

Tlálloc

26
AMH

✱ Los bosques y el agua: un asunto de seguridad nacional ✱ Agua y energía ✱ Modelación dinámica de cuencas para el apoyo a la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos: el caso del río Bravo ✱ Aspectos geotécnicos en el diseño de lagunas de estabilización



✚ Artículos Publicaciones Noticias



EDITORIAL

Durante el presente cuatrimestre se estarán realizando en la ciudad de Monterrey el XVII Congreso Nacional de Hidráulica, el Primer Simposio Internacional sobre Manejo de Aguas Transfronterizas y la EXPO 2002. Me es grato, en representación del XXV Consejo Directivo Nacional de la AMH, invitarlos a participar, con renovado entusiasmo e interés, tanto en las sesiones y visitas técnicas como en las actividades sociales y culturales asociadas a estos importantes eventos.

También quiero felicitar calurosamente, a título personal y del Consejo Directivo que me honro en presidir, al doctor Carlos Escalante y al maestro Eduardo Mestre por haber sido designados Premio Nacional Enzo Levi, 2002 a la Investigación y Docencia Hidráulica, y Premio Nacional Francisco Torres H., 2002 a la Práctica Profesional de la Hidráulica, respectivamente. Ambos especialistas recibirán su reconocimiento, en una ceremonia de honor, durante el desarrollo del XVII Congreso Nacional de Hidráulica. En las páginas de este número de *Tlálloc*, AMH, se publica una breve semblanza de la experiencia docente y profesional de ambos galardonados.

Asimismo, presentamos en esta edición de nuestra revista una importante colaboración del licenciado Cassio Luiselli Fernández, subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, quien nos ofrece una amplia perspectiva de la crítica situación que guardan los bosques y el agua, declarados asunto de seguridad nacional; de sus alternativas de solución, así como de los avances logrados en el marco de la Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua.

Como sabemos, recientemente se llevó a cabo el Segundo Simposio Intersectorial sobre Agua y Energía para el Desarrollo Económico Sustentable de México en el Siglo XXI, organizado por la Academia de Ingeniería que preside el doctor José Luis Fernández Zayas, quien amablemente concedió, para esta ocasión, una entrevista a *Tlálloc* AMH, en la cual, entre otros conceptos, expresa que México es un país que tiene bien diversificadas sus fuentes de energía y cuenta con el suficiente abasto energético para satisfacer la demanda durante la presente década; que el 25% de la producción eléctrica en nuestro país proviene de la infraestructura hidroeléctrica y que contamos con las condiciones apropiadas para que se reactive la construcción de grandes, medianas y pequeñas presas.

En un texto elaborado por la Subdirección General de Construcción de la Comisión Nacional del Agua, ex profeso para este número de *Tlálloc* AMH, se describen puntualmente las características principales del Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua (Promagua) inserto tanto en el Plan Nacional de Desarrollo, 2001-2006 como

en el Programa Nacional Hidráulico, 2001-2006, en el que la CNA establece el compromiso de fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Los especialistas del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el maestro Jorge Hidalgo y el doctor Javier Aparicio le invitan a leer el artículo "Modelación dinámica de cuencas para el apoyo a la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos: el caso del río Bravo", en el que se hace un análisis de la cuenca como un sistema holístico, lo que permite tomar en cuenta las complejas interacciones que se presentan entre los diferentes componentes de la ocurrencia y el aprovechamiento del agua. Por su parte los doctores Raúl Flores Berrones y Xiangyue Li Liu, y los ingenieros Isaac Bonola Alonso y Mariana Villada Canela presentan diversos aspectos geotécnicos en el diseño de lagunas de estabilización, así como la metodología geotécnica que se debe seguir para prevenir y evitar problemas tales como fugas de agua, fallas geológicas y fallas en asentamientos y en taludes durante las excavaciones y la construcción de bordos.

Finalmente, y retomando el tema de los eventos mencionados al inicio de este mensaje, deseo reconocer y agradecer, a nombre del XXV Consejo Directivo Nacional de la AMH y de los comités organizadores tanto del XVII Congreso Nacional de Hidráulica, como del Primer Simposio Internacional sobre Manejo de Aguas Transfronterizas, el invaluable apoyo recibido por parte de las autoridades de las instituciones siguientes: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Consejo de Promoción Turística, estado de Nuevo León, ciudad de Monterrey, Oficina de Convenciones y Visitantes de Monterrey, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Red Latinoamericana de Organizaciones de Cuenca, Global Water Partnership, Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia, International Network of Basin Organization, International Association of Hydrological Sciences, Programa Hidrológico Internacional, Sustentability of Semiarid Hydrology and Riparian Areas. También mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas, sin excepción alguna, que con su dedicación y esfuerzo hicieron posible la culminación exitosa de estos trabajos, cuyos resultados nos permiten sentirnos muy orgullosos.

Álvaro A. Aldama Rodríguez
Presidente del XXV Consejo
Directivo Nacional de la AMH

TLÁLOC - AMH
ÓRGANO DE INFORMACIÓN DE LA
ASOCIACIÓN MEXICANA DE HIDRÁULICA, A.C.

XXV CONSEJO DIRECTIVO NACIONAL DE LA AMH
PRESIDENTE Álvaro A. Aldama Rodríguez
VICEPRESIDENTE Gustavo A. Paz Soldán Córdova
TESORERO Felipe I. Arreguín Cortés
SECRETARIO Francisco Javier Aparicio Mijares
SECRETARIO DESIGNADO Fernando Caamaño Uribe
VOCALES Jorge Hidalgo Toledo,
 Óscar Ávalos Domenzán

EDITOR RESPONSABLE Álvaro A. Aldama Rodríguez

EDITOR TÉCNICO Nahun Hamed García Villanueva

COMITÉ EDITORIAL Luis Aboites Aguilar, Ariosto Aguilar Chávez, Felipe I. Arreguín Cortés, Moisés Berzowsky Verduzco, Víctor Bourguett Ortiz, Daniel Campos Aranda, Rafael Carmona Paredes, Jaime Collado, Ramón Domínguez Mora, Roberto Llanas Fernández, Luis Alberto Gómez Ugarte García, Humberto Marengo Mogollón, Alejandra Martín Domínguez, Polioptro Martínez Austria, Gabriela Moeller Chávez, Álvaro Muñoz Mendoza, Aldo Iván Ramírez Orozco, César O. Ramos Valdés, Gilberto Sotelo Ávila, Ma. de los Ángeles Peralta Arias, Rolando Springall Galindo, Adolfo Urías Martínez

ASESOR EDITORIAL Jesús Hernández Sánchez

CUIDADO DE EDICIÓN Emilio García Díaz

ASISTENCIA EDITORIAL Ernesto Mota Concha,
 Carmen Zeferino Araiza

FOTO PORTADA Antonio Olguín

PORTADA Bosques y lagunas de Montebello, Chiapas.

TLÁLOC - AMH es una publicación cuatrimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. Para otros intereses dirigirse a Camino Santa Teresa 187, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F., Tel. y fax: (55) 56-66-08-35. Certificado de licitud de título Núm. 8279 y de contenido Núm. 5828. Reserva de derechos al uso exclusivo en trámite. El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de los autores y no necesariamente representan la opinión de la AMH. Ninguna parte de esta revista puede ser reproducida en medio alguno, incluso electrónico ni traducida a otros idiomas sin autorización escrita de sus editores. El tiraje es de 2,500 ejemplares, incluyendo los de reposición. Impresa en los talleres de Impresión y Diseño, Av. Río Churubusco núm. 2005, Col. El Rodeo, C.P. 08510, México, D.F.

www.amh.org.mx

Índice



2 Cultura

Los bosques y el agua:
 un asunto de seguridad nacional

CASSIO LUISELLI FERNÁNDEZ

9 Gestión

Programa para la modernización
 de organismos operadores de agua
 (PROMAGUA)

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE CONSTRUCCIÓN
 COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Modelación dinámica de cuencas
 para el apoyo a la toma de
 decisiones en la gestión de recursos
 hídricos: el caso del río Bravo

JORGE HIDALGO

JAVIER APARICIO

26 Entrevista

Agua y energía

ENTREVISTA CON EL DOCTOR

JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS

31 Ciencia y tecnología

Aspectos geotécnicos en el diseño
 de lagunas de estabilización

RAÚL FLORES BERRONES

XIANGYUE LI LIU

ISAAC BONOLA ALONSO

MARIANA VILLADA CANELA

40 Noticias de la AMH

Carlos Escalante Sandoval

PREMIO NACIONAL ENZO LEVI 2002

A LA INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA HIDRÁULICA

Eduardo Mestre Rodríguez

PREMIO NACIONAL FRANCISCO TORRES H.

2002 A LA PRÁCTICA PROFESIONAL

DE LA HIDRÁULICA

Los Bosques y el Agua:

Cassio Luiselli Fernández*

* Subsecretario de Fomento y
Normatividad Ambiental
Semarnat

Tanto los recursos hídricos como los forestales han sido declarados asunto de seguridad nacional. La creciente población y sus necesidades de consumo, la desigual distribución del agua y su desperdicio, aunado a la creciente deforestación en México han logrado tal situación de alarma. No obstante, hay alternativas de solución si se enfoca la problemática en los sectores agrícola y forestal y en la contención de los desperdicios de agua. Frente a este desafío, la participación de la sociedad civil es indispensable. En el marco institucional, la Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua ha logrado avances significativos hacia una nueva cultura por el cuidado de estos recursos que se conjugan en un binomio perfecto.

un asunto
de seguridad
nacional

I. PANORAMA DE LOS BOSQUES Y EL AGUA

En México, el agua y los bosques han sido declarados asuntos de seguridad nacional. Entre las razones principales destacan los siguientes tres factores: 1) los recursos hídricos están distribuidos de manera desigual e irregular, 2) el gran desperdicio de agua que se presenta principalmente en el sector agrícola y 3) la elevada tasa de deforestación anual.

