

# Tecnología Hidrológica

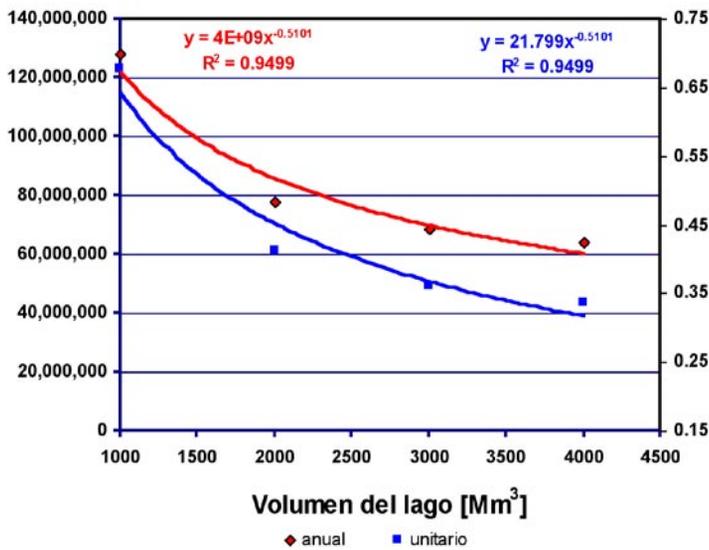
## Hidrología subterránea

Con el fin de cuantificar el riesgo de contaminación del agua que se almacenará en la presa Arcediano, Jal., el IMTA llevó a cabo una evaluación de los estudios ambientales y de saneamiento para la CEAS Jalisco. Para ello, se muestrearon cinco sitios ubicados a lo largo del cauce del río Santiago, en los que se midieron 15 parámetros de campo y tomaron muestras de agua y sedimento para análisis de metales, plaguicidas clorados, bifenilos policlorados e hidrocarburos poliaromáticos. Los resultados indican que los metales y contaminantes orgánicos tóxicos ocurren en concentraciones que no comprometen la calidad del agua después de su potabilización. Aunque el nivel de fosfatos en la región rebasa los criterios ecológicos para agua como fuente de abastecimiento, no representa un riesgo para el consumo humano. Por otro lado, se reconstruyó el historial del aporte de metales al río durante las últimas cuatro décadas a partir de resultados químicos e isotópicos de un perfil de sedimentos de 3.5 m de profundidad; se encontró que las concentraciones de manganeso, níquel, cobre y zinc se han incrementado con el tiempo, mientras que la concentración de arsénico ha disminuido; otros metales permanecen sin variación. Para prevenir la eutroficación del vaso de la presa, se recomienda implementar controles a las descargas no puntuales en toda la cuenca. Asimismo, se debe reforzar el programa de identificación de descargas industriales y el pretratamiento del agua antes de mezclarse con aguas residuales municipales. Por otra parte, es conveniente monitorear la cantidad y calidad del azolve en la presa para asegurar la adecuada calidad del agua como fuente de abastecimiento.



MUESTREO DE UN PERFIL DE SEDIMENTOS

Con apoyo de los fondos sectoriales Semarnat-Conacyt, el IMTA llevó a cabo el proyecto *El lago de Chapala y su entorno ecosocial, en el periodo 2003-2006*, cuyo objetivo fue desarrollar una matriz de contabilidad social que permita analizar el impacto económico derivado de la variación del nivel del lago. Para ello, se desarrolló en *VisualBasic el Modelo de simulación ecológica y social (Moses)*, el cual facilita la estimación del valor económico del agua almacenada en el lago para diversos escenarios de manejo del propio recurso. El modelo incluye una matriz insumo-producto, cuya característica principal es el registro de las transacciones de los sectores productivos, así como sus interrelaciones e impactos en la demanda final (consumidores). Con esta herramienta, los usuarios potenciales del Moses: la Semarnat, la Conagua, el INE, la CEAS Jalisco y el Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala, entre otros, podrán calcular el valor del lago como ecosistema y su relación como sustento en la economía de la región, lo que permitirá afrontar con mayor certeza la gestión integral del agua en la cuenca Lerma-Chapala.



