

# Tecnología Hidrológica

## Hidrología subterránea

Con el fin de evaluar la disponibilidad del agua subterránea y determinar la interferencia entre pozos, a solicitud de la SGT de la CNA se caracterizó el acuífero Río Zanjón, Son. Para ello, se desarrolló una prueba de bombeo conjunta en cinco pozos, en la cual se midieron sincrónicamente los caudales y los niveles tanto en los pozos como en siete piezómetros. Este tipo de prueba de bombeo, que no se hace rutinariamente en el país, proporciona resultados similares a los obtenidos mediante pruebas individuales pero en menor tiempo y con el consiguiente ahorro de recursos. Los datos generados fueron interpretados mediante la aplicación de una metodología que permitió estimar simultáneamente los parámetros hidrogeológicos en los diferentes puntos de medición del acuífero. Estos parámetros fueron utilizados posteriormente en un modelo de flujo local y con ello se determinaron las dimensiones de los conos de abatimiento generados por los pozos para diferentes gastos y tiempos de operación, así como su grado de interferencia mutua. Los resultados muestran que no existe una interferencia significativa.

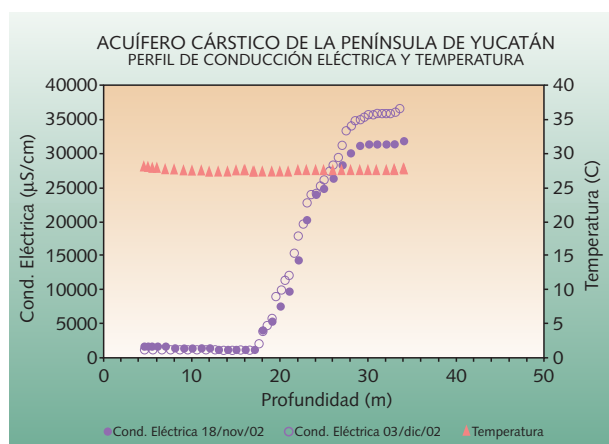
El vaso Cencalli, en Villahermosa, Tab., forma parte del sistema lagunar Las Ilusiones, que es de gran importancia ecológica para la ciudad. Dicho vaso actúa como amortiguador del aporte de sedimentos y contaminantes a ese sistema lagunar y actualmente se encuentra azolvado en un 60% y con un alto grado de contaminación. Para resolver este problema, el gobierno del estado solicitó un estudio de evaluación de la contaminación y el volumen de azolves, así como propuestas de solución.

Al respecto, se realizó una batimetría del vaso, se tomaron muestras de sedimentos y se analizaron las fuentes de aporte de sólidos y contaminantes que están en la cuenca de captación, tanto pluviales como residuales. Después del análisis de diversas tecnologías para la remoción de los 31,500 m<sup>3</sup> de sedimentos que actualmente se encuentran en el vaso y tomando en cuenta las condiciones de urbanización y espacio disponible en el sitio, así como la contaminación de los sedimentos, se recomendó bombear el azolve hacia un lugar cercano y apropiado donde se instalaría un lecho de secado de tipo decantación con volteo mecánico. El uso continuo de esta instalación permitirá en el futuro controlar los 4,500 a 5,000 m<sup>3</sup> de sedimentos que ingresan anualmente al vaso. El costo total de la obra se estima en 8.3 millones de pesos.

La explotación irracional del acuífero cárstico de la península de Yucatán ha producido el flujo vertical ascendente de agua altamente salina de las ca-



VASO CENCALLI, VILLAHERMOSA, TAB.



ACUÍFERO CÁRSTICO

pas inferiores, principalmente en las zonas costeras. Con el fin de caracterizar la calidad del acuífero y las variaciones espaciales y temporales de la interfaz salina, a solicitud de la CNA se instaló una red de monitoreo en una zona piloto ubicada en el litoral norte de la península. La red consiste en doce piezómetros que atraviesan la interfaz salina y en cuarenta pozos para el monitoreo de la calidad del agua subterránea. Los resultados de campo y los análisis de laboratorio permitieron determinar el modelo conceptual del sistema acuífero y con ello calibrar un modelo de transporte, con el cual la CNA podrá analizar esquemas de manejo sustentable del agua en la franja costera de la península.