1. Por lo que se refiere a la disponibilidad de agua, en el territorio del país se presentan problemas originados por la forma en que la población ha ocupado el territorio y emplazado su actividad económica. En las regiones noroeste, norte y centro del país se concentra el 77% de la población, se genera el 86% del Producto Interno Bruto (PIB) y sólo se cuenta con el 32% del escurrimiento (Fig. 1). El clima en estas zonas va de seco a subhúmedo, y es común encontrar escasez y contaminación de los distintos cuerpos receptores de aguas. La alta tasa de deforestación ha afectado de manera continua la captura de agua en

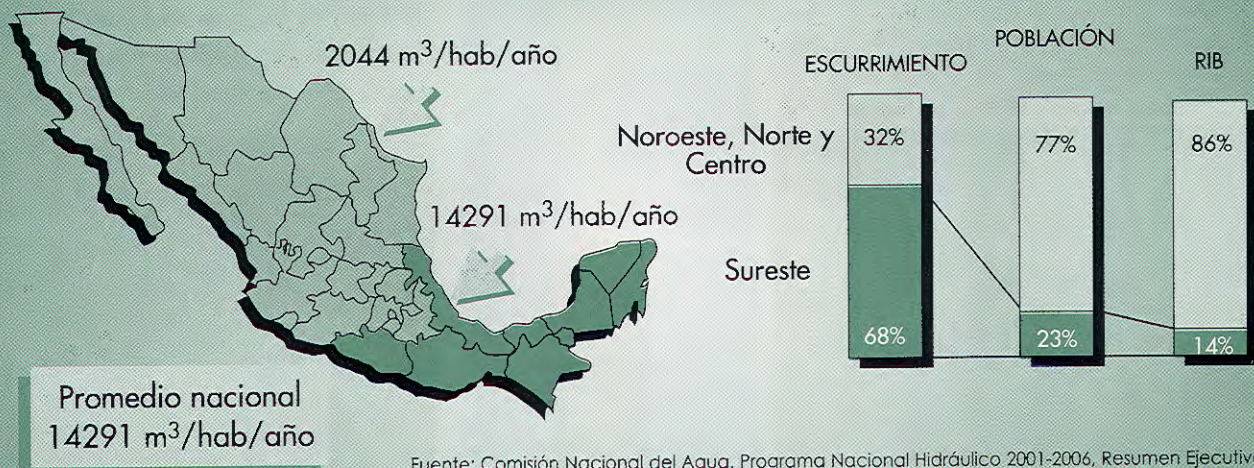


los bosques, agudizando con ello los problemas de gestión del agua, lo cual incrementa los riesgos de conflictos sociales.

En contraste, el sureste es habitado por el 23% de los mexicanos, contribuye con 14% al PIB y cuenta con un escurrimiento de 68% del total (Fig. 1). El setenta y dos por ciento del agua de los ríos se encuentra en el sur y sureste, por lo que no se presentan problemas de escasez del recurso. Esta abundancia, sin embargo —en la conjugación del mal desarrollo y manejo de zonas montañosas y bosques y de las descargas urbanas e industriales—, convierte a este líquido base y medio de la vida, en portador de inundaciones, desgajamiento de cerros y altísima contaminación, con las consecuentes pérdidas de vidas y deterioro de la salud.

2. Con relación al desperdicio de agua, los resultados son dramáticos en nuestro país. La utilización porcentual del agua es la siguiente: 78% del agua que se consume se utiliza para riego de cultivos, 12% para las industrias, 8% es de uso público y el 2% restante para uso pecuario.

Figura 1. Contraste entre el desarrollo y la disponibilidad de agua.



Fuente: Comisión Nacional del Agua. Programa Nacional Hidráulico 2001-2006, Resumen Ejecutivo.

En el caso del sector agrícola se estima que uno de cada dos litros que provienen de las fuentes de suministro no se aprovecha debido a problemas tecnológicos en la infraestructura hidráulica. Además, las cuotas que se aplican por servicio de riego llevan al desperdicio del recurso, ya que forman un porcentaje muy bajo de los costos del mismo.

En el uso doméstico e industrial, el desperdicio persiste por una cobertura insuficiente de los servicios de agua potable y drenaje. Al margen de ello, la disposición de aguas residuales no tratadas ejerce presión sobre el ciclo hidrológico debido a la sobreexplotación de los cuerpos de agua y a la larga escala de degradación que generan a los ecosistemas. Como efecto de estas presiones, la salinidad, por ejemplo, afecta al 20% de las tierras irrigadas, mientras que los ecosistemas acuáticos son perjudicados por contaminación biológica y desechos químicos.

3. En cuanto a la deforestación, a pesar del enorme potencial económico y social de los bosques en México, éstos se han visto amenazados por la degradación y deforestación, reduciendo el área de tierra cultivable, incrementando el impacto de los desastres naturales y amenazando la oferta hídrica.

La superficie forestal de México es de 141 millones de hectáreas y cubre casi el 72% del te-



ritorio nacional. Sus principales componentes están representados por 58 millones de hectáreas de vegetación de zonas áridas, 55 millones de bosques templados de montaña y selva y 22 millones de hectáreas de zonas forestales perturbadas. Los recursos forestales y el agua, con los suelos que los sustentan, son parte de un mismo proceso, en el que la vegetación protege al suelo a la vez que propicia la infiltración del agua de lluvia, indispensable para la recarga de los acuíferos, la disponibilidad de agua limpia, así como para la disminución de los riesgos de inundaciones y efectos de sequías.

La explosión demográfica en áreas con altos índices de marginación y pobreza extrema en zonas forestales, y en regiones de gran importancia por su biodiversidad, conlleva al acelerado proceso de deforestación y al creciente deterioro de bosques y suelos, originando la pérdida de su capacidad para retener agua.

A pesar de los servicios ambientales que prestan los bosques y de la producción maderable y no maderable que pueden dar, en México, la deforestación avanza a un ritmo de más de un millón de hectáreas anuales. El deterioro de bosques y suelos origina que 20 millones de hectáreas de suelos hayan perdido entre 40 y 60% de su capacidad para retener agua. La pérdida de bosques altera el ciclo de llu-





vias y su escurrimiento para alimentar las corrientes y cuerpos de agua superficiales. Asimismo, el agua que se infiltra abastece las corrientes subterráneas y recarga los mantos freáticos.

En suma, el agua en México no es abundante y está distribuida desigual e irregularmente; se ha visto presionada por los desperdicios y la falta de tratamiento, a lo que se agrega la alta deforestación. Ante la dimensión del problema urgen soluciones que involucren tanto a las instituciones gubernamentales como a la sociedad civil y al sector privado.

II. LOGRAR UNA MAYOR EFICIENCIA EN EL RIEGO Y DISMINUIR LOS DESPERDICIOS

Aun cuando la población continuará creciendo inevitablemente, no debemos caer en el pesimismo malthusiano vinculado a la tensión hídrica que ya inquieta al mundo. Los esfuerzos deben concentrarse en áreas prioritarias para incidir en la disminución de la demanda del recurso. Es necesario considerar que “para que el agua llegue oportunamente a la población a que está destinada, los gobiernos han de tener acceso a la tecnología, los conocimientos y los fondos necesarios, pero también han de tener la capacidad institucional indispensable para repartirla” (Delli, 2001, 17).



Incrementar la productividad en el riego agrícola

La agricultura es la primera consumidora mundial de agua dulce, debido sobre todo a la expansión del regadío. Actualmente representa menos de dos tercios del consumo total, proporción que, de acuerdo a las tendencias y expectativas, se reducirá muy poco de aquí al 2025 (Otchet, 2001, 21).

Es impostergable para México en los albores del siglo XXI, la necesidad de diseñar e implementar nuevos esquemas para la agricultura de riego. Actualmente se considera que el veinte por ciento de la tierra para riego ha sido dañada por la intrusión salina. Cada vez son más los ríos que permanecen secos una parte del año, dejando a la agricultura vulnerable frente a los requerimientos para reasignar agua a las ciudades e industrias. Por lo tanto se requiere rediseñar la agricultura de riego para hacerla más eficiente, equitativa y ambientalmente sustentable.

Es necesario encaminar los esfuerzos a incrementar la productividad del agua, introduciendo esquemas de agricultura de riego por goteo y fomentando la reconversión masiva, el reciclaje y la reutilización de agua tratada y la aplicación de ahorradores de agua domésticos.



Adicionalmente existen medidas y opciones alternativas no sólo en el campo tecnológico, sino en el manejo del agua en la agricultura, en el marco institucional y en aportaciones agronómicas. Para mejorar las prácticas de riego se requiere tener un mejor esquema de irrigación, un mejor mantenimiento de canales y equipo, reciclaje del avenamiento y conservación de agua de labranza y métodos más adecuados de preparación de cultivos.

La reconversión productiva constituye una alternativa real y urgente para mitigar los efectos de prácticas agrícolas que han dañado los ecosistemas. Es importante que en el diseño de políticas públicas sobre reconversión productiva se considere la congruencia de los patrones de cultivo con el potencial de la tierra y la disponibilidad de los recursos naturales, especialmente del agua. Adicionalmente, la diversificación productiva, la modernización y tecnificación del riego, la adopción de tecnologías limpias y la reconversión del uso del suelo en áreas de producción marginal son variables determinantes en el proceso de reconversión que deben ser incluidos para lograr la protección y conservación de los recursos hídricos vinculados al campo.

Contener los desperdicios de agua

Aun cuando la demanda sigue creciendo, una parte de ésta puede contenerse o evitarse si

se atienden los desperdicios del recurso, tanto en el abastecimiento como en el consumo. Por el lado del abastecimiento, las fugas en la red hidráulica, las tomas clandestinas y una inadecuada facturación constituyen tres rubros que evidencian el desperdicio y una mayor demanda del recurso para compensar las pérdidas.

Es esencial considerar que el desperdicio del agua provocado por desaprovechamiento y contaminación puede evitarse mediante tecnologías adecuadas de riego y drenaje, sobre todo para la recuperación de suelos ensalitrados, la tecnificación integral de redes interparcelarias y la rehabilitación y conservación de cuencas. El uso de tecnología hidráulica se puede aplicar para el control de la eutrofización, el control de pérdidas y el uso eficiente del agua en módulos de riego. Adicionalmente se han llevado con éxito acciones y políticas para rehabilitar los acuíferos y para remover nitrógeno y fósforo, e incluso para recuperar el cromo de las aguas residuales.

Otra dimensión de política: la cuenca hidrográfica

El marco normativo del agua aún está incompleto. Sin embargo, es esencial comprender integralmente el manejo de los recursos, incluida el agua. Por ello, la gestión de los recursos naturales dentro del territorio de una



cuena hidrográfica es una opción valiosa para guiar y coordinar procesos de gestión para el desarrollo, considerando las variables ambientales.

