

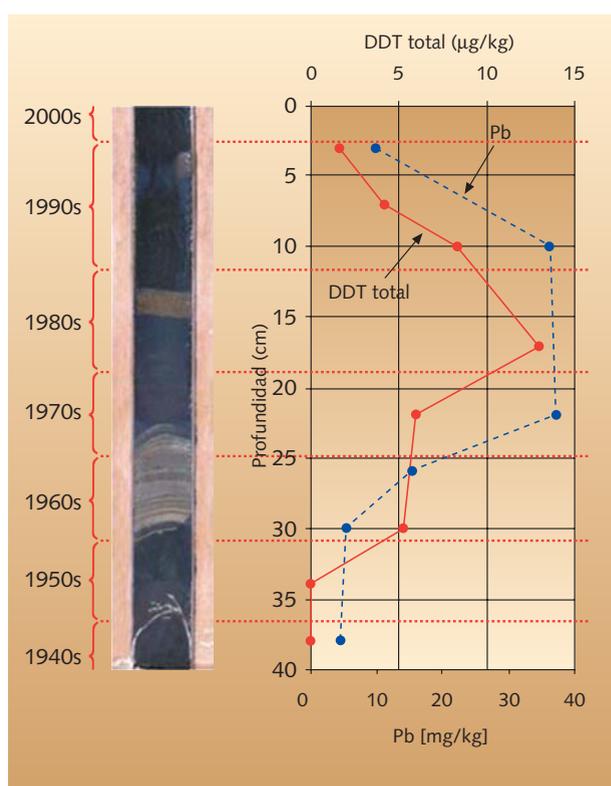
Tecnología Hidrológica

Hidrología subterránea

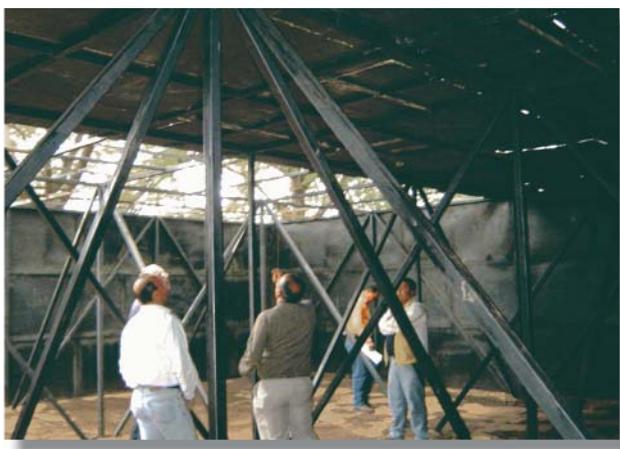
Con el patrocinio de la CCAAN, se realizaron acciones para reconstruir el historial de contaminación por contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y metales pesados. Estas acciones apoyan el cumplimiento de México con los requisitos del Convenio de Estocolmo para la eliminación o reducción de doce COPs, como algunos plaguicidas organoclorados entre los que está el DDT. Para ello, se evaluó la disposición histórica de DDT en áreas remotas derivada de su transporte atmosférico, desde las zonas de aplicación, principalmente en el trópico húmedo, así como los efectos de las políticas de cambio de composición de gasolinas. Con este propósito, se seleccionó el parque Lagunas de Zempoala donde, a través de estudios isotópicos de núcleos de sedimentos, se encontró que las concentraciones de DDT y de plomo alcanzaron niveles máximos en las décadas de los años setenta y ochenta, respectivamente, y que estas concentraciones han disminuido de manera satisfactoria en las décadas posteriores. Estas disminuciones coinciden con las políticas ambientales y los compromisos internacionales de México en el sentido de reducir los usos de dichas sustancias.

Por otra parte, como una extensión de la Red de Depósito de Mercurio de Norteamérica, con el financiamiento de la CCAAN y con la colaboración de la CNA, se implementaron dos sitios para el monitoreo semanal de mercurio contenidos en agua de lluvia, en Huejutla, Hgo., y en Puerto Ángel, Oax. Los primeros resultados indican que las concentraciones se encuentran dentro de las comúnmente reportadas para los EUA y Canadá.