A solicitud del Fondo para la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno se realizó una evaluación geohidrológica de la cañada de San Francisco de la Sierra en el municipio de Mulegé, B.C.S. El objetivo del proyecto fue determinar el potencial de los estratos geológicos de la región para el abastecimiento de agua a las comunidades rurales. Para ello, se llevó a cabo una inspección de campo y se efectuaron doce sondeos transitorios electromagnéticos en un área de 16 km<sup>2</sup>. Los resultados indican que los estratos con mejores condiciones hidrogeológicas se encuentran de 300 a 400 m de profundidad y corresponden a rocas de tipo volcánico. En los recorridos de campo se identificó, además, la existencia de pequeños manantiales que aportan un gasto de 23.4 l/min aproximadamente. Como resultado del proyecto se dieron recomendaciones a las comunidades de San Francisco de la Sierra sobre la ubicación y características apropiadas de un pozo pro-

fundo y sobre la correcta explotación de los manantiales mencionados.

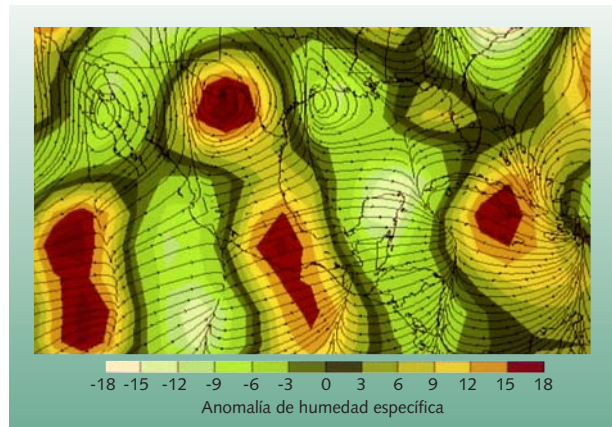
Con el fin de determinar las eficiencias electromecánica y de los diversos usos del agua subterránea en los pozos del acuífero del Valle de Toluca, se llevaron a cabo diagnósticos de quinientos aprovechamientos para la CNA. Los diagnósticos incluyeron mediciones de los niveles estáticos y dinámicos y evaluaciones electromecánicas; además, se registraron datos constructivos y operativos de los pozos. En general, las eficiencias electromecánicas resultaron bajas, del orden del 58%. Para mejorar la eficiencia en la operación de los pozos, se recomendaron acciones tales como la instalación de bancos de capacitores para determinar rutinariamente las eficiencias electromecánicas, profundización de las columnas de succión y reemplazo o reparación de los motores o las bombas. Por otra parte, para este mismo acuífero, se estimaron las extracciones de algunos de sus aprovechamientos, se generó un banco de datos y se desarrolló un sistema de información geográfica para la CNA. Este sistema, además de permitir alimentar la información geográfica y consultar la base de datos, incluye herramientas de análisis como la generación de contornos de isovalores de contaminantes y de niveles piezométricos, el establecimiento de zonas de influencia y la generación de reportes y mapas con condiciones preestablecidas, entre otras. El sistema presenta una interfaz amigable e interactiva que facilita la labor del usuario.

El crecimiento de la zona metropolitana de Guadalajara, Jal., y la disminución de los niveles del lago de Chapala han acelerado la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento de agua potable. Así, la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Jalisco encomendó al IMTA la evaluación hidrogeológica del acuífero de San Isidro Mazatepec para su posible uso con ese fin. El objetivo del estudio fue determinar los componentes del balance hidrogeológico para establecer los mecanismos que controlan su funcionamiento hidrodinámico. Para tal efecto, se analizaron los trabajos previos, se llevó a cabo el censo y la hidrometría de los aprovechamientos y se realizaron quince pruebas de bombeo y diez sondeos geofísicos electromagnéticos. La interpretación e integración de la información gene-

rada permitió determinar la distribución tridimensional de las unidades hidrogeológicas de la zona, así como el modelo conceptual del sistema acuífero. Se determinó que éste consiste en un acuífero somero libre y uno profundo que funciona como semiconfinado, mientras que el balance hidrogeológico indica que el acuífero está actualmente sub-explotado en cinco millones de m<sup>3</sup> al año.