Es importante promover una política ambiental que vincule el manejo de bosques, suelo y agua con los aspectos económicos, productivos y sociales, armonizando las políticas, estrategias, recursos y regulaciones de los diversos sectores con la protección ambiental y el desarrollo sustentable. Sin duda, el manejo integral de cuencas ofrece una perspectiva de sustentabilidad territorial y sectorial adecuada a la particularidad ecosistémica espacial.

La gestión y planeación ambiental deberán guiarse por el Programa de Cuencas, el cual se inserta en la Ley de Aguas, a fin de que en el caso del agua se logre la asignación equitativa entre usuarios, el mantenimiento de servicios ambientales, eficiencia en el uso y conservación del recurso y constitución de mercados regionales del agua.

La cuena hidrológica es la unidad natural para el manejo del agua, en virtud de que es el entorno geográfico donde el agua de lluvia se precipita, escurre o infiltra hasta su posterior desembocadura al mar o en su propio territorio. En México, los análisis emprendidos por la Comisión Nacional del Agua (CNA) se enmarcan precisamente en esta uni-

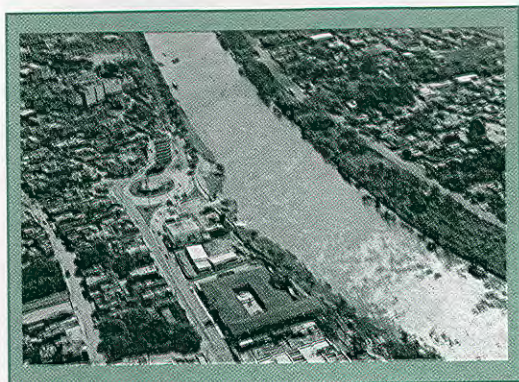


dad geográfica, integrándose las regiones hidrológicas y los Consejos de Cuenca. Las acciones en este entorno se fortalecen con la descentralización de la administración del agua hacia las gerencias regionales de la CNA. Por ello es fundamental su consolidación, así como la de sus órganos auxiliares, como son las Comisiones de Cuenca y los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (Perló, 2001,126).

III. AVANCES EN EL PROGRAMA ESTRATÉGICO CRUZADA POR LOS BOSQUES Y EL AGUA

Frente al panorama ya descrito anteriormente, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) reconoce la importancia que tiene la participación activa de la población en el cuidado de los bosques y el agua. Se requiere, hoy más que nunca, que la sociedad se involucre decididamente y aporte iniciativas que busquen el manejo adecuado de estos recursos que son vitales para el desarrollo y el mejoramiento de la calidad de vida de todos los mexicanos.

Así, la Cruzada Nacional por los Bosques y el Agua se propone lograr una gran alianza entre la sociedad y el gobierno a fin de enfrentar decididamente el grave deterioro de nuestros recursos forestales e hídricos, que forman un binomio estratégico para la seguridad de la nación. Urge limpiar los principales



cuerpos de agua, racionalizar su uso, detener la pérdida de cubierta forestal y conservar la vegetación natural y la vida silvestre, recursos naturales que hoy están críticamente amenazados. Sin la participación social, esto no será posible. Actualmente frenar y revertir el deterioro ambiental en nuestro territorio rebasa la capacidad de las instituciones, a las que corresponde regular y fomentar las acciones de participación social.

Las acciones que se han llevado a cabo, en primera instancia, para promover un manejo sustentable del agua, los bosques y el suelo a partir de la cuenca como unidad básica de manejo ha sido a través de un esfuerzo coordinado o de impacto combinado en la cuenca del Lago Chapala, en la del Lago de Pátzcuaro, en la región del Parque Izta-Popo y en la zona de Cofre de Perote.

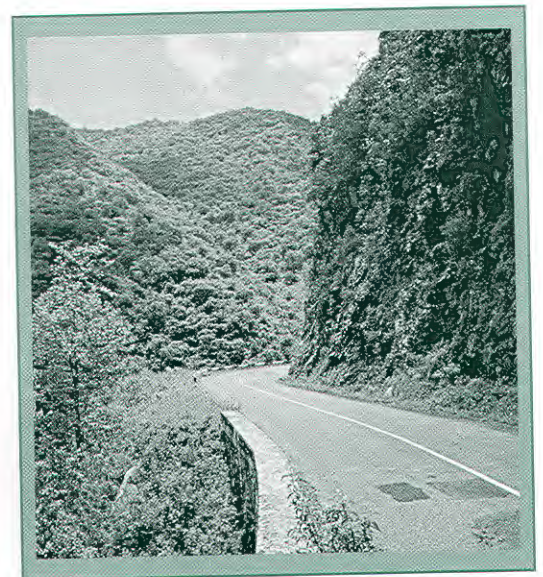
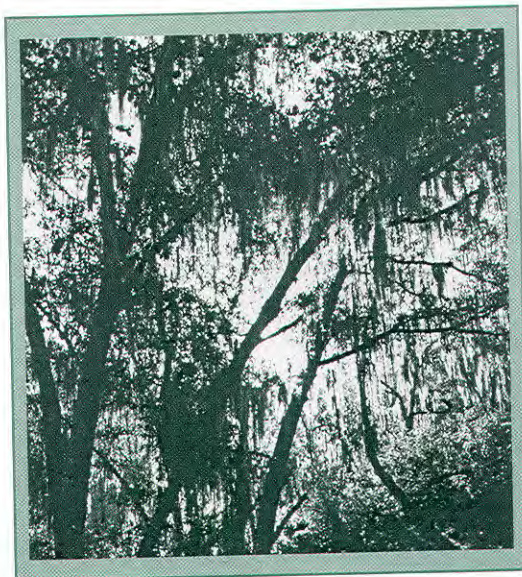
Aunado a ello, la atención a grupos infantiles y juveniles ha sido fundamental. Se ha trabajado en la promoción de talleres, sociodramas, conferencias musicales y teatro guiñol y se ha impulsado la participación en 25 ferias sobre libros infantiles y juveniles alrededor de la República Mexicana.

REFERENCIAS:

- Biswas, Asit (1993). "Management of International Water: Problems and Perspective" en *Water Resources Development*, Vol. 9, No. 2
- Comisión Nacional del Agua (2001). *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*.
- Comisión Nacional Forestal (2001). *Programa Nacional Forestal 2001-2006*.
- Delli, Jerome (2001). "No hay motivo de alarma" en *El Correo de la UNESCO*, Octubre 2001.
- Otchet, Amy (2001). "La improbable guerra" en *El Correo de la UNESCO*, Octubre 2001.
- Perló Cohen, Manuel (2001). *El futuro del agua en México*. Banca Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., México.
- Postel, Sandra (2000). "Redesigning Irrigated Agriculture" en *State of the World 2000*, The World Watch Institute, Estados Unidos.
- Postel, Sandra y Aaron T. Wolf (2001). "Dehydrating Conflict" en *Foreign Policy*, No. 126, Septiembre-Octubre. Pp. 60-67
- Semarnat (2000). *La gestión ambiental en México*, México.
- Semarnat (2002). *Cruzada por los Bosques y el Agua: Programa Estratégico 2002-2006*.

Adicionalmente se ha fomentado la cultura forestal y de cuidado de los recursos hídricos, con la finalidad de promover alianzas públicas y privadas para atender los asuntos críticos de la conservación del agua y de los bosques. Al respecto destacan las acciones emprendidas con la participación de la sociedad civil a nivel nacional y en las zonas críticas que se integran como Cruzada por los Bosques y el Agua.

Recapitulando, el problema del agua y los bosques en México se considera un asunto de seguridad nacional. Las soluciones integrales se ubican bajo el enfoque de cuenca hidrográfica, en donde la tecnología juega un papel fundamental para incrementar la frontera de productividad en el riego y contener los desperdicios. La participación activa de la sociedad civil ocupa un lugar prioritario, sobre todo porque las capacidades institucionales ya están rebasadas. De ahí se deriva la urgencia para convocar a todos los miembros de la sociedad para generar alternativas de solución; ese es el compromiso de la Cruzada por los Bosques y el Agua. No debemos olvidar que un mundo con escasez hídrica es un mundo intrínsecamente inestable. 🌱



Programa para la modernización de organismos operadores de agua (PROMAGUA)

Subdirección General de Construcción
Comisión Nacional del Agua

INTRODUCCIÓN

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2001-2006 se ubican los objetivos nacionales del sector hidráulico para ese periodo, los cuales están incorporados en el Programa Nacional Hidráulico (PNH) 2001-2006.

En él, la Comisión Nacional del Agua (CNA) establece el compromiso de fomentar la ampliación de la cobertura y calidad de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, para lo cual instrumentó los siguientes lineamientos estratégicos:

- Fomentar el desarrollo de organismos operadores de agua (OOs) capaces de proporcionar los servicios en forma autosustentable, para lo cual se considera la capacitación de su personal y la participación de la iniciativa privada.
- Apoyar a las autoridades locales y estatales en la consolidación de las empresas (públicas, privadas o mixtas) encargadas de proporcionar los servicios hidráulicos, mediante el fomento de una mayor autonomía técnica, administrativa y financiera.
- Promover que la inversión necesaria para abatir los rezagos existentes y satisfacer nuevas demandas provenga del pago de los servicios.
- Elaborar esquemas que fomenten el pago de derechos por parte de los OOs, promo-

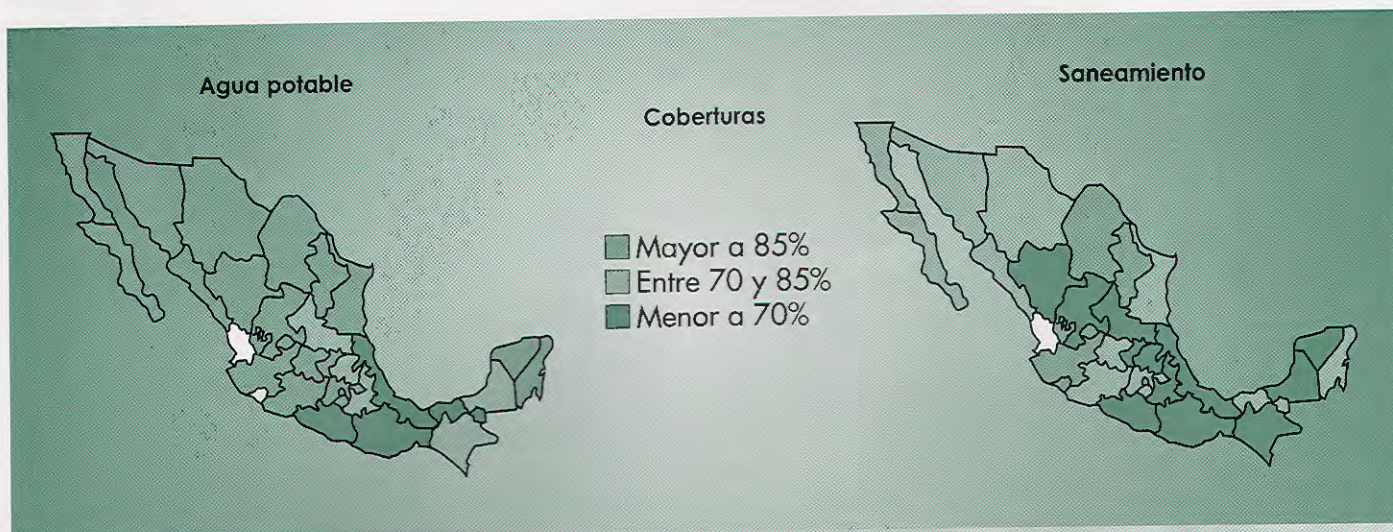
viendo que estos recursos regresen al mismo sector, con el fin de mejorar su eficiencia y su infraestructura.