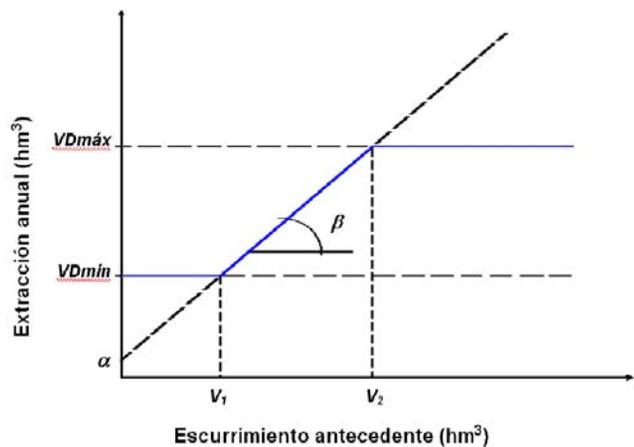
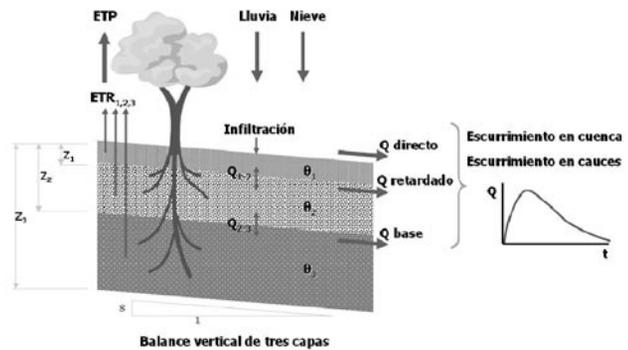
COSTO DE POTABILIZACIÓN PARA DIFERENTES VOLÚMENES DE AGUA EN EL LAGO DE CHAPALA

A solicitud de Pemex Refinación se elaboró un estudio para restaurar los suelos, el subsuelo y el acuífero contaminados por hidrocarburos en la refinería Ing. Héctor R. Lara Sosa, Cadereyta, NL. Los trabajos desarrollados incluyeron la identificación de las fuentes generadoras de infiltración de hidrocarburos mediante métodos geofísicos, y la construcción de cinco pozos de bioventeo para restaurar la zona vadosa contaminada con hidrocarburo residual, así como la rehabilitación y operación del sistema de 12 pozos de extracción y de bioventeo que se encuentran en el acuífero.

Para continuar con los trabajos de restauración ambiental de la Unidad Minera Industrial Tuxtla Gutierrez (UMIT), Ver., Pemex Gas encomendó al IMTA la elaboración del proyecto ejecutivo y las bases de licitación para el tratamiento fisicoquímico de residuos de hidrocarburos y su aprovechamiento en la estabilización del material utilizado en las vías de acceso a la unidad minera. Para cumplir con este trabajo, se llevó a cabo la revisión, inspección y verificación de las vías de acceso y áreas contaminadas, así como el levantamiento topográfico de las mismas. Asimismo, se hicieron estudios de mecánica de suelos y de tráfico vehicular. Los resultados del proyecto indican que los residuos de los hidrocarburos podrán utilizarse en el encarpado de las vías de acceso a la UMIT, disminuyendo así los riesgos de contaminación a los diferentes cuerpos de agua de la zona.

