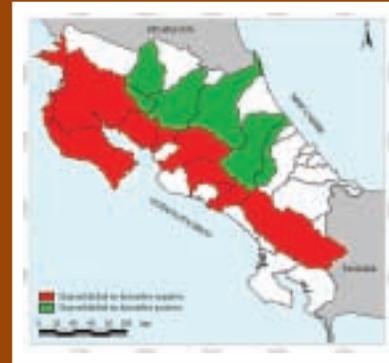
Desarrollo de bases de datos hidrológicos de cuencas fronterizas

Como parte de la integración del Sistema Nacional de Información sobre Cantidad, Calidad, Usos y Conservación

del Agua, a través del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua Conagua-Conacyt, el IMTA participa en un proyecto para el desarrollo de bases de datos hidrológicos que cubran toda la frontera empleando el modelo de datos *ArchHydro*, así como de sendos modelos de gestión y calidad del agua utilizando la plataforma *Water Evaluation and Planning System (WEAP)*, para las cuencas de los ríos Bravo, Colorado y Tijuana. Durante la primera etapa, realizada en 2007, se construyó una base de datos geográfica de la cuenca completa del río Bravo para hidrología superficial con formato *ArchHydro* e información hidrográfica para Estados Unidos de América escala 1:100,000 y, para México, escala 1:50,000, y puntos de monitoreo con información de hidrometría y climatología. Además, se implementó un modelo de gestión *WEAP* para la cuenca del río Bravo, desde el lago Elephant Butte, Nuevo México, hasta el Golfo de México, considerando exclusivamente agua superficial.



Formato del modelo de datos *ArchHydro*.



Balances hídricos mensuales en 15 cuencas de Costa Rica.

Balances hídricos de cuencas de Costa Rica

En asociación con la empresa canadiense Delcan, y con fondos del Banco Interamericano de Desarrollo, el IMTA hizo los balances hídricos mensuales en 15 de las 34 cuencas principales de Costa Rica, en condiciones actuales y bajo diversos escenarios de aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos. El Instituto aplicó, con aprobación del Ministerio del Ambiente y Energía de ese país latinoamericano, su metodología para la elaboración de balances hídricos ya publicada por el Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia, la Educación y la Cultura (UNESCO). Los resultados obtenidos en cada una de las 15 cuencas hidrográficas, expresados en términos de la disponibilidad de agua superficial y recarga de agua subterránea, serán utilizados como insumo en la formulación del Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de Costa Rica. La participación del IMTA en América Central, transfiriendo la experiencia en balances hídricos por cuenca hidrográfica, es un paso importante en la incursión a nuevos mercados tanto en América Central como en América del Sur.