PROBLEMÁTICA

A pesar de los avances logrados en materia de suministro de agua y saneamiento, las localidades urbanas y rurales enfrentan serios problemas. Aún existen 12 millones de habitantes sin servicio de agua potable y 23 millones carecen de sistemas de saneamiento, además de que sólo 27% de las aguas residuales recolectadas reciben tratamiento.

Por su parte, los OOs reportan una recaudación anual por la prestación del servicio de agua potable cercana a los 17 mil millones de pesos, los cuales utilizan en su totalidad para enfrentar sus gastos de operación. Los precarios niveles recaudatorios revelan bajos niveles en la eficiencia global, entendida ésta como el producto de multiplicar la eficiencia física por la eficiencia comercial, y que alcanza en promedio nacional sólo 30%; esto significa que de cada mil litros producidos, sólo se cobran 300.

De igual forma, las tarifas establecidas favorecen bajos niveles de recaudación, ya que no reflejan los costos reales; mientras la recaudación promedio por metro cúbico es de 1.40 pesos, el costo es de 5.00 pesos.



Por otro lado, la problemática se agudiza por la obsolescencia de la infraestructura hidráulica; decreciente disponibilidad por el agotamiento y contaminación de las fuentes; mayor competencia por su uso y una difícil situación financiera de los organismos prestadores de los servicios.

De acuerdo con lo contenido en el PNH, los requerimientos anuales de inversión en el subsector ascienden a 17 mil millones de pesos a precios del 2001 para nueva infraestructura, vinculada al incremento de las coberturas en agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como 5 mil millones para su operación y mantenimiento.

PROGRAMA PARA LA MODERNIZACIÓN DE ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA (PROMAGUA)

Marco de referencia

Derivado de esta problemática y dada la limitada capacidad de endeudamiento de los OOs y de su escasa generación interna de caja, el Gobierno Federal ha promovido una iniciativa para contribuir a enfrentar esta situación mediante la participación de recursos no

recuperables, junto con fondos provenientes de la iniciativa privada.

De esta forma, la Comisión Nacional del Agua, con el apoyo del Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. N. C. (BANOBRAS), puso en operación el Programa para la Modernización de los Organismos Operadores de Agua (PROMAGUA). Su principal objetivo es fortalecer a los prestadores de los servicios de localidades mayores a 50 mil habitantes, mediante la ampliación de fuentes adicionales de recursos para incrementar eficiencias, impulsar la autosuficiencia financiera, promover el cambio estructural, garantizar la continuidad en la gestión administrativa, mejorar la calidad de los servicios, ampliar coberturas, promover el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento y facilitar el acceso a tecnología de punta con el apoyo del sector privado.

El Programa considera los siguientes criterios generales: rangos de población de localidades elegibles; otorgamiento de subsidios o recursos no recuperables con base en niveles de eficiencia globales; acceso a subsidios de acuerdo con la modalidad de participación privada; dar prioridad a las acciones para incrementar eficiencias, antes de incrementar coberturas, entre otros.

Lineamientos del Programa

Para su operación, el Programa establece diversos lineamientos:

- Los gobiernos estatales, junto con el organismo operador del estado, suscriben un convenio de participación con CNA y BANOBRAS, en tanto que las autoridades municipales firman un anexo de adhesión al convenio de participación.
- Se atienden, de preferencia, las localidades con un rango de población mayor a 50 mil habitantes, las cuales concentran más de 50% de la población, así como a un conjunto de localidades atendidas por organismos operadores intermunicipales.
- El financiamiento parcial de las obras y acciones proviene de fondos no recuperables del Gobierno Federal, canalizados a través del Fondo de Inversiones en Infraestructura (FINFRA) que administra BANOBRAS en su calidad de fiduciario.
- Todos los OOs deben contar con un Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral (DIP), el cual recibe recursos del Programa.
- Para acceder a los recursos del Programa, los OOs deben estar al corriente en el pago de derechos por explotación o aprovechamiento de aguas nacionales y por el uso de cuerpos receptores para descargas de aguas residuales.
- La canalización de recursos no recuperables se realiza a través del FINFRA, mediante la celebración de un Convenio de Apoyo Financiero con el OO.
- Se debe contar con la certificación de viabilidad técnica de los proyectos por parte de la CNA, quien también revisa las metas y acciones de eficiencia.
- La prioridad de los estudios, proyectos y programas de inversión se establece de acuerdo con el orden de suscripción de los convenios y anexos de adhesión, de la contratación del DIP y del compromiso de re-

curso correspondiente al programa de inversión requerido, en ese orden.

Etapas del Programa

La primera etapa corresponde a la formalización del convenio de participación y del anexo de adhesión correspondientes. La segunda etapa se refiere a la licitación para la elaboración del DIP, que será financiado con recursos no recuperables del Programa hasta en un 75%, en tanto que la diferencia de 25% más el impuesto al valor agregado total será con cargo a otras fuentes, incluidos recursos propios del OO.

El objetivo es contar con un diagnóstico del sistema hidráulico seleccionado, incluyendo la determinación de niveles de eficiencia; la construcción de un modelo financiero que sustente el plan de acción integral, el cual integra los programas de inversión para incrementar eficiencias y coberturas; y el análisis del potencial de participación del sector privado, a través de la determinación de alguna de sus modalidades.

La decisión de incorporar a la iniciativa privada en la administración de la prestación de los servicios queda reservada a los OOs y a las autoridades municipales; en esa medida, las siguientes etapas no son obligatorias.

La tercera etapa se vincula a la preparación, selección y contratación de la modalidad de participación privada, de entre las que destacan el contrato de prestación de servicios parcial o integral, la formalización de título de concesión y la constitución de empresa mixta, mayoritariamente pública o privada. En este sentido, la participación privada busca aportar su capacidad técnica en beneficio del incremento de las eficiencias y de la calidad de los servicios, asegurar la continuidad en la administración, llevar a cabo la toma de decisiones y la asignación de recursos, y dis-

tinguir entre las funciones de autoridad y regulación de las de administración y gestión del OO.

La cuarta y última etapa integra las posibilidades de acceso a los recursos no recuperables mediante el proceso de inversión en obras y acciones, con base en los resultados del DIP. Esta etapa comprende dos fases: La fase I está orientada al financiamiento de inversiones que promueven el incremento de eficiencias, tanto físicas como comerciales, a través de obras y acciones como micromedición, macromedición, recuperación de caudales, rehabilitación de redes, sectorización, detección y reparación de fugas, actualización del padrón de usuarios, elaboración del catastro de infraestructura, uso de accesorios ahorradores de agua, preparación de manuales de administración, contables y financieros e instalación de sistemas de información, entre otros.

Una vez instrumentadas las acciones de incremento de eficiencias, la fase II contempla inversiones para ampliar coberturas en abastecimiento de agua potable y saneamiento, entre las que destaca la infraestructura de captación (perforación y equipamiento de pozos), conducción (acueductos), potabilización (plantas potabilizadoras), almacenamiento (tanques elevados), regulación y distribución, así como la construcción y rehabilitación de infraestructura de saneamiento (plantas de tratamiento y obras complementarias).

Asignación de recursos no recuperables

La asignación de recursos no recuperables en la cuarta etapa, correspondiente a la Fase I, se aplica al programa de inversión de corto plazo (tres años) para incremento de eficiencias, resultante del DIP elaborado, y depende del nivel de eficiencia global en que se encuentre y de la modalidad de participación privada, de acuerdo al siguiente cuadro:

Porcentajes de recursos no recuperables. Fase I

Nivel de eficiencia Global	Empresa mixta con participación pública mayoritaria	Contrato de prestación de servicios integral o empresa mixta con participación de FINFRA	Título de concesión o empresa mixta con participación privada mayoritaria
	Hasta	Hasta	Hasta
Menor que 30%	30%	40%	49%
De 30% a 40%	25%	30%	40%
Mayor que 40%	20%	25%	35%

En esta Fase, los OOs que observen eficiencias globales mayores o iguales al 45% tendrán la posibilidad de contar con apoyos financieros no recuperables para su programa de inversión hasta de 20%, siempre y cuando integren como modalidad de participación privada la suscripción de un contrato de prestación de servicios parcial y cumplan con los requerimientos del Programa.

En el caso de las inversiones correspondientes a la fase II, los proyectos de inversión deben contar con un estudio de evaluación social con resultado positivo, en tanto que los OOs deben haber iniciado la fase I. Los apoyos financieros con recursos no recuperables se muestran en la siguiente tabla:

Porcentajes de recursos no recuperables. Fase II

Tipo de inversión	Contrato de prestación de servicios parcial o empresa mixta con participación pública mayoritaria	Contrato de prestación de servicios integral o empresa mixta con participación de FINFRA	Título de concesión o empresa mixta con participación privada mayoritaria
	Hasta	Hasta	Hasta
Agua potable	20%	25%	30%
saneamiento	40%	45%	49%

A los OOs que experimenten niveles de eficiencia global mayores a 60% se les puede asignar hasta un 20% de recursos no recuperables para abastecimiento de agua y de

hasta un 40% para saneamiento, siempre y cuando hayan cumplido con los requisitos del Programa. Estos porcentajes se aplicarán al monto de cada proyecto de inversión.

Avances

La promoción del Programa se inició en el último cuatrimestre del 2001, la formalización de convenios en el último bimestre de ese año y la instrumentación a principios del 2002.