## Aprovechamientos hidráulicos

Con objeto de dar cumplimiento a la revisión anual obligatoria establecida en el Convenio de Concertación para la Distribución de las Aguas Superficiales de la Cuenca Lerma-Chapala, se exploraron nuevas opciones. Así, se variaron las garantías para la entrega de los volúmenes concesionados al riego, modificando los límites máximos y mínimos garantizados, con la condición de mantener el nivel en el lago de Chapala por encima del mínimo establecido; de esta manera, se obtuvieron reglas para la asignación del agua a la pequeña irrigación de acuerdo con el escurrimiento anual antecedente generado en cada subcuenca. En el análisis de las nuevas políticas, se encontró que al incrementar la garantía el volumen entregado disminuye y se incrementa el déficit y, en algunos distritos, la capacidad de regulación de los almacenamientos no permite garantizar el 50% pactado originalmente ni extraer el volumen concesionado sin incurrir en déficit. Para probar el comportamiento del sistema al aplicar la Política Óptima Conjunta bajo la ocurrencia de otras



POLÍTICA DE ASIGNACIÓN TÍPICA

series de lluvias, se obtuvieron series sintéticas de precipitación diaria de sesenta y 120 años mediante una nueva metodología basada en estados ocultos de Markov; al simular con estas series se encontró que únicamente una de las series de sesenta años presenta descensos en el lago por debajo de los 1,000 hm<sup>3</sup>. Por otra parte, se cuantificó la capacidad de almacenamiento de la pequeña irrigación empleando técnicas de percepción remota, lo que arrojó un volumen total estimado de 1,241 hectómetros cúbicos.

Como resultado de los procesos de negociación para construir el acuerdo que culminó con la suscripción del convenio antes citado, quedó de manifiesto la necesidad de fortalecer la capacidad de todos los actores que forman parte de los grupos de trabajo encargados de construir acuerdos consensuados en materia hídrica. Para ayudar a cubrir esta necesidad, el IMTA desarrolló una guía que orienta y apoya a quienes llevan a cabo procesos de negociación en los espacios de concertación que han sido definidos para ello en la Ley de Aguas Nacionales; esto es, los consejos de cuenca, los comités de agua superficial y los acuíferos, entre otros. La guía contiene una introducción al marco institucional mexicano e identifica algunos elementos que detonan conflictos por el agua en nuestro país. Posteriormente, plantea una serie de pasos lógicos a seguir para efectuar un proceso de negociación, haciendo hincapié en la mediación como una forma específica para el efecto. Además, sugiere diversas herramientas analíticas, como los modelos de simulación y optimización, y los sistemas de información geográfica para la toma de decisiones, así como técnicas de participación social. La guía tiene un carácter de orientación, ya que cada conflicto requiere de un diagnóstico específico que permita implementar una estrategia adecuada para resolverlo.

En colaboración con el Organismo de Cuenca del Río Balsas, se completó la segunda etapa del modelo dinámico de gestión coordinado con el modelo hidrológico distribuido para la cuenca. La primera etapa, en 2005, cubrió la parte alta de la cuenca hasta la presa El Caracol, con 52,000 km<sup>2</sup>, y la segunda etapa, en 2006, cubrió la cuenca hasta su desembocadura, con 117,000 km<sup>2</sup>. Estos modelos permiten determinar el balance hídrico superficial y subterráneo por cuencas y acuíferos, así como formular y explorar diversos escenarios de manejo del agua con base en la problemática de la

región, tales como: el incremento en la cobertura de agua potable y en su eficiencia, la transferencia de agua a otras cuencas, el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua para riego agrícola, la reducción de la sobreexplotación de acuíferos en la parte alta de la cuenca y la limitación a nuevas concesiones de agua, o bien, su reducción para uso en la generación de energía eléctrica, entre otros escenarios.

