

Tecnología Hidrológica

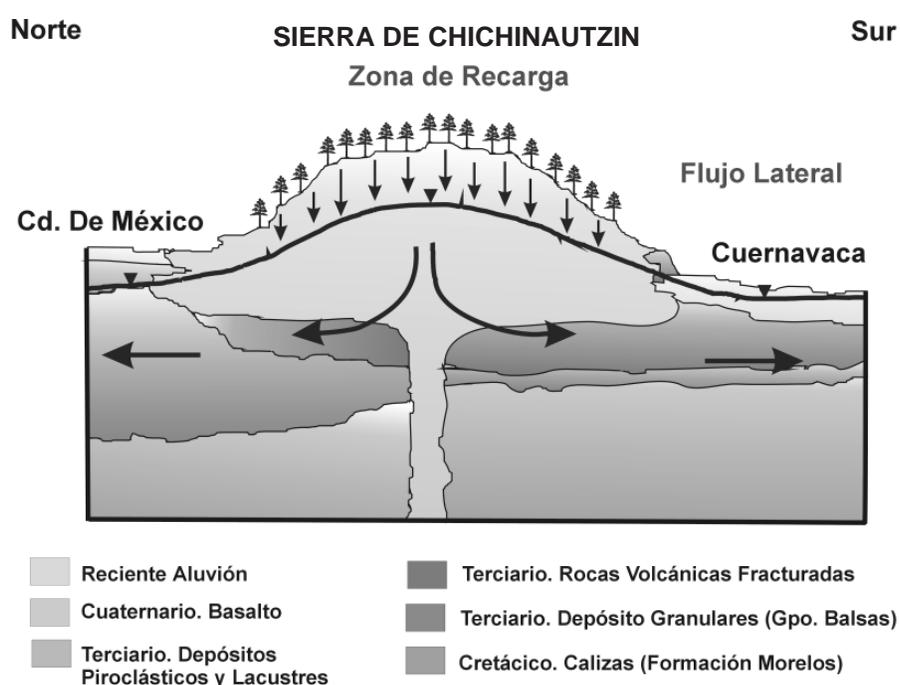
Hidrología subterránea

Durante las últimas décadas, la deforestación en la sierra de Chichinautzin ha provocado diversos efectos negativos en el ecosistema de la región, entre los que destacan la pérdida de la cobertura vegetal, la erosión de los suelos y la disminución en la recarga. Para evaluar los efectos de la deforestación en los volúmenes de recarga hacia los acuíferos de la Ciudad de México y de Cuernavaca se elaboró un modelo de trayectoria de partículas. Los resultados indican que una deforestación del 10% en la sierra de Chichinautzin provoca una reducción de un porcentaje similar en los volúmenes de recarga de ambos acuíferos.

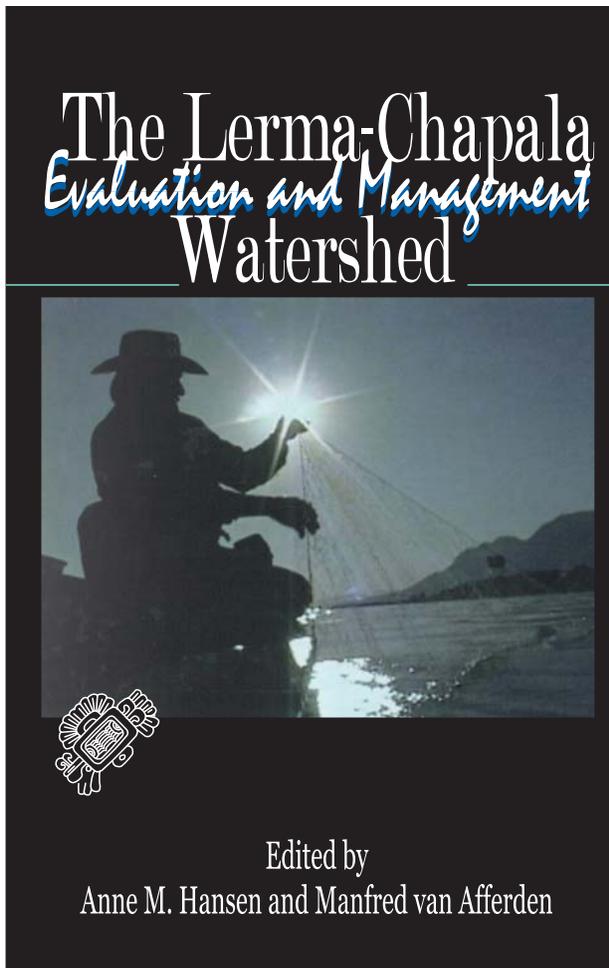
La difusión al público en general, de los conceptos del ciclo hidrológico asociados con la dinámica de las