A la fecha se tienen suscritos 21 convenios de participación con los gobiernos estatales de Aguascalientes, Baja California Sur, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas.

Estados participantes

Asimismo, se han firmado 19 anexos de adhesión correspondientes a los municipios de Aguascalientes, Colima-Villa de Alvarez, Manzanillo, Tecomán, Durango, Acapulco, Chilpancingo, Zihuatanejo, Puerto Vallarta, Morelia, Querétaro, Ahome, Guasave, Mazatlán, Salvador Alvarado, Coatzacoalcos, Minatitlán, Xalapa y Veracruz.

En cuanto a los avances en la preparación de los DIPs está terminado el de Acapulco, Gro., y se inició la preparación de los de Colima-Villa de Alvarez y Querétaro. Por otro lado, se inició el proceso de licitación de los DIPs de Manzanillo y Tecomán, así como del área metropolitana de Guadalajara. Adicionalmente a estos estudios, están en análisis 15 DIPs, cuyo proceso de licitación y preparación iniciará el último trimestre del año en curso.

Con el propósito de aprovechar los beneficios del PROMAGUA se integró una cartera de proyectos susceptible con un costo de 6,668 millo-



nes de pesos, de los cuales 6,406 corresponden a planes de acción y proyectos específicos y 262 a estudios de diagnóstico a ser financiados en forma parcial con recursos del Programa, y cuyo desarrollo depende de la oportunidad de su realización.

CONCLUSIONES

La puesta en marcha de este esfuerzo por parte del Gobierno Federal genera diversos beneficios para los OOs ejecutores de las obras y acciones financiadas en forma parcial con recursos del Programa, de entre los cuales podemos señalar los siguientes:

- Promueve el cambio estructural mediante una mayor autonomía tarifaria
- Representa una fuente adicional de recursos
- Impulsa la eficiencia operativa y la autosuficiencia financiera
- Contribuye a la profesionalización de los niveles gerenciales de los OOs
- Garantiza la continuidad en la administración y planeación
- Permite la participación del sector privado con reglas claras ■

Modelación dinámica de a la toma de decisiones hídricas: EL CASO DEL RÍO BRAVO

Jorge Hidalgo y Javier Aparicio*

INTRODUCCIÓN

En México, como en varios países, la cuenca es la unidad de gestión integral del agua. En la cuenca se desarrolla la interacción entre el proceso natural del ciclo hidrológico y todos los factores que influyen en éste. El factor que influye en forma más determinante en la conservación del equilibrio natural o en sus cambios, sin duda, es el antrópico. Por lo tanto, es el hombre mismo quien tiene la capacidad y responsabilidad de decidir cómo debe mantener su entorno. Ante esta situación, se debe concebir a la cuenca como un sistema, donde todos sus elementos interactúan de manera dinámica, y cualquier modificación en sus elementos tendrá un impacto en el espacio y en el tiempo.

Al concebir a la cuenca como un sistema, es posible planear el ordenamiento y manejo de sus recursos naturales, principalmente del agua, que es el principal elemento generador de la dinámica que se desarrolla en ella. El proceso de planeación visto de esta manera es complejo, pues en el mismo se debe atender el manejo integrado del recurso, tomando en cuenta a todos los usuarios del agua, incluyendo al medio ambiente, con sus diferencias de objetivos, criterios y propósitos, como son la equidad y el bienestar social, la redistribución de la riqueza regional y la eficiencia económica, y la calidad y riesgos del ambiente, entre otros.

Ante esta complejidad, es necesario desarrollar sistemas de apoyo a las decisiones, que

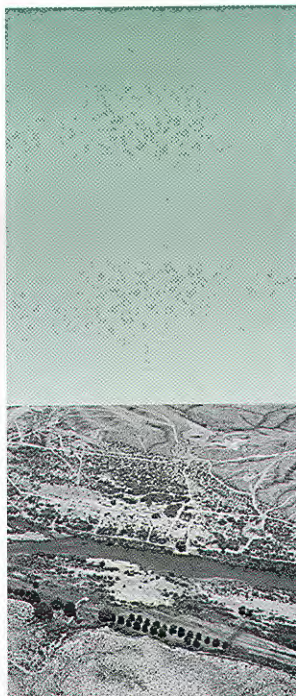
* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

cuencas para el apoyo en la gestión de recursos

El manejo integral de los recursos hídricos requiere de herramientas para el apoyo a la toma de decisiones. Una de las herramientas más útiles para ese efecto es la dinámica de sistemas, combinada con otras relacionadas con el manejo del agua, con las cuales es posible analizar la cuenca como un sistema holístico y con ello tomar en cuenta las complejas interacciones que se dan entre los diferentes componentes de la ocurrencia y aprovechamiento del agua. En este trabajo se presenta una metodología desarrollada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para adoptar los principios anteriores y su aplicación en la parte mexicana del río Bravo.

pueden manejar volúmenes importantes de datos e información geográfica, combinándolos con modelos matemáticos que permiten analizar el manejo del agua. En ese sentido, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) desarrolla este tipo de sistemas que permitan a quienes toman las decisiones en México contar con herramientas accesibles a sus condiciones económicas y de la disponibilidad de la información, ya que por lo general los sistemas que se han desarrollado en otros países, y que están disponibles de manera comercial o pública, son muy costosos o requieren de información que no se obtiene fácilmente en el país.

En este trabajo se presentan los resultados de un modelo dinámico de cuenca para apoyar la gestión integrada del recurso hídrico,



y que formará parte del sistema de apoyo a las decisiones que el IMTA actualmente está desarrollando. El modelo se aplicó a la cuenca del río Bravo, que es una de las regiones críticas por la escasez de agua que tiene México, y que actualmente está pasando por un periodo de sequía prolongada. Esta problemática se agrava debido a que en la cuenca se comparten las aguas con los Estados Unidos de América.

La cuenca y el desarrollo sustentable

La gestión del agua es, de hecho, una gestión de conflictos, los cuales no se pueden evitar y surgen conforme se usa el recurso. Los desafíos que se tienen con el crecimiento de la economía y de la población van emparejados con el uso del agua. Además, las variaciones espa-

ciales y temporales en que se presenta el recurso, su escasez o abundancia y la forma en que se merma su calidad dificultan el uso de soluciones sencillas.

La gestión debe orientarse a maximizar en forma equilibrada los beneficios sociales, económicos y ambientales para alcanzar la sustentabilidad del desarrollo de la cuenca a través del uso racional y aprovechamiento eficiente del agua. Los objetivos para alcanzar el desarrollo sostenido en una cuenca son: en lo ambiental, tener un equilibrio en cantidad y calidad del recurso hídrico, y preservar tanto el agua como su entorno; en lo social, garantizar el bienestar y la seguridad de la población, contribuir a la equidad regional entre las comunidades y hacer que éstas tengan una verdadera participación en la toma de decisiones; y en lo económico, mantener el crecimiento y la generación de empleos suficientes para ofrecer una calidad de vida aceptable en la cuenca, así como producir alimentos y energía suficientes tanto para la región como para mantener la soberanía nacional.

Para alcanzar tales objetivos, el modelo que se ha adoptado en varias naciones consiste en crear entidades de cuenca, que en el caso de México son los Consejos de Cuenca en coordinación con las Gerencias Regionales de la Comisión Nacional del Agua. En estos organismos, a través de la participación organizada de los actores de la gestión del agua en la cuenca, se comparten capacidades, se establecen criterios y se definen metas, con el afán de mejorar la toma de decisiones y diseñar estrategias para la región.

Instrumentos de manejo para apoyar la gestión

Como ya se mencionó, se requieren herramientas y métodos de análisis que ayuden en la toma de decisiones para elegir las mejores



alternativas de desarrollo y poder formular planes apropiados. Las estrategias o alternativas deben considerar políticas consensuadas, los recursos disponibles en el momento y los que se pueden incorporar después, así como los impactos ambientales, sociales, económicos y tecnológicos que pudieran producirse por las acciones planteadas.

En este sentido, actualmente se cuenta con una gama muy amplia de métodos tanto cuantitativos como cualitativos que permiten realizar análisis confiables y con un enfoque integral del manejo del agua en la cuenca. Principalmente, las disciplinas de análisis de sistemas, investigación de operaciones y teoría de decisiones combinadas con aquéllas como la economía, la hidrología, la hidráulica, las ciencias ambientales, la sociología y otras que permitan estudiar los problemas del agua han permitido generar los instrumentos de gestión que se necesitan para definir y evaluar los escenarios del manejo del agua.

La gestión implica conocer los elementos disponibles de esos instrumentos, saberlos seleccionar, regular y aplicar de manera combinada, de tal manera que sea posible evaluar la disponibilidad del agua superficial y subterránea en el tiempo y en el espacio, en cantidad y calidad, y contrastarla contra las demandas de su uso y aprovechamiento (eficiencia e intensidad), cumpliendo con la legislación y normatividad vigentes.

Para poder integrar todos estos elementos relacionados con el manejo del agua y estar en condiciones de realizar una evaluación confiable, el uso de la modelación dinámica es el instrumento más apropiado, ya que permite establecer la interacción que tiene cada elemento de un sistema y analizarlo a éste como un todo, evaluando así el comportamiento dinámico de la cuenca.

Figura 1. Dinámica del sistema integral de la cuenca



La dinámica de una cuenca como sistema integrado se puede representar como se muestra en la figura 1.

El proceso inicia con la precipitación en la cuenca, la cual genera la disponibilidad del agua tanto superficial como subterránea. Se pueden tener casos en que las aguas sean importadas de otras cuencas o acuíferos. El exceso o escasez genera severas consecuencias. Para disponer del agua se requiere de la infraestructura adecuada, según sea el uso que se le vaya a dar, pero, dependiendo del uso y aprovechamiento que se le dé al agua y al suelo, es posible generar problemas de contaminación y erosión, respectivamente, cuya corrección o mitigación, al igual que la de los problemas generados por los extremos, requiere de la infraestructura necesaria. Contar con el recurso nos da seguridad en varios ámbitos. La cantidad de extracción estará en función de lo que demande la población, la tecnología con que se cuente y el tratamiento que se dé al recurso para mantener su calidad. Se requiere de un sistema financiero que permita invertir en la infraestructura necesaria y contar con un sistema de tarifas para mante-



ner y operar los hidrosistemas. Para lograr lo anterior se requiere de cultura, educación y capacitación de la sociedad en su conjunto. La entidad de cuenca, como responsable de la gestión, debe velar para que se logre el equilibrio de los objetivos del desarrollo sustentable, por lo que debe atender todo lo anterior, al mismo tiempo que establecer la coordinación entre las instituciones involucradas en la gestión del agua, definir políticas y establecer las bases legales para que se disponga del recurso en forma racional y eficiente.