En lo que respecta a la participación con los gobiernos de los estados, la CEAS Jalisco y el IMTA establecieron un convenio de colaboración para desarrollar por etapas, en un horizonte de tres años, el sistema de soporte para la gestión integral del agua en la cuenca de aportación de la presa Arcediano, cuyo fin es apoyar el mejor aprovechamiento de la obra que abastecerá de agua potable a la ciudad de Guadalajara y su área metropolitana. En la primera etapa del proyecto se implantó un modelo hidrológico distribuido de la cuenca del sitio Arcediano, que tiene una superficie drenada de 25,724 km<sup>2</sup>. Este modelo genera series diarias multianuales del escurrimiento directo, retardado y base que se produce en cientos de unidades hidrológicas relativamente homogéneas (UH), así como los hidrogramas en los tramos de la red de corrientes y los cuerpos de agua superficial. Asimismo, se generan diversos mapas temáticos, gráficos y tablas de variables hidrológicas que se pueden exportar. El modelo hidrológico desarrolla, para cada UH y, en cada intervalo diario, seis procesos de simulación con base en datos fisiográficos y meteorológicos, así como en los parámetros de los procesos. Cuatro de los procesos simulan el flujo vertical del agua en la UH y los otros dos el flujo horizontal; la calibración se hace con el apoyo de un procedimiento de optimización de parámetros que requiere la incorporación de características y series históricas de operación de los 15 embalses principales, actividad que se continúa en conjunto con la CEAS Jalisco.

## Hidrometeorología

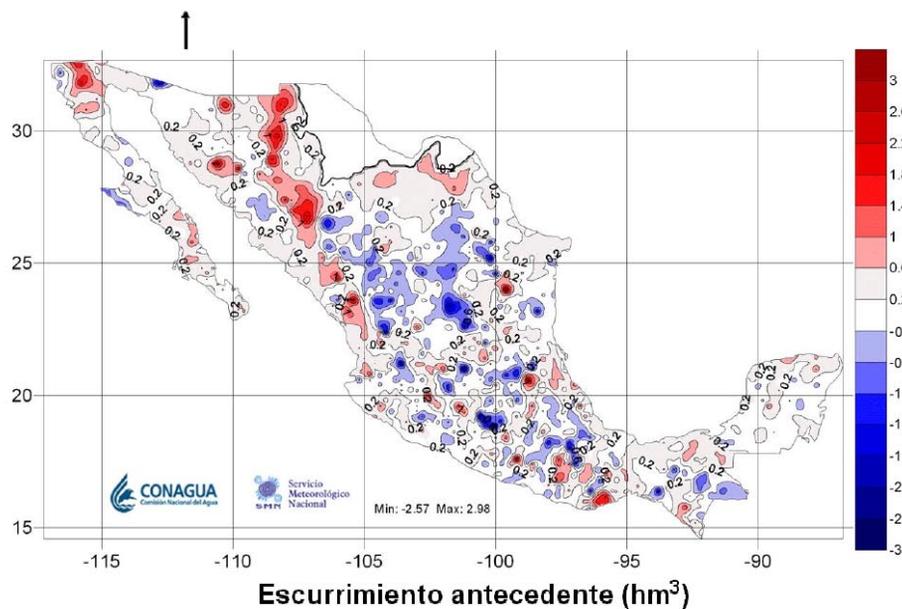
En apoyo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se elaboró un *Atlas climatológico* para el periodo 1961-2000. La información que se utilizó para este fin se obtuvo de la base de datos *MAYA1* del propio SMN. Para la elaboración de las cartas climatológicas se utilizaron herramientas

estadísticas básicas con las que se definieron las distribuciones máxima, mínima y media anuales para todas las variables climatológicas de las que se tiene registro: temperatura, precipitación, estado del cielo, neblina, granizo y tormentas eléctricas. El atlas incluye un total de 168 productos climatológicos que son requeridos por el SMN, entre los que se encuentran la distribución espacial de lluvia y temperatura bajo forzamientos de escala global, como los fenómenos de El Niño y La Niña. Además de estos resultados, se encontró que existen variaciones climáticas que se manifiestan a través de un calentamiento en el norte y un enfriamiento en el centro y sur del país.