aguas subterráneas, es una de las principales acciones que contribuyen a la sensibilización acerca de la problemática asociada con el aprovechamiento de los recursos subterráneos. Con este fin, se elaboró el *Manual de protección de acuíferos* para la Gerencia de Aguas Subterráneas de la CNA, que incluye una revisión de los conceptos básicos así como recomendaciones acerca del cuidado de los recursos hídricos subterráneos.

El aprovechamiento y conservación sustentable de las aguas subterráneas requiere del monitoreo oportuno, continuo y sistematizado de las variables geohidrológicas que caracterizan la calidad y disponibilidad del recurso en el medio subterráneo. La limitación de recursos financieros y la carencia de equipos adecuados para funcionar en las diferentes zonas geográficas del país ha limitado la instrumentación de los acuíferos en explota-



MODELO CONCEPTUAL DE LA RECARGA EN LA SIERRA DE CHICHINAUTZIN



PORTADA DEL LIBRO LA CUENCA LERMA-CHAPALA:
EVALUACIÓN Y MANEJO

ción. Para contribuir a resolver esta problemática, el IMTA diseñó y puso en operación un sistema automatizado de monitoreo en la isla de Cozumel, Q. R. Este sistema opera en tiempo real, y permite medir hasta seis variables geohidrológicas en la zona saturada, durante seis meses continuos sin recargar sus baterías: profundidad del nivel estático, temperatura, oxígeno disuelto, cloruros, nitratos y conductividad eléctrica; con opción a incluir iones específicos, potencial de hidrógeno y potencial redox. El sistema es programable en ambiente *Windows* y está provisto de un módulo de control con salida a relevador para arrancar o interrumpir la operación de bombeo e indicar la calidad del agua subterránea.

Se editó la monografía *La cuenca Lerma-Chapala: evaluación y manejo*, en respuesta a la necesidad de contar con información relacionada con los recursos y el manejo de una de las cuencas hidrológicas más importantes del país. A través de la información publicada en este libro, se identificaron necesidades de investigación

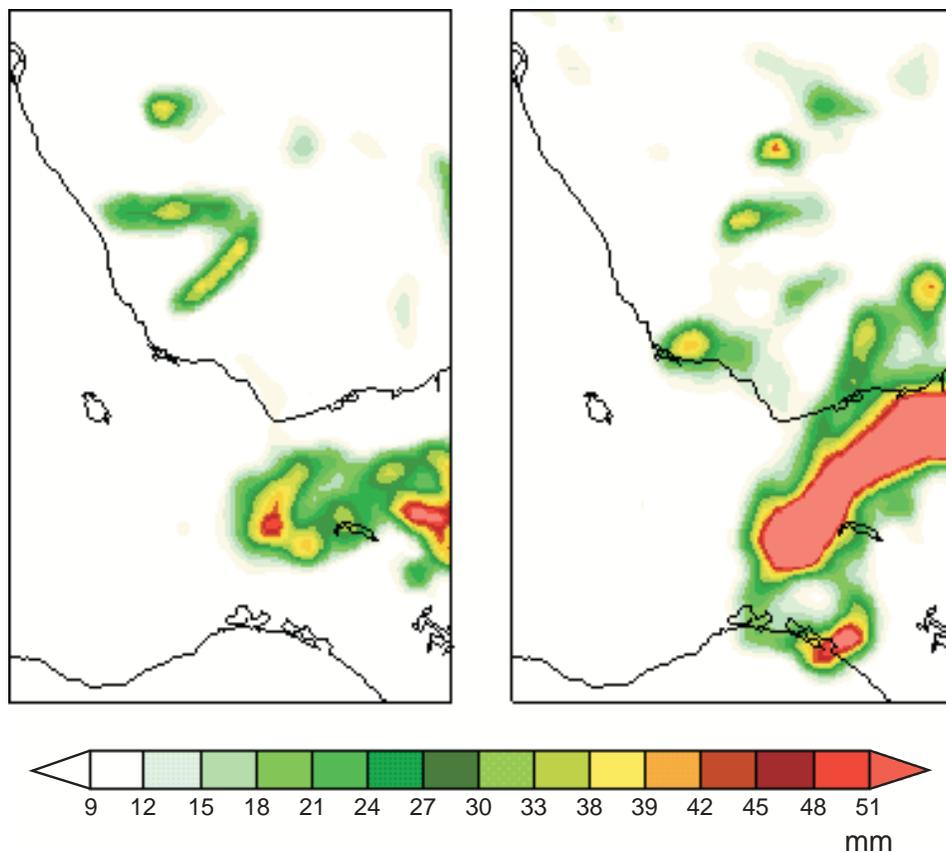
y desarrollo tecnológico así como opciones de manejo del agua. Primeramente, se identificó la necesidad de analizar la situación actual para cuantificar el potencial de optimizar el uso de agua en la cuenca. Se requiere incluir a los acuíferos y los ecosistemas en este análisis. Asimismo, se requiere identificar mecanismos e instrumentos que permitan distribuir el agua de una forma socialmente más equitativa.