## Hidrometeorología

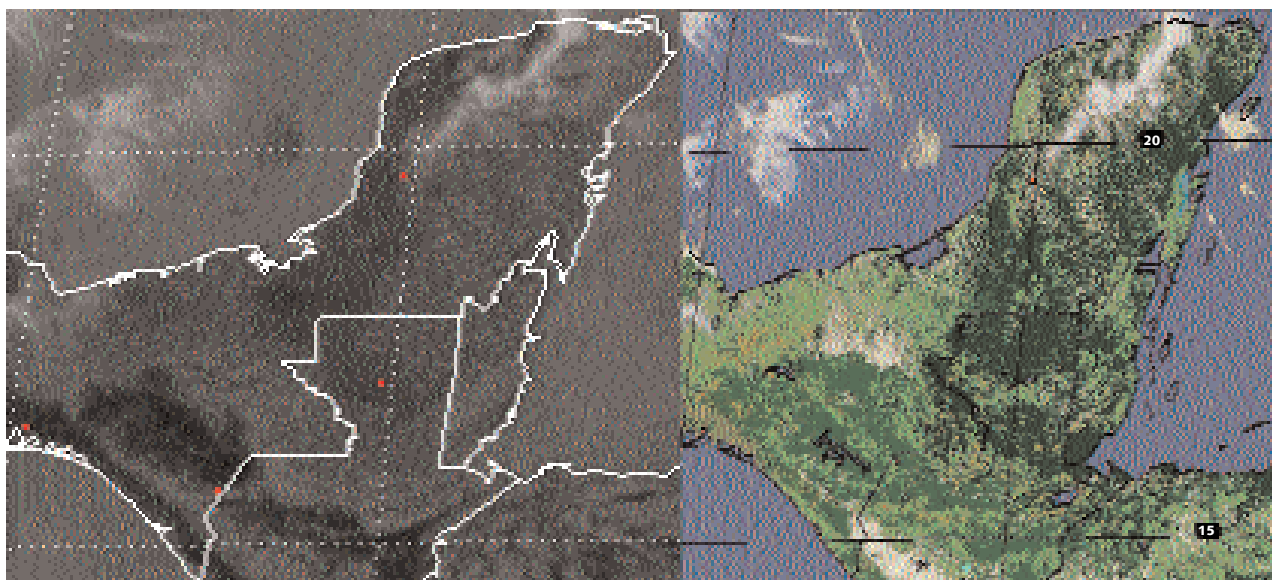
Las ondas tropicales generadas en la costa oeste de África producen precipitaciones importantes en la vertiente del golfo de México. Estas perturbaciones generan en esta región aproximadamente el 40% de las lluvias de la temporada húmeda. A petición del SMN y para mejorar el pronóstico de meteorología tropical, se estudió la climatología de 2,490 ondas tropicales observadas entre 1948 y 2001 con efectos en el territorio nacional. Para ello, se estableció una malla con resoluciones espacial y temporal de 40 km y 24 h, respectivamente. Entre otros resultados, se encontró que el 52% de las ondas tropicales contabilizadas en la costa atlántica de África llegan a México. De éstas, 26% se intensifican en el mar Caribe a costa de la transferencia energética de una corriente en chorro de bajo nivel, 45% se debilitan y 29% mantienen su intensidad.



IDENTIFICACIÓN DE UN TREN DE ONDAS TROPICALES SOBRE EL TERRITORIO NACIONAL.

Los efectos de lluvias asociadas a estas ondas se presentan de manera periódica cada cuarenta días aproximadamente, y sus mayores impactos se registran en junio, mediados de julio a principios de agosto, principios de septiembre, mediados de octubre y finales de noviembre.

El SMN opera una red de observatorios meteorológicos de superficie y altura supervisada por la Organización Meteorológica Mundial. Por lo tanto, debe contar con un sistema de control de calidad de los datos generados en dicha red para detectar errores y corregirlos. Estos errores son de dos tipos: instrumentales, que surgen durante la medición, transmisión o recepción de los datos y humanos, que se producen durante su codificación. Para con-



COMPARACIÓN DE LOS PUNTOS DE CALOR OBTENIDOS POR EL ALGORITMO ADIF (IMPLEMENTADO EN EL IMTA, IZQ.), Y EL MUNDIALMENTE CONOCIDO ABBA (DER.) PARA EL 26/02/03 20:15 UTC.



tribuir al control de calidad, se desarrolló un sistema integrado para el procesamiento de datos de radiosondeo, así como para su consulta, gestión y visualización. Además, se generó una base de datos de radiosondeo de calidad controlada para incorporarse a los sistemas numéricos de pronóstico y diagnóstico meteorológico y climatológico del Servicio.