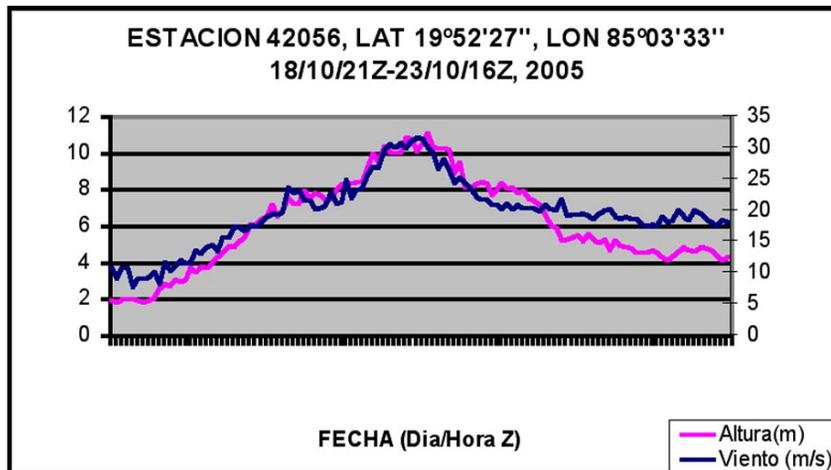
En colaboración con el INE y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, se desarrollaron, en forma paralela, dos proyectos: *Análisis de posibles impactos del cambio climático, estudio de caso preliminar: Cancún, QR., y Actividades del taller de investigadores relacionados con los impactos del cambio climático en el sector turístico mexicano y los actores clave del sector.* Ambos proyectos tuvieron como objetivo analizar los posibles impactos que tendrán en el turismo de playa, particularmente en Cancún, la variabilidad y el cambio climático, tomando en cuenta los eventos extremos recientes. Los daños que históricamente han sido más cuantiosos son aquellos que afectan las vías de comunicación, la electrificación y alumbrado, y las estructuras y acabados de construcciones, así como los que erosionan la costera. El análisis

incluyó un estudio para determinar la probabilidad de que estos fenómenos ocurran, con mayor o menor frecuencia e intensidad, y si existe o no desfase en cuanto a la época del año en que se presentan. Además, se emitió una serie de recomendaciones con el objeto de mantener de forma sostenible la actividad turística de Cancún. Los resultados se presentaron en un taller de expertos.

En lo que respecta a la contratación de proyectos para PEP, Región Norte, se desarrolló el proyecto: *Servicio de apoyo técnico en meteorología para la atención del Plan de Emergencia por Huracanes en la Región Norte de PEP*, en el cual se revisó el Plan de Respuesta a Emergencias por Huracanes (PRE-H), que sirve de apoyo en la toma de decisiones para salvaguardar la vida de los trabajadores y la integridad de las instalaciones. Una vez revisado y actualizado el plan, se imprimieron ochocientos ejemplares que se distribuyeron en las oficinas que coordina PEP, Región Norte, así como entre el personal de las diferentes áreas que conforman dicha región administrativa. Durante la temporada de huracanes se proporcionó asesoría al Grupo Técnico de Análisis del PRE-H, para lo que se elaboraron boletines meteorológicos y se preparó el material para discusión de condiciones meteorológicas, de pronóstico y apoyo en la toma de decisiones. Asimismo, se desarrolló un *Sistema automatizado para el cálculo de la probabilidad de arribo de ciclones tropicales*, sistema de cómputo que obtiene



LA MEDIA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PARA 1971-2000, MENOS LA MEDIA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PARA 1961-1990



GRÁFICA QUE MUESTRA LA ALTURA DE OLA (M) Y VELOCIDAD DE VIENTO (M/S), MEDIDAS DURANTE EL PASO DEL HURACÁN WILMA POR UNA BOYA DE LA AGENCIA DEL OCEANO Y DE LA ATMÓSFERA DE LOS ESTADOS UNIDOS, EN EL MAR CARIBE