En el marco de la cooperación con Alemania, se analizaron tres tecnologías de pretratamiento y disposición de residuos sólidos municipales: relleno sanitario tradicional, relleno seco de alta compactación y pretratamiento mecánico-biológico. La evaluación de las tres alternativas demuestra que el relleno sanitario tradicional es la más factible técnica y económicamente, para la mayor parte de los municipios del país, ya que su operación es sencilla por emplear equipo convencional, por la experiencia que existe en su manejo y por su bajo costo.

Hidrometeorología

En el laboratorio de hidrometeorología se calibraron los primeros sensores de temperatura, humedad relativa, presión barométrica y precipitación pluvial de estaciones hidroclimatológicas automáticas de la red del Servicio Meteorológico Nacional. Los patrones de referencia del laboratorio están referidos a los instrumentos patrón del Centro Nacional de Metrología. Por otro lado, se diseñó un sistema de calibración de sensores de radiación solar, cuyo funcionamiento será independiente de la energía solar, gracias a que la fuente del espectro de radiación será una lámpara de halógeno, lo que permite calibrar sensores en cualquier época del año y a cualquier hora del día. Dentro de este esquema, se podrá calibrar un sensor en un tiempo de dos horas, dentro del rango espectral de 295 a 1,500 nanómetros; el sistema estará completamente automatizado y contará con un piranómetro secundario como instrumento patrón de referencia. Asimismo, se publicó un disco compacto que contiene los datos de radiación solar medida por las sesenta estaciones hidroclimatológicas automáticas que operaron en el país durante 2000.

Se realizó un estudio tanto observacional como numérico para conocer el efecto local del uso de suelo y la cobertura vegetal en función de la precipitación y los



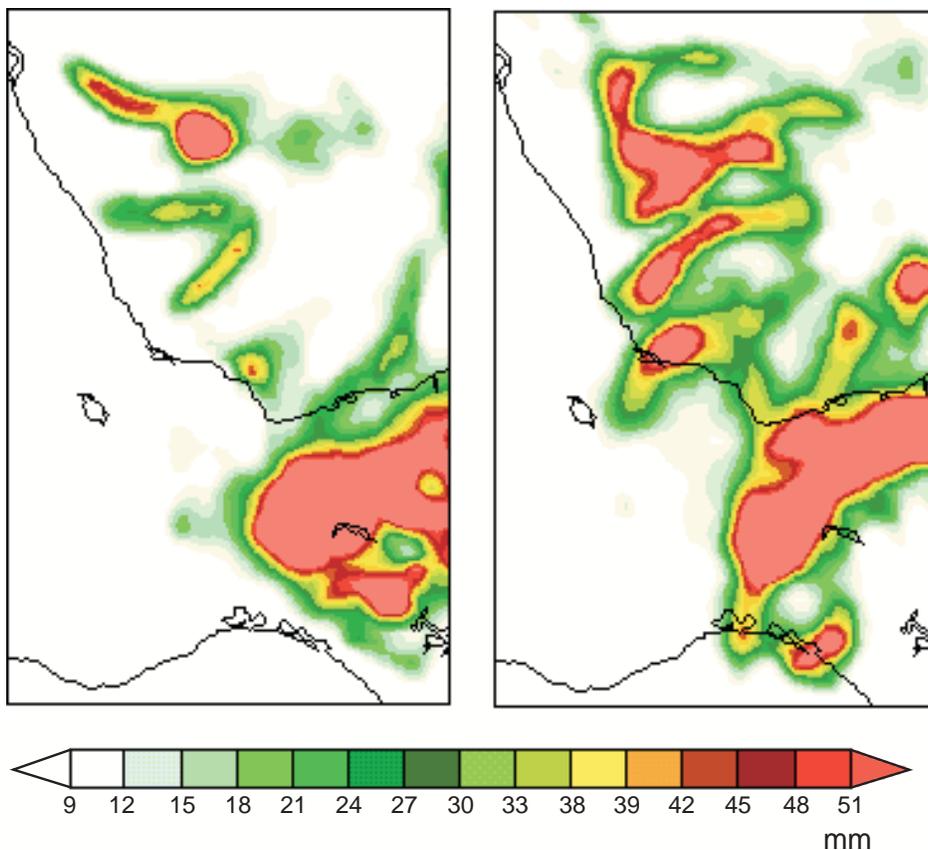
LLUVIA ACUMULADA SIMULADA (MM) PARA: A) USO DE SUELO SIN MODIFICAR, B) USO DE SUELO MODIFICADO. 4 JUN., 2000-8 JUN., 2000