Se continuó con el programa de calibración de sensores de estaciones meteorológicas automáticas del SMN. Durante 2002 se calibraron 112 sensores correspondientes a 28 estaciones.

A solicitud del SMN, se implementó un sistema computacional para validar el modelo numérico de la atmósfera MM5 en tiempo real. Con este sistema, a partir de la lluvia diaria registrada por la CNA y las simulaciones del modelo MM5, se aplica un

proceso de asimilación de datos que hace coincidir geográficamente estos dos registros y finalmente éstos se regionalizan y se generan gráficas de correlaciones y medidas del error.

La quema de biomasa producida por incendios forestales y prácticas agrícolas genera aerosoles que actúan como inhibidores de lluvia. Para estudiar este fenómeno y con patrocinio del Conacyt, el IMTA participa en una red mundial de monitoreo permanente de aerosol llamada *Aerosol Robotic Network*. Al respecto, el Instituto puso en funcionamiento un algoritmo para detectar la quema de biomasa mediante percepción remota y validó el modelo de circulación general CCM3.6 para su aplicación en la simulación de los efectos de los aerosoles en nuestro país. En la siguiente etapa se instalarán estaciones de monitoreo en Chiapas y Veracruz.



INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA, TAB.

FOTO - FCC. JAVIER APARICIO MUIARES





SHIP

## Hidrología y mecánica de ríos

Para contribuir a la prevención de daños producidos por las inundaciones que ha sufrido la ciudad de Villahermosa, Tab., se desarrolló, a solicitud de la SGT de la CNA, un sistema de pronóstico hidrológico operativo para la cuenca baja del río Grijalva. En este sistema se integraron al modelo del río de la Sierra y sus afluentes, desarrollado previamente por el IMTA, los ríos Mezcalapa, Samaria y Carrizal. El sistema de pronóstico se calibró con los datos de las avenidas de 2001 y los resultados se presentan en un sistema de información geográfica.

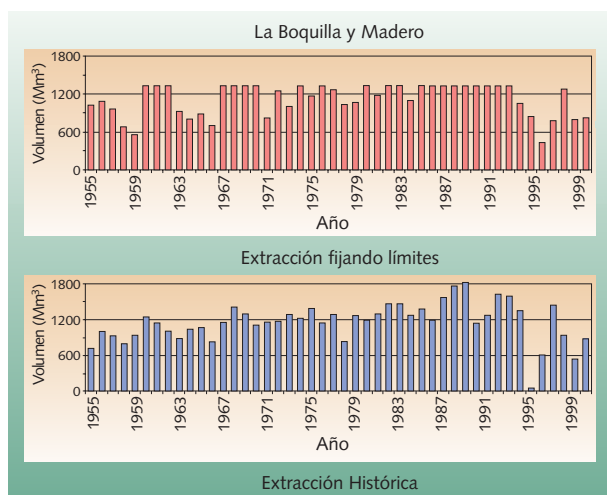
A petición de la SGT se desarrolló un *software* de seguridad hidrológica de presas pequeñas denominado *Ship*. El *Ship* es de fácil aplicación; se puede usar en el análisis de presas con vertedores de descarga libre o controlados, ya sea cuando se cuenta con información básica de la obra e información hidrométrica o cuando solamente se tienen datos de precipitación. Con él es posible conocer de una manera relativamente rápida la situación de riesgo hidrológico en que se encuentran las presas pequeñas del país.

## Aprovechamientos hidráulicos

El Grupo de Evaluación y Seguimiento del Consejo de Cuenca Lerma-Chapala solicitó al IMTA apoyo en la formulación de acciones para el manejo integral del agua en la cuenca con base en el modelo desarrollado por el Instituto en 2001. Se evaluó el desempeño del modelo en cuanto a la concordancia entre sus predicciones y las mediciones, así como la sensibilidad del modelo a cambios en parámetros importantes. Se analizaron 15 escenarios para el manejo del agua en la cuenca. Los escenarios para el control de la oferta toman en cuenta que el Acuerdo de Coordinación de Distribución de Aguas Superficiales de la Cuenca Lerma-Chapala ha sido insuficiente para estabilizar al lago de Chapala durante periodos de bajas precipitaciones. Por ello, se analizaron niveles de restricción adicionales a los que señala el propio Acuerdo, incluyendo la propuesta de un reglamento elaborado por la CNA. Los escenarios para el control de la demanda incluyen acciones para reducir la evaporación en el lago, así como para aumentar las eficiencias en distritos y unidades de riego. Los escenarios analizados han permitido sensibilizar al grupo en la respuesta global del sistema ante distintas opciones de manejo del agua en la cuenca. En particular, se identificó como escenario sustentable al que combina restric-