A solicitud de la Secretaría de Desarrollo Social y Protección del Medio Ambiente del gobierno de Tabasco, se evaluó y diseñó un proceso innovador para el saneamiento del vaso Cencali, en Villahermosa, Tab. Este vaso forma parte del sistema lacustre de Las Ilusiones y se ha visto severamente afectado en los últimos años por contaminación debido a la urbanización y la erosión. El proceso de saneamiento propuesto por el IMTA consiste en el dragado, la presedimentación en tanques flotantes y sumergibles, el transporte y el tratamiento de los sedimentos en un lecho de secado para su reúso.



PERFIL DE DDT Y PLOMO EN EL PARQUE LAGUNAS DE ZEMPOALA, MORELOS



INTERIOR DEL TANQUE SEDIMENTADOR PARA EL VASO CENCALI, VILLAHERMOSA, TABASCO

Las obras correspondientes se iniciaron en noviembre de 2003 y se espera dragar entre 60,000 y 80,000 m³ de sedimentos en 2004.

Los procesos de flujo de agua en medios porosos saturados se llevan a cabo en diversas escalas de longitud, que van desde milímetros hasta kilómetros. Los modelos actuales sólo son capaces de reproducir las escalas grandes debido al alto costo computacional y a la escasa información existente. Sin embargo, los procesos que se generan en las escalas pequeñas determinan en gran parte el comportamiento macroscópico. El IMTA desarrolló de 1995 a 2000, un modelo matemático de flujo que considera los efectos de las escalas pequeñas en las escalas grandes, mediante técnicas de filtrado espacial. En el año 2003, se implementó el modelo en el código *MODFLOW 2000* y se adaptó a la interfase gráfica *Argus One*. Dicho código modificado se aplicó en la simulación del flujo en el acuífero del valle de Querétaro. Los resultados mejoran los obtenidos con las técnicas convencionales, al representar de mejor manera la heterogeneidad de los medios porosos y los flujos a través de ellos.

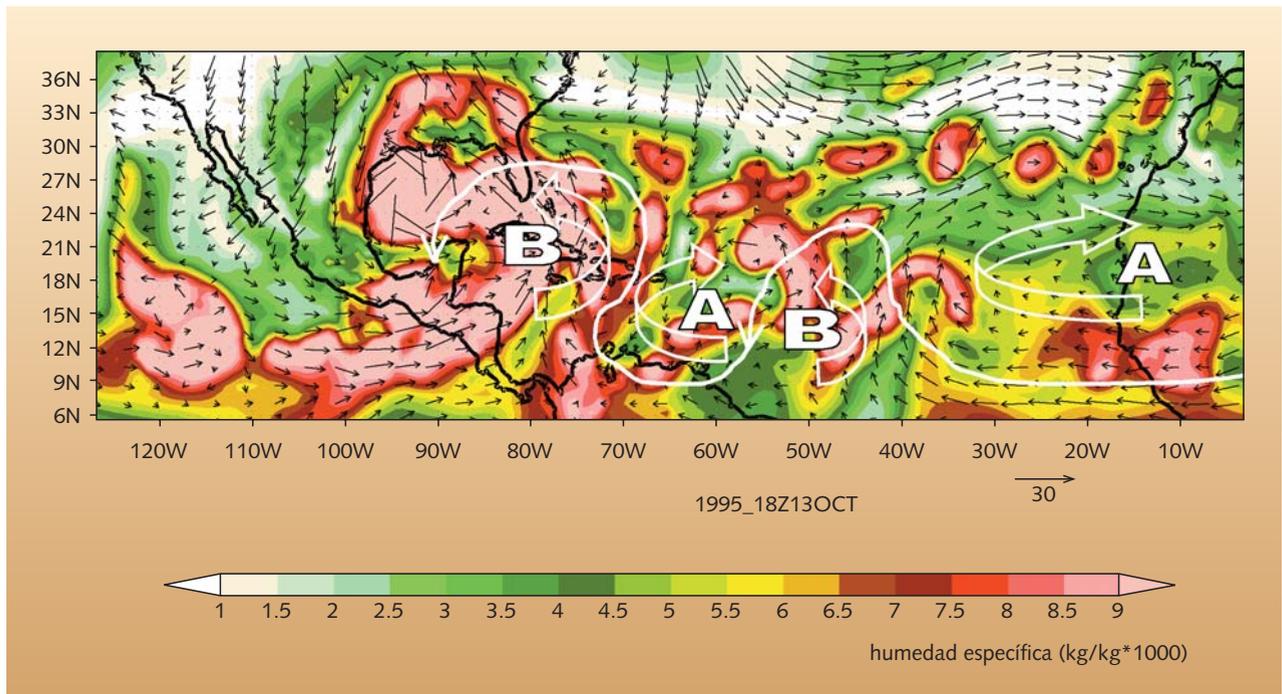
Para la GRLSP de la CNA se llevó a cabo un estudio de la contaminación difusa en el agua subterránea en el acuífero Irapuato-Valle, Gto. En este estudio se analizó el estado de la contaminación difusa, con dos propósitos: por un lado diferenciar las zonas en que la contaminación es atribuible a las actividades agrícola, pecuaria e industrial de aquellas que están afectadas por la degradación natural, asociada a termalismos o sistemas de flujo regional, y por otro lado, diseñar programas de prevención,