En el IMTA se ha desarrollado un modelo dinámico para evaluar escenarios prospectivos del manejo integral del agua y, con ello, estar en condiciones de entender el comportamiento de la disponibilidad del agua que se genera en la cuenca y cómo ésta es usada y aprovechada por los diferentes usuarios de la región ante diferentes escenarios. El modelo está construido en la plataforma *Stella Research* por la facilidad con que se trabaja con este sistema de simulación. A continuación se presenta la aplicación del modelo a la cuenca del río Bravo.

EVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO BRAVO Y ESCENARIOS PROSPECTIVOS

Características de la cuenca

El río Bravo (Grande) sirve de frontera entre México y los EU en una longitud de 2,001 km, el 70% de la longitud total del río, que es de 2,896 km. En su recorrido recibe los aportes del río Pecos por el lado estadounidense y los ríos Conchos, Salado y San Juan por el lado mexicano, además de otros afluentes de menor importancia (ver figura 2).

En la cuenca mexicana del río Bravo, el clima predominante es entre seco y muy seco. Este último se presenta en la cuenca del río

Figura 2. Cuenca del río Bravo e infraestructura hidráulica



Conchos y en parte del colector principal de Ciudad Juárez, Chihuahua hasta la ciudad Del Río, Texas (CNA, 1999b). El clima seco se presenta en el resto de la cuenca, con excepción del tramo aguas abajo de la presa internacional Falcón, en donde es templado subhúmedo (ver figura 3).

Se estima que del lado mexicano escurren al río Bravo 2,226 hm³ en promedio anual, de donde el río Conchos aporta 858 Mm³ en su descarga al río Bravo, el río Salado 324 hm³ que descarga a la presa Falcón, el colector principal 701 hm³ y el resto proviene de los cuatro ríos menores aforados (PNH, 1981, Aparicio, 2001). Es importante mencionar que de este volumen corresponde a EU un tercio, como lo establece el Tratado Internacional de Límites de Aguas entre México y los Estados Unidos de América de 1944 (CNA, 1999b). Adicionalmente, con base en el Tratado de

1906, se reciben 74 hm³ procedentes de EU en el valle de Juárez.

Existen 49 acuíferos en explotación, pero sólo 38 cuentan con información geohidrológica suficiente para determinar el balance. La recarga natural de los 38 acuíferos se estima en 2,514 hm³ anuales con extracciones del orden de 2,537 hm³, por lo que existe un déficit general en el nivel de la cuenca de 23 hm³/año. Se han identificado 18 acuíferos como subexplotados, 20 acuíferos sobreexplotados (6 en Coahuila, 8 en Nuevo León y 6 en Chihuahua), ver figura 4 (CNA, 1999b).

De acuerdo con el índice general de calidad del agua (ICA), el cauce del río Bravo se divide en dos secciones: de Ciudad Juárez, Chih., a Ciudad Acuña, Coah., que se clasifica como contaminado a poco contaminado (figura 5). De Ciudad Acuña hasta la desembocadura en el Golfo de México las aguas del río se clasifican de poco contaminadas a aceptables. En algunos puntos cercanos a centros de población importantes, como Reynosa y

Figura 3. Climas en la región fronteriza (Fuente: INEGI).



Matamoros, se detectaron aguas calificadas como poco contaminadas a aceptables.

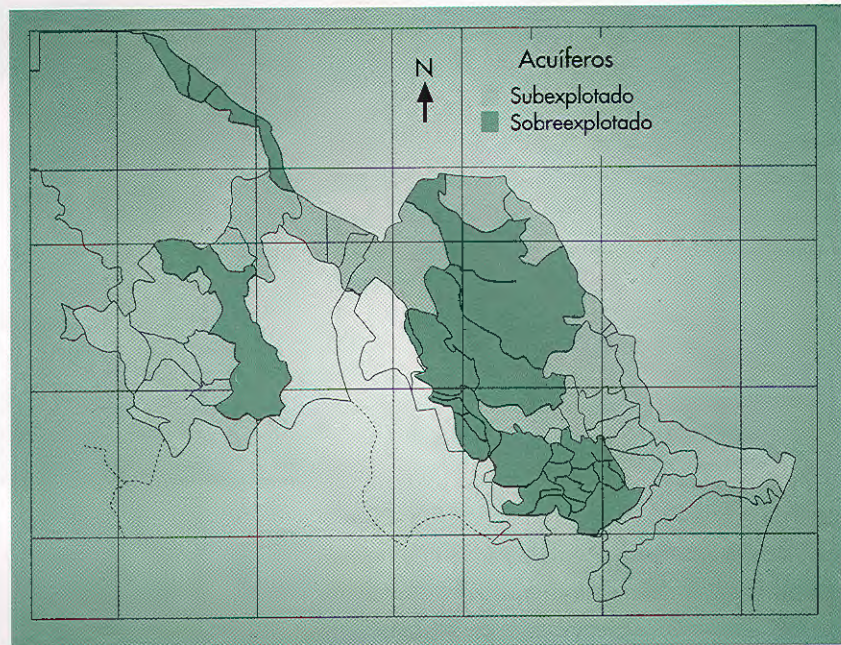
Con el programa Monterrey IV se construyeron para el área metropolitana de Monterrey tres plantas de tratamiento con capacidad de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ que iniciaron su operación entre 1994 y 1995, por lo que el total de las aguas residuales del área metropolitana reciben un tratamiento secundario antes de ser vertidas al río Pesquería, lo que ha mejorado notablemente la calidad de las aguas en esta corriente. Algo similar ha sucedido en la corriente del río San Juan, ya que en 1993, dentro del mismo programa de Monterrey IV, se procedió al saneamiento de la cuenca del río San Juan mediante la cancelación de descargas y la instalación de plantas de tratamiento. El río Salado se clasifica como poco contaminado.

En la cuenca se ha construido una importante infraestructura hidráulica para almacenamiento y regulación (ver figura 2). La capacidad útil total de los cuerpos de agua es de $14,700 \text{ hm}^3$.

Figura 5. Calidad del agua en el río Bravo (CNA, 1999 a).



Figura 4. Principales acuíferos de la cuenca del río Bravo (CNA, 1999 a).



En la cuenca hay 10 distritos de riego, los cuales en total tienen una superficie regable de 458,200 hectáreas. Se estima que la extracción de agua para los distritos de riego de la cuenca del río Bravo es de $2,333 \text{ hm}^3$ al año. En la cuenca también existen 2,156 Unidades de Riego (URDERALES) que se distribuyen en 25 distritos de desarrollo rural y que cubren una superficie regable de 277,450 hectáreas. La operación de las unidades de riego se basa principalmente en agua subterránea. Los URDERALES demandan una extracción anual de agua de $4,311 \text{ hm}^3$. El total del área bajo riego en la cuenca –distritos de riego y URDERALES– es de 726,750 hectáreas para las cuales se usan del orden de $6,600 \text{ hm}^3$ al año.

En la cuenca del río Bravo, para el año 2000, el 94% de las viviendas tenían agua entubada, el 84% disponía de drenaje y el 95% disfrutaba de energía eléctrica. Los flujos migratorios de la cuenca son principalmente hacia los centros urbanos y de origen fundamentalmente rural, implicando una marcada concen-

tración de la población en las ciudades grandes. El flujo migratorio el año de 1995 fue de 78% para grandes ciudades, 13% urbanas medias y 9% en comunidades rurales, porcentajes muy superiores a los porcentajes nacionales de 50%, 23% y 27%, respectivamente, los cuales señalan un fenómeno acelerado de urbanización INEGI (1950, 1970, 1990, 1995 y 2000).

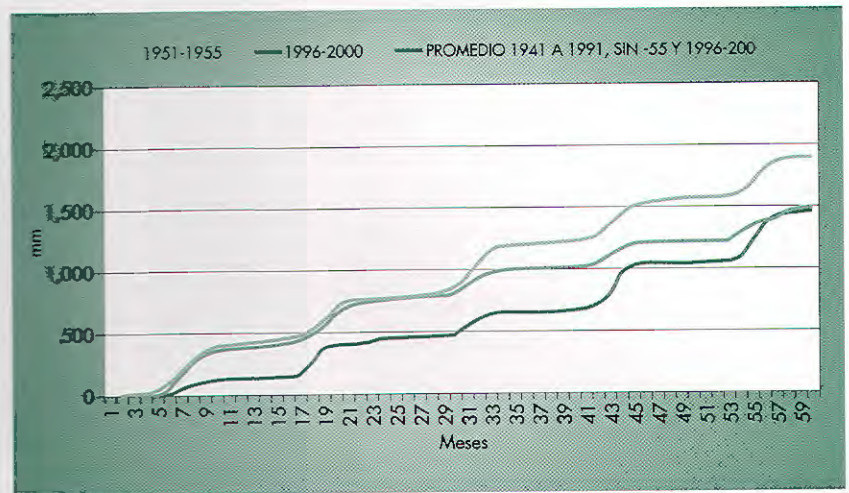
Situación actual y perspectivas

El incremento de la población en el periodo 1950-1970 en los estados que conforman la región fue del 94%; para el periodo 1970-1990, disminuyó al 66% y en el periodo 1990-2000, registró un incremento de 22%, lo cual indica que hay una clara tendencia a la desaceleración del ritmo de crecimiento de la población regional. En el periodo 1970-1990, el estado de Nuevo León registró la más alta del periodo en la región. En el periodo 1990-2000, Chihuahua y Nuevo León compartieron la tasa más alta de incremento poblacional de la región, con un 25 y 24%, respectivamente (INEGI, 1950, 1970, 1990, 1995 y 2000).