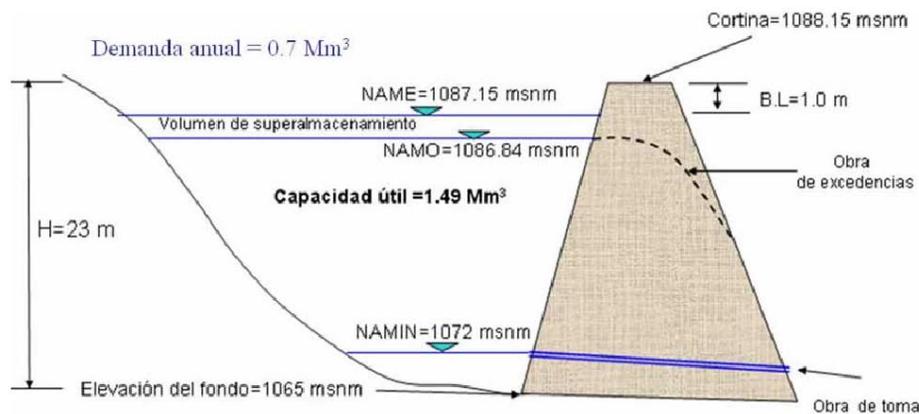
en forma automática y en tiempo real los boletines del Centro Nacional de Huracanes de Miami, EUA. El sistema contiene el pronóstico de trayectoria e intensidad de los ciclones tropicales del océano Atlántico, y calcula la probabilidad de afectación a la zona de máximo alertamiento centrada en cada una de las plataformas al momento de la emergencia, presentando los resultados a través de tablas y mapas que pueden ser consultados por el personal de Pemex a través de una página de Internet.

### Hidrología y mecánica de ríos

El cuidado de las obras hidráulicas, y en especial la seguridad de las presas, constituyen prioridades de la Conagua y de la CFE. Con la construcción de infraestructura hidráulica se presenta la necesidad de estudiar y evaluar la posibilidad de falla y el eventual rompimiento de una cortina. Estos estudios consideran diferentes aspectos, desde la revisión de las avenidas históricas hasta la preparación de planes de contingencia. Por ello, la CFE solicitó al IMTA la elaboración del estudio *Evaluación de la posibilidad y tipo de falla de la presa hidroeléctrica La Yesca*, ubicada en Jalisco, cuyo objetivo es evaluar los escenarios de falla durante la construcción de la presa, del primer llenado y de la vida útil; las probabilidades de ocurrencia; el mecanismo de rompimiento; el desplazamiento de la onda de avenida; la elaboración de mapas de inundación, y la evaluación del riesgo. La presa hidroeléctrica La Yesca tendrá una capacidad instalada de generación de energía de 750 MW

y constituirá un elemento importante del sistema de presas del río Santiago. La cortina será de enrocamiento con cara de concreto y tendrá una altura de 210 m, por lo que será una de las más altas del mundo en su tipo. En comparación con la presa El Cajón, Nay., la cortina de La Yesca será 13% más alta y 20% más voluminosa. El estudio permitió determinar la falla más probable de la cortina y los efectos ocasionados aguas abajo del sistema a partir de la onda de crecida producida en La Yesca, así como emitir recomendaciones para la implementación de un sistema de alerta.

El gobierno municipal de Huitzuc de los Figueroa, Gro., encomendó al IMTA un estudio hidrológico para conocer la disponibilidad y magnitud de los escurrimientos para abastecer de agua potable a la localidad. La población de este municipio recibe tandeos de agua cada 23 días y la situación se agrava por la creciente demanda de vivienda y trabajo en el estado. El estudio consistió en la caracterización del régimen hidrológico de precipitaciones y escurrimientos, en el diseño de anteproyectos de cuatro posibles sitios para construir embalses para abastecimiento y en el proyecto ejecutivo para la construcción de la cortina de la presa Zapotitlán, con las siguientes características: capacidad útil de 1.49 hm<sup>3</sup>, altura de 23 m y línea de conducción con una longitud total de 4 km. La construcción de estas obras permitirá dotar a la población con 150 l/hab/día, mejorándose radicalmente la situación actual; además, esta estructura permitirá disminuir las inundaciones que sufre la población.