control y remediación de la contaminación. Con ese fin, se monitorearon 150 pozos agrícolas y las muestras se analizaron para diversos parámetros físico-químicos. Los resultados indican que en general la calidad del agua en la zona de estudio es buena, y únicamente rebasan la norma algunos de los parámetros en sitios aislados. Los fluoruros y el manganeso son los que rebasan la norma en mayor número de puntos, pero sin llegar al 10% de los lugares muestreados. Cabe destacar que no se detectó presencia de los plaguicidas considerados.

La extracción de carbón que realiza la empresa Micare, en la zona de Piedras Negras, Coah., ha afectado el flujo natural del agua en el acuífero local. A instancias de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, se llevó a cabo la evaluación de las medidas propuestas por Micare para restaurar dicho flujo natural. Los resultados indican que las obras de recarga artificial que lleva a cabo la compañía son efectivas, ya que se ha observado recuperación en los niveles piezométricos y en los gastos de los pozos localizados aguas abajo de las minas. Asimismo, se caracterizaron hidráulicamente las zonas de material de rezaga, originalmente consideradas impermeables, y se comprobó que existe flujo de agua subterránea a través de dicho material. Por otro lado, mediante un modelo matemático se estimó que la recuperación del nivel piezométrico tardará aproximadamente 11 años. Además, se analizaron los efectos de la sequía en los niveles del agua subterránea. Los registros climatológicos indican que la zona ha experimentado sequía durante la última década, lo cual disminuyó los volúmenes de recarga en la zona, y en consecuencia se produjo una disminución moderada en los gastos de los manantiales.

Hidrometeorología

A solicitud del SMN de la CNA y para determinar la influencia de las ondas tropicales en la precipitación pluvial en México, se identificaron 25 casos representativos de las características de estos sistemas. El tiempo simulado fue de nueve días, suficientes para dar seguimiento a estas perturbaciones que se originan en África. El dominio del modelo de mesoes-