vientos para el sureste y noroeste del país. En el caso del sureste se estudió la distribución espacial y temporal de lluvias y vientos en la sierra de Juárez, Oax., al paso de la convección generada por las Ondas del Este de junio a octubre de 1995 a 2001. Para ello, como continuación a las campañas realizadas durante los veranos de 1999, 2000 y 2001 se colocaron pluviómetros en Oaxaca, en la región en que se tiene el mayor efecto orográfico sobre las lluvias al paso de este tipo de ondas. Se encontraron diferencias significativas en los patrones de precipitación debido a las alteraciones en el uso de suelo y cobertura vegetal. Para el noroeste se estudió el Monzón Mexicano y sus efectos regionales en lluvias en las partes medias y altas de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, región instrumentada con pluviómetros de junio a octubre de 2001. Se correlacionaron las climatologías obtenidas con los datos de campo y las simulaciones numéricas y se encontró que el modelo numérico es capaz de representar los procesos de lluvia en la región. En este caso también se encontraron diferencias importantes entre las simulaciones para la cobertura vegetal de 1990 y la obtenida a partir del inventario forestal de 2000.

Se analizó el impacto climático en México de los aerosoles de humo producidos por la quema de biomasa utilizando el modelo de circulación general NCAR-CCM3.¹ Se caracterizaron las propiedades ópticas y radiativas de las partículas de quema de biomasa. Las simulaciones señalan que debido a los aerosoles de humo se presenta una tendencia al aumento de la radiación neta en superficie en la región noroeste del país y una disminución en la sur. La precipitación pluvial muestra una tendencia general a incrementarse y la temperatura de superficie tiende a disminuir en las regiones norte y noroeste.

Se asesoró al SMN en la evaluación y supervisión del funcionamiento del modelo de mesoescala MM5 que corre operativamente en ese organismo. Se evaluó la factibilidad de iniciar dicho modelo con información a tiempo real usando datos de radiosondeos e información de superficie proveniente de estaciones climatológicas. También se evaluó la lluvia estimada por el modelo en

¹ CCM3: Modelo Comunitario del Clima, versión 3, del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Estados Unidos, NCAR.



LLUVIA ACUMULADA SIMULADA (MM) PARA: A) USO DE SUELO SIN MODIFICAR, B) USO DE SUELO MODIFICADO. 4 JUN., 2000-8 JUN., 2000