Sequía actual

En la figura 6 se observa que la precipitación acumulada de 1995 a 2000 se ubica dentro de las más bajas de la historia, pues es apenas 26 mm superior a la observada en la peor sequía, de 1951-1955. Aunado a lo anterior, los tres últimos años del quinquenio 1990-1994 tuvieron precipitaciones bajas, disminuyendo la humedad de los suelos, y aunque el quinquenio comenzó con precipitaciones similares a las de años menos críticos, la situación se deterioró considerablemente a partir del segundo año, por lo que las lluvias posteriores a ese periodo no se han reflejado en escurrimientos de magnitudes similares a los que han ocurrido con lluvias semejantes en periodos de mayor humedad en el suelo. Es impor-

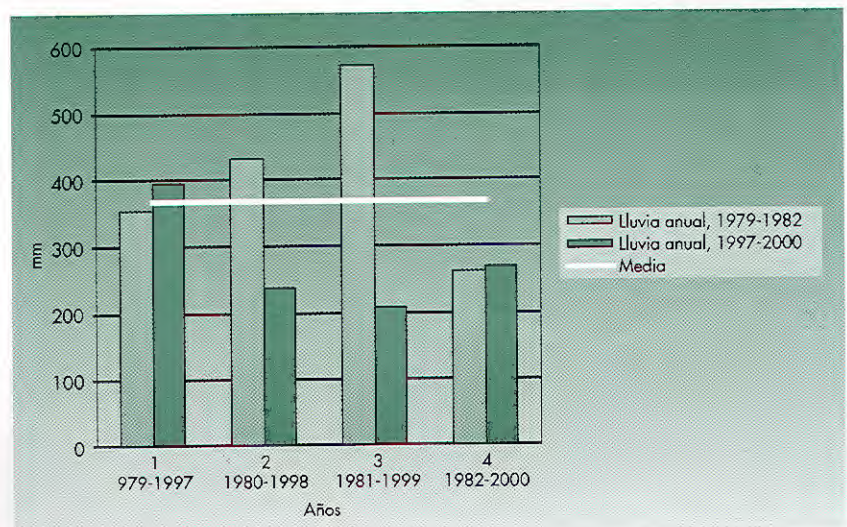
Figura 6. Precipitación acumulada por quinquenio. Cuenca del río Conchos.



tante destacar que en la comparación entre ambos periodos analizados, 1951-1955 y 1995-2000, la contabilidad de agua del Tratado empezó hasta octubre de 1953, es decir, cuando esa sequía ya tenía un periodo de presentarse y por otro lado, la diferencia tan grande en lo que se refiere a la población en la cuenca, en casi 50 años de diferencia.

Para demostrar este efecto, se hizo un análisis de los periodos 1979-1982 y 1997-2000 (figura 7). Ambos periodos comienzan con pre-

Figura 7. Caracterización de la sequía. Lluvias anuales.

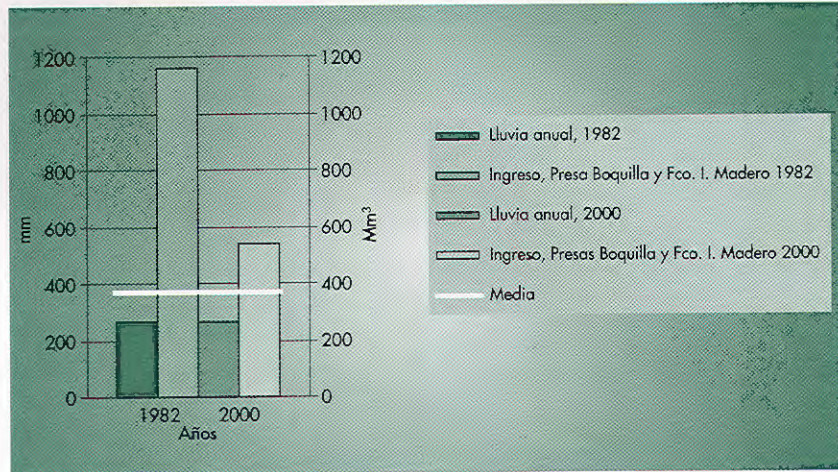


precipitaciones medias anuales en la cuenca similares, años 1979 y 1997, equivalentes a la media histórica y terminan con cantidades de lluvias semejantes en 1982 y 2000, respectivamente (figura 7). Se observa, sin embargo, que los ingresos a las presas La Boquilla y Francisco I. Madero son mucho menores en 2000 (47%) que en 1982 (figura 8). La diferencia se debe claramente a que en el primer periodo las lluvias antecedentes, 1980 y 1981, fueron abundantes, mientras que en el año 2000 fueron precedidas, en 1998 y 1999, por lluvias menores que la media (figura 7). Las bajas precipitaciones en la cuenca, en los años 1998 y 1999, ocasionaron una disminución en el contenido de humedad en el suelo y las lluvias que se presentaron en el 2000, en gran parte se infiltraron, provocando una disminución en los ingresos de agua a ambas presas en ese año. Es importante puntualizar que se seleccionaron estas presas por no tener ningún aprovechamiento aguas arriba y, por tanto, los resultados no están influidos por ninguna política de operación.

Condición actual de pago

El Tratado Internacional de Límites de Aguas entre México y Estados Unidos define la asignación de las aguas internacionales de la forma siguiente: corresponde el 50% a cada país de los escurrimientos no aforados que descargan al cauce principal más lo que escurre por el mismo río Bravo; dos terceras partes a México de los ríos Conchos, Salado y de cuatro ríos aforados (arroyo las Vacas, San Diego, San Rodrigo y Escondido) y la tercera parte restante, esa tercera parte que se asigna a los EUA debe ser mayor o igual a 431.721 hm³ al año, en conjunto y en promedio en un periodo de 5 años consecutivos a EU le pertenecen 2,158.6 hm³. Se considera terminado este periodo siempre que la capacidad útil asignada a los EU, de las presas internacionales la Amistad (55%) y Falcón (48%), se llene con

Figura 8. Caracterización de la sequía. Lluvias y escurrimientos de los años 1982 y 2000.



aguas pertenecientes a los EU, y serán considerados todos los débitos totalmente pagados, iniciándose a partir de ese momento un nuevo ciclo de 5 años (Lanz, 1982, Orive, 1945).

El 16 de marzo del presente año se firmó la minuta 307 en la que se acuerda a solicitud de EU el pago de 740 hm³ de agua, correspondiente al periodo del 1 de octubre de 2000 al 31 de julio de 2001, contabilizándose al 21 de junio 386 hm³, con un déficit de 354 hm³ a pagar hasta el 31 de julio del presente año.

En la tabla 1 se presenta la contabilidad preliminar de las aguas del río Bravo.

Tabla 1. Contabilidad preliminar del pago de aguas del río Bravo

	Mm ³
Volumen contabilizado 27 Sep. 97 – 30 Sep. 2000	896
Volumen contabilizado 1 Oct. 2000 – 21 Jul. 2001	417
Volumen contabilizado 27 Sep. 97 – 21 Jul. 2001	1,313
Volumen contabilizado 27 Sep. 92 – 26 Sep. 97	897
Volumen contabilizado 27 Sep. 92 - 21 de Jul. 2001	2,210
Volumen contabilizado al ciclo 25	2,159
Volumen contabilizado al ciclo 26	51
Déficit de pago 22 Jul. 2001 - 31 Jul. 2001 (Acta 307)	354
Por entregar del 22 de Jul. 2001 - 26 Sep. 2002 (Tratado)	2,108

Situación de las entregas y el déficit en escurrimientos de los afluentes mexicanos

Los análisis hidrológicos permiten constatar que el sistema quinquenal de contabilidad establecido para dar cumplimiento a las entregas de agua a los Estados Unidos a las que México está obligado, le otorga la flexibilidad necesaria para dar cumplimiento a sus obligaciones y, al mismo tiempo, disminuir una buena parte de las presiones asociadas a épocas de escasez por bajos escurrimientos.

Hasta la fecha se han cerrado 24 ciclos; el ciclo 25 concluyó en septiembre de 1997 y el 26, actualmente vigente, concluirá en septiembre de 2002. México ha cumplido con sus volúmenes de aportación. En el ciclo 25 no terminó las entregas a tiempo y en el 26 se tiene un notable retraso. Actualmente, conforme a las entregas, se ha completado con el ciclo 25 y existe un déficit de 2,108 hm³ del 26.

Ante una solicitud de EU, en vías de reducir el déficit en la porción de los tributarios mexicanos del río Bravo, la Comisión Internacional de Límites de Aguas (CILA) se reunió en Washington para llegar a un acuerdo, el cual está plasmado en el acta 307 del 16 de marzo de 2001. Se contabilizó un volumen preliminar de 287 hm³ a favor de los EU, por lo que todavía faltaba por cubrir antes del 31 de julio de 2001 un volumen de 453 hm³ y se observó que se tenía un rango entre 610 y 733 Mm³, que razonablemente podría esperarse al 31 de julio de 2001.

Se acordó la necesidad de elaborar un plan de contingencia para el caso en que el escenario más favorable no ocurriese, imposibilitándose México de liberar el volumen requerido de 740 hm³. Este plan de contingencia consideraría la extensión de asignación de los tributarios no medidos durante septiembre, lo cual podría ser factible para cubrir el re-

REFERENCIAS

- Aparicio, Javier (2001), *Transboundary Water Resources Management Between Mexico and the United States of America*, Proc. International Conference on Transboundary Water Resources, Koblenz, Alemania.
- Comisión Nacional del Agua (1999a), Lineamientos estratégicos para el desarrollo hidráulico de las regiones hidrológicas río Bravo y cuencas Cerradas del norte, pertenecientes a la región VI, río Bravo.
- Comisión Nacional del Agua (1999b), *Estrategia de gran visión para el abastecimiento y manejo del agua en las ciudades y cuencas de la frontera norte en el periodo 1999 - 2025*.
- INEGI (1950, 1970, 1990, 1995 y 2000), Censos Generales de Población y Vivienda, México.
- Lanz Cárdenas, José Trinidad, *Legislación de aguas en México*, Tomo III, cuarta parte, aguas internacionales fronterizas, Consejo Editorial del Gobierno del Estado de Tabasco, México, 1982.
- Orive Alba, Adolfo (1945), Informe técnico sobre el Tratado Internacional de Aguas, presentación ante el H. Senado Mexicano con motivo de la discusión del Tratado, *Revista Irrigación en México*, Julio-septiembre.
- Plan Nacional Hidráulico, Balances hidráulicos regionales, Anexo 4, Comisión del Plan Nacional Hidráulico, 1981.

* Por sus siglas en inglés.