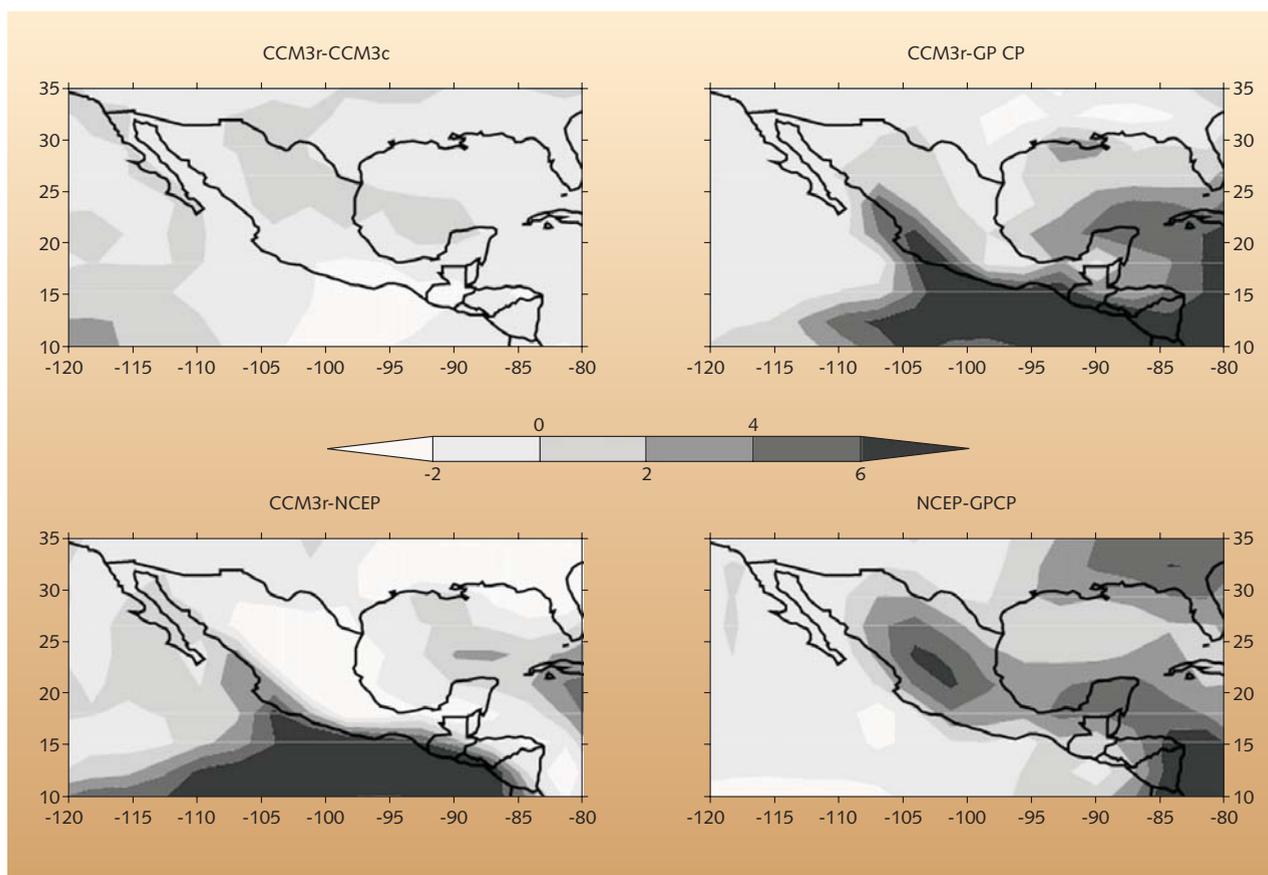
SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA INTENSIFICACIÓN DE UNA ONDA TROPICAL EN EL HURACÁN ROXANE.
A SIMBOLIZA ZONAS DE CIRCULACIÓN CICLÓNICA; B, ANTICLÓNICA

cala MM5 se definió desde costas africanas en el Atlántico hasta el Pacífico oriental, con un tamaño de resolución de malla de 90 km. Para estudiar con mayor detalle la evolución de cada onda tropical después de cruzar el mar Caribe, se generó una segunda malla anidada localizada sobre territorio mexicano, con una resolución espacial de 30 km. Debido a que la dinámica de las ondas tropicales está directamente relacionada con la distribución espacial y temporal de la temperatura superficial del mar, los casos simulados incluyen esta variable. La aplicación del modelo permite detectar y seguir la evolución de las ondas tropicales a tiempo real. Además se encontró que la estimación de la magnitud de dichas ondas al este de las costas de Yucatán con 12 o 24 horas de anticipación es crucial para determinar la zona en que la onda se amplifica o se disipa. Gracias a estos resultados fue posible definir regiones en México donde la precipitación pluvial depende directamente del arribo de las ondas tropicales dentro de la península de Yucatán y los estados de Campeche y Veracruz.