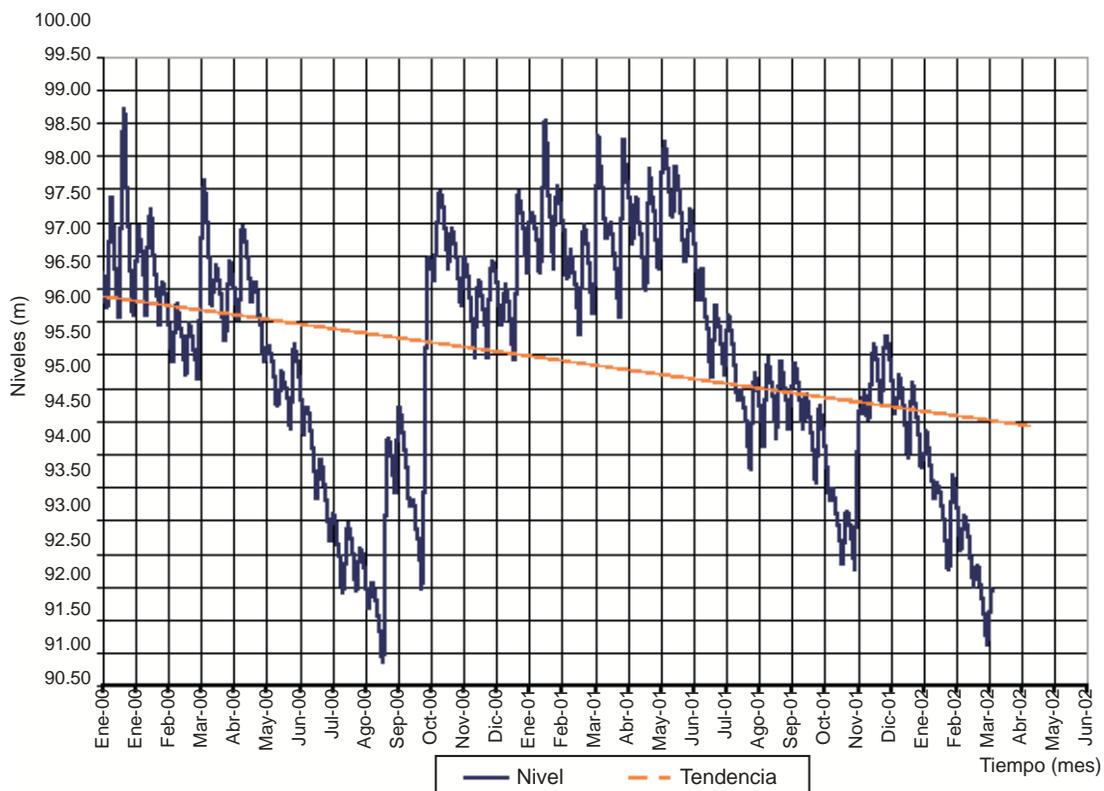
forma objetiva, tanto en invierno como en verano y se realizaron análisis de correlaciones entre la lluvia medida y la que generó el modelo. En los resultados se aprecia que el modelo se ajusta mejor en el sureste que en otras regiones del país, debido a que el esquema de parametrización de la física de nubes que se emplea en el modelo es más apropiado para el tipo de lluvias que se producen en esta región. Se encontró que, aunque los resultados en las otras regiones son razonablemente precisos, es conveniente desarrollar otros esquemas de parametrización para mejorar las simulaciones.

Hidrología y mecánica de ríos

Como continuación a las actividades relativas al lago de Chapala que se realizaron en conjunto con la CNA en años anteriores, se desarrolló un programa de cómputo para analizar los balances hidrológicos del lago minimizando los errores de captura y cálculo y se efectuaron pruebas de aplicación en conjunto con la gerencia regional Lerma-Chapala-Santiago-Pacífico de la CNA. Por

otro lado, se analizaron las series de tiempo de los niveles, la lluvia en la cuenca propia y los escurrimientos en la estación Yurécuaro. Esto permitió conocer el comportamiento en el tiempo de estas variables, resultando que sólo la precipitación se puede considerar una variable homogénea, es decir, que no tiene cambios significativos en su media ni en su tendencia. Por otro lado, se encontró que hay poca correlación entre la variabilidad de la lluvia y la correspondiente a los niveles del lago y que la disminución de éstos depende en mayor medida de las variaciones en las aportaciones y extracciones en la cuenca propia del lago y del aprovechamiento del agua en la cuenca del río Lerma.

Se brindó apoyo a la Semarnat para la elaboración del plan maestro para el manejo del agua en la cuenca Lerma-Chapala. El IMTA contribuyó principalmente en la elaboración y el análisis de los balances hidrológicos históricos que se utilizaron para la calibración y aplicación de un modelo de aprovechamiento del agua en toda la cuenca, con el que se revisó la aplicación del Acuerdo de Distribución del Agua en la Cuenca Lerma-Chapala.