SESIÓN DE TRABAJO DEL GRUPO



REGISTROS HISTÓRICOS Y VOLÚMENES DE LAS PRESAS LA BOQUILLA Y FRANCISCO I. MADERO

ciones a los volúmenes asignados a los usuarios de riego y recuperación de volúmenes mediante el aumento de la eficiencia del agua en la irrigación.

Se desarrolló, a solicitud de la Gravamex de la CNA y con la participación del consejo de cuenca correspondiente, la primera etapa de un modelo regional para estudios de prospectiva que aplica la dinámica de sistemas con enfoque de gestión integrada de cuencas a los problemas que se enfrentan en torno al agua. La Región XIII, con una extensión de 16,410 km<sup>2</sup>, comprende una parte de los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala, y todo el Distrito Federal. La región hidrológica que le corresponde, con una extensión 16,123 km<sup>2</sup>, incluye la cuenca cerrada Valle de México y la cuenca del río Tula, afluente del río Pánuco. En la región se ubica la zona metropolitana del valle de México, que depende de transferencias de las cuencas de los ríos Lerma y Balsas para cubrir un déficit del 31% del volumen de agua utilizado. En esta etapa, se integró la información básica disponible en la Gravamex, en el consejo de cuenca y en otras fuentes. Luego, se conceptualizó el modelo dinámico, se analizó el esquema de la infraestructura hidráulica principal y se identificaron los principales problemas relativos al agua. Por otra parte, se estableció un horizonte de simulación multianual con intervalo de un día, así como la segmentación geográfica a utilizar, con lo que se definió la estructura del modelo completo con 23 módulos. Por último, se inició el desarrollo del modelo dinámico utilizando

la plataforma *Stella*. Se elaboraron 18 módulos que contienen la lógica, variables y valores del modelo y se desarrolló la interfaz.

Con el objeto de buscar alternativas para elevar la eficiencia del uso del agua en la cuenca del río Bravo, se evaluó, a solicitud de la Subsecretaría de Planeación de la Semarnat, la operación histórica de las presas San Gabriel, Pico de Águila, La Boquilla, Francisco I. Madero, Luis L. León, La Amistad, Venustiano Carranza y Falcón. Para ello se copiaron y analizaron los registros históricos y los volúmenes utilizados para los diversos usos. Del análisis de la operación histórica se concluye que, en general, la política de operación actual consiste en extraer la mayor cantidad posible del agua disponible en las presas sin almacenar reservas para periodos futuros. La eficiencia de aplicación del riego es muy baja y variable, lo cual puede observarse en la relación entre los volúmenes distribuidos para riego y la superficie sembrada. Para definir políticas de operación de las presas basadas en criterios de garantía recomendados por diversas fuentes, se elaboraron dos modelos: el primero para optimizar el suministro al riego y el segundo para simular la operación de los almacenamientos con la política definida en el modelo de optimización. Las políticas obtenidas considerando dichos criterios de garantía reducen los volúmenes asignados a todos los usuarios en la cuenca, pero permiten la producción continua, aun en épocas críticas. Las entradas registradas en las presas de 1993 a la fecha son insuficientes para cubrir los compromisos del Tratado sobre Aguas Internacionales celebrado entre México y Estados Unidos en 1944 y simultáneamente mantener los suministros requeridos por los usuarios agrícolas. Se demostró que el manejo del agua de la cuenca mediante políticas conjuntas para el sistema y almacenando reservas para casos de contingencia, mejoraría el aprovechamiento del agua.

Se desarrolló para la Gravamex un sistema integrado de información geográfica de esa región. El sistema permite la consulta, el análisis, la actualización y la impresión de la información; está desarrollado en la plataforma *ArcView* y se instaló en un servidor de datos en ambiente cliente-servidor, lo cual permite el acceso de información a los usuarios a través de la red de la Comisión Nacional del Agua.