Con el objeto de probar los resultados del modelo de mesoescala MM5, incorporando datos iniciales de la red de observatorios sinópticos y de radiosondeos del SMN, en agosto de 2003 se realizó

un estudio de caso para 48 horas de simulación. Al incorporar estos datos se logran mejores resultados en comparación con los que se obtienen utilizando únicamente datos de un modelo de circulación general. Asimismo, el IMTA implementó en el SMN un sistema de procesamiento distribuido formado por un conjunto de computadoras interconectadas que al trabajar juntas funcionan como una sola. Los tiempos de ejecución del modelo en el *cluster* muestran la alta factibilidad de utilizar estos equipos en tareas de tipo operativo. Una de las ventajas de utilizar estos equipos es su bajo costo y mantenimiento. También, se capacitó al personal del SMN en el uso y administración del *cluster* mediante un curso-taller.

Con el objeto de mejorar el pronóstico climático del país y con financiamiento del Conacyt se hizo un estudio de validación del modelo de circulación general CCM3 en las variables de temperatura y precipitación. Los datos que se utilizaron fueron tomados del *Global Precipitation Climate Project* de la OMM y de la base de datos de reanálisis del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas de Estados Unidos. Los resultados muestran que el modelo simula adecuadamente los patrones de gran escala y la distribución espacial de la tempera-



DIFFERENCIAS DE PRECIPITACIÓN TOTAL PROMEDIADA EN EL VERANO, 1980-1989

tura, aunque tiene una tendencia a sobrestimar la precipitación en el sur y sureste de México, lo que indica que los esquemas de parametrización de convección son deficientes cuando se aplican a regiones semitropicales y tropicales, siendo éste un efecto común en este tipo de esquemas puesto que en su mayoría fueron desarrollados para latitudes medias y altas.

Para asegurar el funcionamiento adecuado de las estaciones meteorológicas automáticas y la confiabilidad de los datos registrados, se calibraron los sensores de 16 estaciones de la red del SMN. Se calibraron sensores de temperatura ambiente, humedad relativa, presión barométrica y precipitación pluvial. Se generaron los informes de calibración, en los cuales se anotan las mediciones realizadas, los puntos de calibración y el error en la medición del sensor calibrado. En el caso de humedad relativa, se han corregido sensores que registraban hasta un 35% de diferencia con respecto al sensor patrón.

Se continuó con la actualización de la base de datos climatológica nacional, capturando y validan-

do 25,655 meses de datos provenientes de la cuenca Lerma-Chapala, que incluye a Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Estado de México.

Aprovechamientos hidráulicos

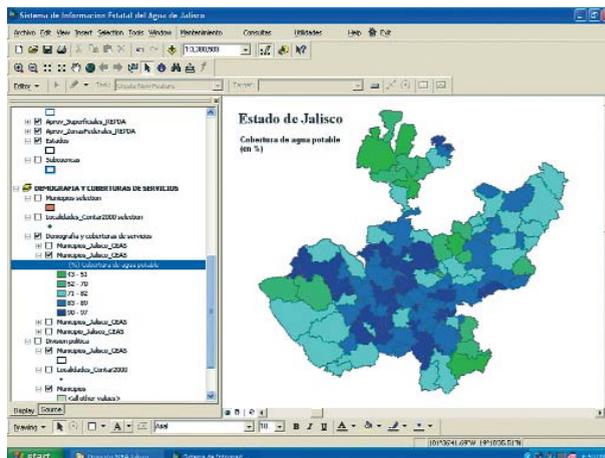
Con financiamiento de la GRLSP de la CNA, se logró avanzar en la construcción de herramientas computacionales de soporte para la gestión integral de diversas cuencas del país. Para la cuenca Lerma-Chapala se cuenta con un modelo de simulación dinámico, calibrado y validado por el Grupo de Ordenamiento y Distribución del Consejo de Cuenca. Este modelo se recalibró con información adicional proporcionada por los gobiernos de los estados que participan en el grupo. Adicionalmente, se desarrolló y probó un modelo acoplado de simulación y optimización diseñado ex profeso para buscar políticas de asignación óptimas conjuntas del agua en la cuenca. Estos modelos permiten revisar y en su caso mejorar la asignación que se rea-

liza bajo el acuerdo actual de distribución de las aguas superficiales. Los modelos han permitido guiar las discusiones del grupo para lograr consensos en la información de base y en las posibles nuevas políticas de asignación.