VARIACIÓN DEL NIVEL DE LA SUPERFICIE LIBRE DEL LAGO DE CHAPALA

Con objeto de contribuir al Sistema de Seguridad de Presas a cargo del Consultivo Técnico de la CNA, se elaboró un paquete de cómputo para determinar los gastos para presas pequeñas con diferentes periodos de retorno y con ello evaluar el riesgo de que las mismas sean rebasadas por las avenidas correspondientes. El paquete es aplicable a presas con cortinas de altura menor a 10 m que no tienen compuertas para el control de excedencias. Se buscó que este *software*, realizado en *Visual Basic*, fuese lo más sencillo posible de aplicar con la información habitualmente disponible en este tipo de obras, por lo que sólo requiere algunos aspectos básicos de información fisiográfica y pluvial o hidrométrica.

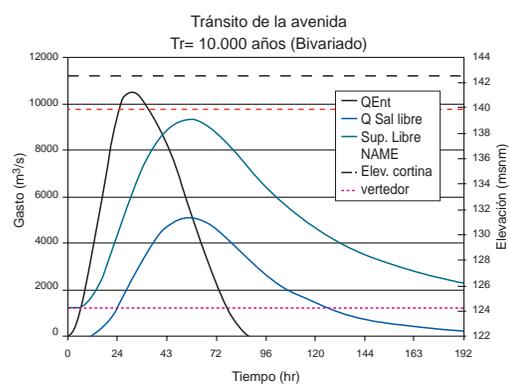
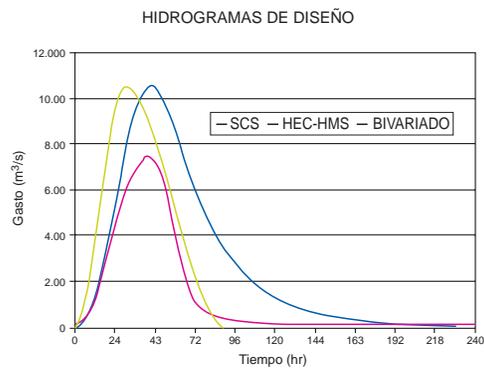
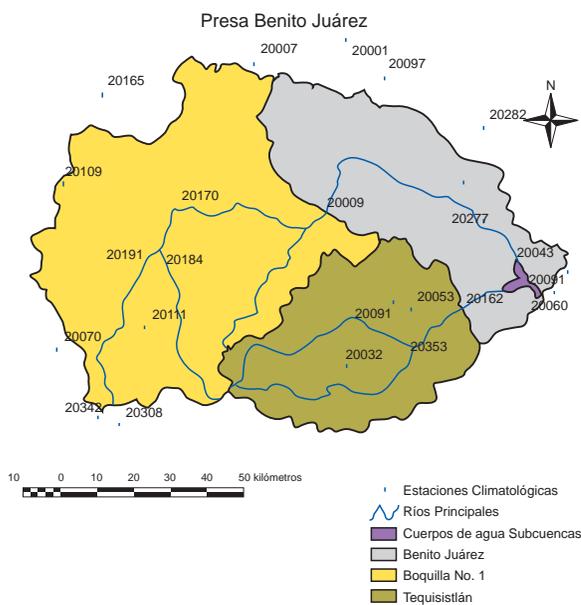
Muchas de las presas del país fueron construidas hace varias décadas, cuando la información hidrométrica era escasa e incompleta para hacer los estudios hidrológicos más apropiados para la magnitud de las mismas. Por ello se inició una revisión hidrológica de algunas de dichas obras, comenzando con las presas Eustaquio Buena, Sin., Benito Juárez, Oax., Ignacio Allende, Gto., Venustiano Carranza, Coah., y La Boquilla, Chih. En cada caso se realizó un estudio para conocer la situación actual de estas presas y recopilar la información hidrológica necesaria para determinar una nueva avenida de di-

seño. Esta avenida se comparó con la utilizada en el diseño original, y se establecieron los niveles de riesgo a que puede llegar la presa para diferentes escenarios. Para la determinación de las avenidas de diseño, se aplicó una nueva técnica de cálculo hidrológico desarrollada en el IMTA, que consiste en hacer un análisis bivariado de hidrogramas, considerando tanto el pico como el volumen de la avenida para establecer el periodo de retorno conjunto. Los resultados arrojan que las presas Benito Juárez, Venustiano Carranza y La Boquilla satisfacen los criterios de seguridad hidrológica comúnmente aceptados y que es necesario incrementar la capacidad de regulación de las obras de excedencias de las presas Ignacio Allende y Eustaquio Buena.