ANTEPROYECTO DE LA PRESA ZAPOTITLÁN, GUERRERO

En el mismo estado de Guerrero, el gobierno del municipio de Ayutla de los Libres encomendó al IMTA estudios para contribuir a mejorar las condiciones de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Con respecto al primero, se propuso la rehabilitación del tanque de abastecimiento Piedra del Zopilote, así como de las obras de toma sobre los ríos Petlahuaca y Tepunte, que constituyen las principales fuentes superficiales de abastecimiento. Las obras de toma serán de captación directa con aforador de pared delgada y desarenador lateral. En cuanto al saneamiento, se hizo un estudio hidráulico en el río Palaté, que se ubica dentro de la localidad y que constituye el cuerpo receptor de las aguas residuales de la población. Asimismo, se elaboró el proyecto ejecutivo para la construcción de colectores marginales y de un emisor para conducir las aguas residuales fuera de la localidad, ambos con una longitud de 6.1 km y de 12" y 16" de diámetro, respectivamente, los cuales evitarán la contaminación de los ríos Palaté y Ayutla, y permitirán la correcta recolección de aguas negras y pluviales dentro de la zona urbana de la localidad.

Como parte del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro, y con el fin de cuantificar con mayor precisión los componentes del balance hídrico, se instalaron cinco equipos *ETGage* para la estimación de evapotranspiración, cinco sondas de humedad del suelo y dos estaciones climatológicas. Asimismo, para validar la estimación del escurrimiento que llega al lago se realizaron aforos en 28 arroyos principales. Comparando los aforos hechos en

2004, se observó una disminución en el volumen aportado al lago en 2006 de 1,000 l/s. Se tomaron muestras de agua y se midieron in situ algunos parámetros químicos, con la finalidad de identificar su posible origen. Se encontró que los principales arroyos contaminados por aguas residuales se encuentran en Pátzcuaro, Quiroga y Tzintzuntzan, Michoacán.

Con el objeto de transferir tecnología y formar personal capacitado, se impartieron cursos de *HEC-HMS* y *SWAT2000* para la CFE y uno sobre *InfoworksRS* para la Conagua. Los dos primeros tuvieron como objetivo contribuir al manejo integral de las cuencas de alto riesgo en el país, mientras que el tercero apoya en la modelación de cauces. *InfoworksRS* permite la interacción de información hidrométrica, climatológica, de estructuras existentes sobre los ríos, topográfica, de modelos digitales del terreno y ortofotos, tanto en formato numérico como digital. Como resultado del curso de *InfoworksRS* se logró que el grupo de participantes, con la dirección y apoyo de los instructores, generara un proyecto hidrológico integral de una cuenca piloto. El proyecto incluyó los estudios básicos (hidrológico e hidráulico), el procesamiento de información básica, la hidrodinámica del río y los anteproyectos para el control de avenidas en una cuenca. Además, se utilizó el programa *MoSeT*® (modelación de series de tiempo), desarrollado en el IMTA, el cual permite crear series hidrológicas para construir escenarios de simulación.

También para la CFE, se impartieron talleres sobre regionalización hidrológica y sobre



ETGAGE EN CHAPULTEPEC, PÁTZCUARO, MICHOACÁN

estimación bivariada de avenidas. Esta última metodología permite estimar avenidas asociadas a un determinado periodo de retorno, pero con la probabilidad conjunta de la ocurrencia simultánea de un cierto gasto pico y volumen de escurrimiento directo. El taller de regionalización hidrológica consistió en exponer la metodología matemática y estadística requerida en la transferencia de información hidrológica a sitios sin registros o con información escasa. Se expusieron las bases de la regionalización hidrológica, el concepto de cuencas homogéneas, algunos modelos regionales como el de la Avenida Índice, técnicas multivariadas y procesos geoestadísticos para interpolación espacio-temporal de registros. Como resultado de este taller, los participantes están capacitados para evaluar el potencial hídrico de cualquier cuenca del país y estimar su régimen de escurrimientos. El taller de estimación bivariada de avenidas hará posible evaluar o revisar la seguridad hidrológica de las principales presas de la Comisión Federal de Electricidad.