Para la parte mexicana de la cuenca del río Bravo se desarrolló un modelo dinámico que ha permitido explorar y evaluar opciones de política de manejo del agua. A este modelo se le acopló una base de datos georreferenciada desarrollada en la plataforma comercial ArcView.

El lago de Cuitzeo, Mich., ha perdido volumen de agua en los últimos años, llegando a niveles mínimos históricos. El lago es somero y en la zona existe alta evaporación y también en los últimos años, baja precipitación. Para buscar la sustentabilidad del lago en el largo plazo, mediante la aplicación de reglas de asignación del sistema formado por las presas Cointzio y Malpaís, cuyas descargas fluyen hacia el lago de Cuitzeo, para la GRLSP de la CNA se implementó un modelo dinámico para la cuenca y un optimizador para buscar políticas óptimas de operación de las dos presas. Se encontró que es posible estabilizar el lago a un nivel aceptable reduciendo las extracciones para riego de ambas presas pero con un 50% de garantía.

Debido a las incertidumbres en la determinación de los volúmenes almacenados en embalses mediante las curvas elevación-área-capacidad (EAC), así como por la falta de personal para monitorear los niveles, a solicitud de la CNA se realizó una investigación para establecer la factibilidad de utilizar



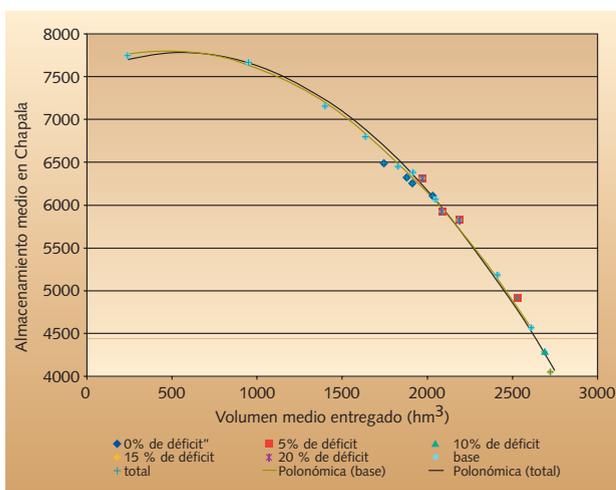
PORCENTAJE DE COBERTURA DE AGUA POTABLE EN JALISCO

imágenes de los satélites *Landsat 7*, *Radarsat* y *Spot* con diversas resoluciones. Se concluyó que es factible aprovechar esta tecnología utilizando principalmente imágenes *Spot* y *Landsat*, por ser de acceso libre y las de *Radarsat* sólo en presencia de nubosidad. Por otro lado, se observó que en las presas muy encañonadas la estimación del área mediante imágenes resulta diferente de la correspondiente a las curvas EAC. Asimismo, se encontró que es necesario actualizar las batimetrías antiguas de las presas, ya que se detectaron diferencias considerables en las áreas estimadas por medio de las imágenes y las determinadas mediante curvas EAC de más de treinta años de antigüedad.

Para dar soporte a la planeación y al manejo del agua en Jalisco y Guerrero, con financiamiento de las comisiones estatales de agua y saneamiento respectivas, se construyeron sendos sistemas de información georreferenciados. Los sistemas están desarrollados en la plataforma ArcView 8.3 y vinculados con la base de datos relacional Oracle. Estos sistemas constituyen el primer paso en la integración de los respectivos planes hidráulicos estatales que por ley deberán formularse en breve.

Hidrología y mecánica de ríos

A petición de la Semarnat se elaboró una metodología para efectuar balances hídricos en cuencas y se aplicó al valle de México, debido a que presenta un fuerte desequilibrio entre la oferta y la deman-



CURVA DE DÉFICIT, LAGO DE CHAPALA

da de agua. Una de las principales aportaciones de este trabajo consiste en considerar los componentes superficial y subterráneo de forma conjunta. Por otra parte, tradicionalmente se utiliza un intervalo de cálculo anual, pero para contar con un mayor detalle, es recomendable utilizar un intervalo más pequeño, por lo que la metodología permite presentar los componentes del balance mensualmente. Asimismo, se elaboró un programa de cómputo de fácil manejo que permite el control de las variables y el uso dinámico del balance con objeto de mantenerlo actualizado de manera continua.