Se realizaron cursos de capacitación para la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la CNA, relativos al uso del método IMTA con las aplicaciones SIAS y MGP, para mejorar el aprovechamiento del paquete del *Bandas*² y a los paquetes de cómputo HEC-RAS y HEC-HMS, el primero para análisis de flujo a superficie libre en ríos y el segundo para análisis hidrológico de superficie. El uso de estas herramientas ha permitido a la

² *Bandas*: Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales.

Revisión de la avenida de diseño de cinco presas (Benito Juárez)



CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA Y AVENIDAS DE DISEÑO DE LA PRESA BENITO JUÁREZ, OAX.

CNA simplificar el proceso de cálculo de diversos problemas específicos de hidrología e ingeniería de ríos, así como la determinación de la zona federal.

Aprovechamientos hidráulicos

La problemática hídrica y ambiental de la cuenca Lerma-Chapala se ha agravado en los últimos veinte años, dificultando la sustentabilidad de las actividades económicas y la preservación del lago de Chapala. Las acciones tomadas en la última década para atender esta problemática no han sido suficientes. Por ello, se desarrolló y aplicó un modelo dinámico para simular posibles escenarios del uso del agua, empleando la dinámica de sistemas. El modelo permite, entre otras cosas, determinar la disponibilidad del agua y calcular las demandas para todos los usos conforme al acuerdo de distribución de aguas superficiales de la cuenca. Asimismo, es posible generar escenarios de tipo ambiental, social e hidrológico, con un horizonte de planeación de 25 años. Del análisis de las condiciones climáticas de los últimos diez años, se encontró que el bajo nivel actual del lago se explica principalmente por una inadecuada política de

distribución del agua, una falta de control de los volúmenes de agua utilizados por las Urderales y un mayor grado de aprovechamiento del agua en la cuenca.

Para la cuenca del río Bravo, se desarrolló un modelo similar para analizar el comportamiento dinámico del manejo del agua ante diferentes escenarios prospectivos. Bajo un escenario en el que se mantuviera la actual sequía por cinco años más, los principales resultados son: que bajo las condiciones actuales de uso del agua en la



PLANTA DE BOMBEO DEL SISTEMA CUTZAMALA

cuenca, México no podría cumplir con los compromisos de pago de los volúmenes acordados en el Tratado Internacional de Límites y Aguas de 1944 en la presente administración federal; y que si se quisiera cumplir con la cuota anual que establece el Tratado, sería posible pagar el total del volumen comprometido del actual ciclo al término de la presente administración, a costa de una reducción en las superficies de riego del 80 y hasta el 100%, y una considerable disminución de los volúmenes disponibles para satisfacer las demandas de los centros urbanos que se abastecen de las aguas del río Bravo.

El sistema Cutzamala transfiere unos 15 m³/s de la cuenca alta del río Balsas para abastecer a parte del Distrito Federal y del Estado de México. Está constituido por un complejo interconectado de tres presas de almacenamiento, cuatro derivadoras, seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora. Su operación anual consume unos 1,400 GWh, que en 2000 tuvo un costo cercano a 830 millones de pesos. Con la finalidad de analizar las políticas de operación de este sistema y proponer escenarios operativos y estructurales que mejoren su desempeño, por solicitud de la CNA, el IMTA desarro-

lló y aplicó un modelo dinámico. Como resultado, se demostró que es posible reducir hasta 19% el costo de operación por concepto de electricidad, si se manejan apropiadamente las presas y las plantas de bombeo 2, 3 y 4 aprovechando las diferencias tarifarias a lo largo del día, además de poner en marcha el tanque Pericos y el vaso Donato Guerra. El proyecto Temascaltepec permitiría aumentar el volumen transferible una vez que se alcanzare el límite de la capacidad de los aprovechamientos existentes, aunque representaría mayores costos de operación.

Se analizó el sistema de presas ubicadas en la cuenca del río Nazas para obtener sus políticas de operación, con el fin de optimizar el manejo del agua del distrito de riego 017 Región Lagunera, Coah., y Dgo. Para ello, se aplicó un modelo basado en el *Sismapre* desarrollado por el IMTA, combinado con herramientas de sistemas de información geográfica y bases de datos. Los resultados obtenidos maximizan la extracción de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, presentando un incremento aproximado del 4 y 6 % respectivamente, comparado con la extracción histórica.



DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA LERMA-CHAPALA