Con objeto de disponer de herramientas computacionales para estudios hidráulicos e hidrológicos, el Instituto desarrolló los primeros cuatro programas del paquete de cómputo hidrológico *PCH*. El primero sirve para determinar los gastos pico y los hidrogramas de avenidas de diseño para diferentes periodos de retorno; el cálculo se realiza por medio del análisis bivariado, que considera de manera conjunta el gasto pico y el volumen de escurrimiento. Mediante el segundo programa es posible realizar el tránsito de avenidas en cauces con el método de Muskingum, incluyendo el cálculo, con base física, de los parámetros correspondientes con una técnica también desarrollada en el IMTA. El tercero se utiliza para el tránsito de avenidas en vasos con vertedor controlado o con descarga libre. Finalmente, el cuarto programa efectúa los tránsitos inversos de avenidas en vasos, es decir, determina el hidrograma de entrada con base en la evolución de los niveles en el embalse.

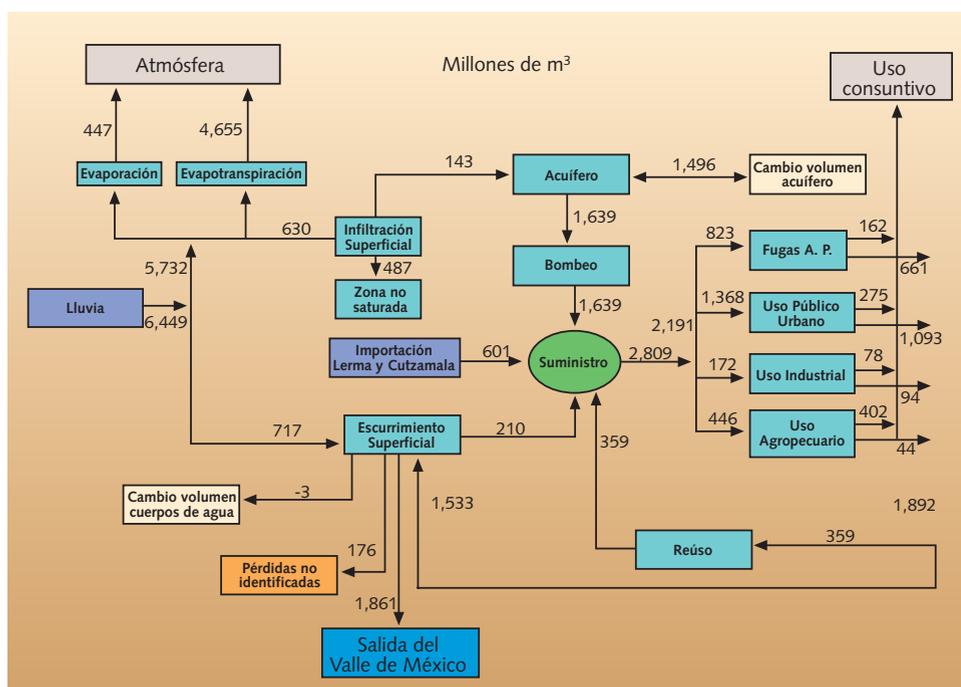
El *Bandas*, elaborado por el IMTA para la CNA, contiene la información digital de ríos y vasos de todo el país. La versión anterior contiene información hasta 1999. Durante 2003 se actualizó este banco de datos para el periodo 2000 a 2002 con información hidrométrica de 812 estaciones en operación y 163 presas en todo el país. Los traba-


Estimación bivariada de avenidas de diseño de presas EBA



PORTADA DEL DISCO COMPACTO SOBRE ESTIMACIÓN BIVARIADA DE AVENIDAS DE DISEÑO DE PRESAS

jos de actualización incluyeron la recepción de 557 expedientes, la revisión de 1,468 años-estación, la captura de 1,337 años-estación, el cálculo de 1,357 años-estación y la captura de setenta y 73 años-estación de boletines de la CFE y de la Gravamex de la CNA, respectivamente. Esta información se agregó al conjunto de discos compactos del *Bandas*.



BALANCE HÍDRICO INTEGRADO EN EL VALLE DE MÉXICO