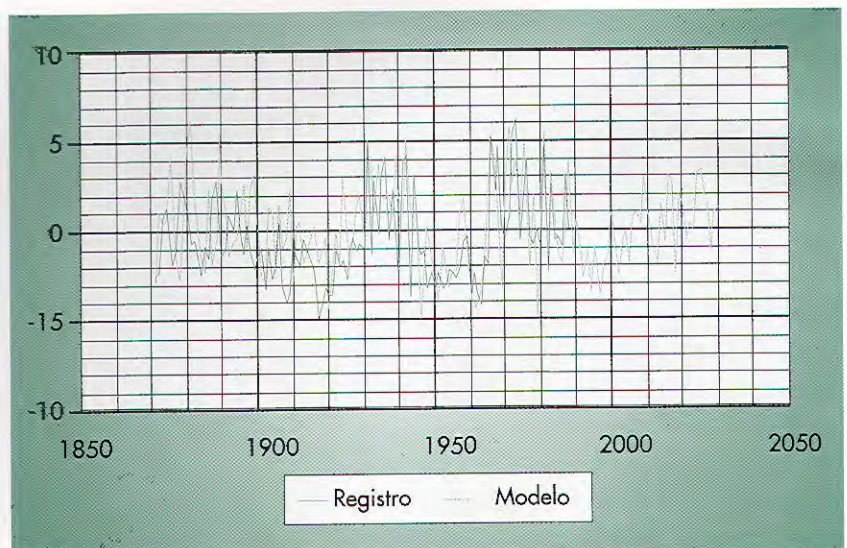
querimiento de EU e incluso la aportación de agua de las presas Luis L. León, La Fragua, Centenario y San Miguel. Con base en ello se firmó el acta 307, acordándose lo siguiente:

- Que los dos gobiernos adopten el marco descrito en dicha acta para asegurar que México entregue a EU 740 hm³ de acuerdo con los dos escenarios descritos arriba.
- Que los dos Gobiernos continúen las discusiones, a través de la CILA, para llegar a un acuerdo antes del final de 2001 para desarrollar medidas adicionales que el Gobierno de México deberá tomar para cubrir el déficit del ciclo principal y cualquier otra medida que considere necesaria respecto al último año del presente ciclo.

Pronóstico de precipitación

Con el fin de obtener un pronóstico climático para los próximos cinco años, se utilizó el Índice de Sequía de Palmer (PDSI)* para el cual se empleó una base de información del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR por sus siglas en inglés), sobre una rejilla de puntos considerando las condiciones cli-

Figura 9. Índice de sequía severa de Palmer. Pronóstico de lluvias para la cuenca del río Bravo.

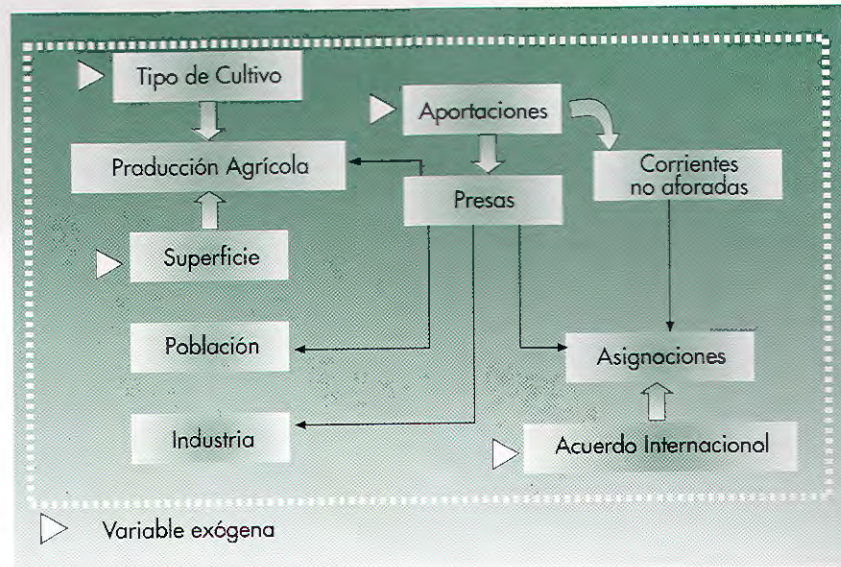


máticas asociadas al mes de julio como las más representativas del verano.

En la figura 9 se presenta el pronóstico de lluvia de la región del río Bravo con base en el Índice de Sequía de Palmer. La figura muestra los valores medidos y modelados (históricos y futuros) para el mes de julio correspondientes a la región, tomados los valores de la estación Laredo, Texas.

Con el valor anual del PDSI obtenido de la modelación se estimó la precipitación para un periodo de 6 años, tomando como origen el año 2000. En la figura 10 se muestran los valores estimados de precipitación para la presa La Boquilla. En las aplicaciones descritas a continuación se usarán estos pronósticos como base para la simulación con fines exclusivamente demostrativos. Se observa que, de acuerdo con los mismos, se tendrán condiciones de precipitación inferior a la media durante los próximos años. Obviamente, si dichas condiciones son menos severas que las pronosticadas, la situación general será menos desfavorable que la resultante de la simulación.

Figura 11. Esquema conceptual del modelo de la cuenca del río Bravo.



Los pronósticos climáticos indican la posibilidad de que la sequía continúe. Con base en estos pronósticos se analizaron dos posibles escenarios de distribución del déficit y sus posibles repercusiones.

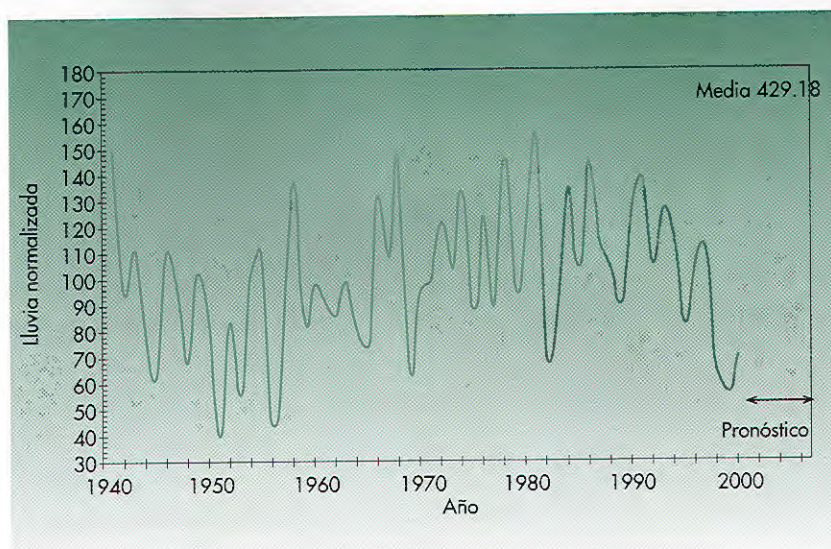
MODELACIÓN DINÁMICA

La modelación parte de la división de la cuenca del río Bravo en cinco subcuencas principales: Bravo medio alto, Bravo medio bajo, los ríos Conchos, Salado y cuatro ríos*, siendo uno de los usuarios principales el conjunto de los distritos de riego 090, 005, 103, 050, 006 y 004, 050, 025, 026. En la figura 11 se muestra el esquema conceptual para la modelación de la cuenca del río Bravo, indicando las interacciones de sus principales usuarios.

El esquema de modelación utilizado está compuesto por tres segmentos principales:

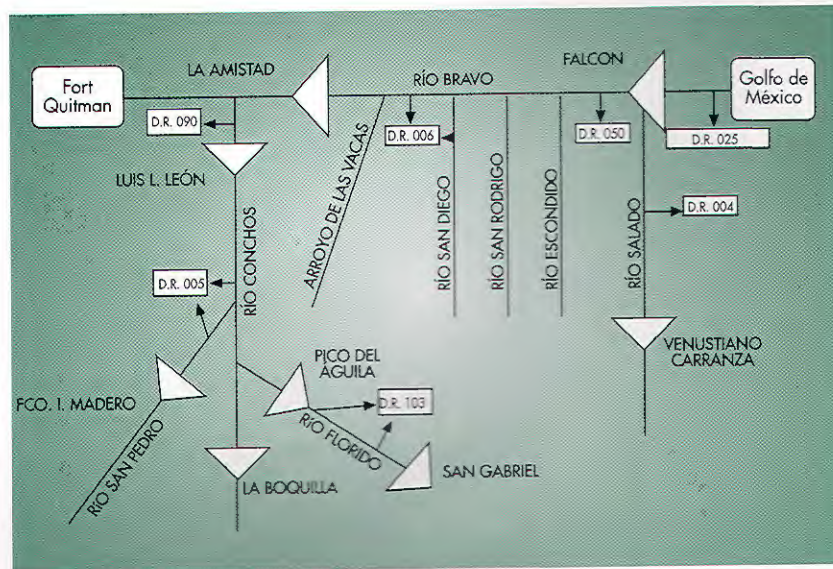
1. El ciclo hidrológico para la cuenca de cada una de las presas principales.
2. La presa misma, con su comportamiento de vaso (entradas, salidas y extracciones).

Figura 10. Precipitación histórica y pronosticada para la presa La Boquilla.



* Arroyo las Vacas, San Diego, San Rodrigo y Escondido

Figura 12. Sistema río Bravo.



3. La demanda de agua agrícola, que representa los ciclos productivos: primavera-verano, otoño-invierno y perennes, para cada Distrito de Riego.

Asimismo, el modelo del sistema constituido por la cuenca del río Bravo se representa en la figura 12.

Diseño de escenarios prospectivos

La tabla 2 muestra la superficie regable y el volumen concesionado registrados para cada distrito de riego, así como las superficies y los volúmenes promedio reales para los últimos diez años, la superficie regada, los volúmenes de distribución para los últimos dos años y la superficie programada para 2001.

Para analizar la evaluación de pagos de agua se plantearon dos escenarios prospectivos:

En el primer escenario se consideraron las condiciones establecidas en el Tratado, que comprenden sólo las aportaciones de un tercio de los volúmenes de las corrientes aforadas para el pago. En la tabla 3 se muestran los resultados. Se observa que, considerando el ciclo 25 totalmente pagado al 21 de julio de 2001 y cumpliendo estrictamente las condiciones del tratado, al 30 de septiembre de 2002, cuando concluye el ciclo 26, se habrán pagado 229.74 hm³. Además, en el año 4 del ciclo 27 se habrá pagado un volumen de 770.43 hm³ correspondientes al ciclo 26, sin ningún

Tabla 2. Distribución de volúmenes en los Distritos de Riego

Estado	Distrito de riego	Superficie regable* (ha)	Concesión Fuente superficial* (Mm ³)	Promedio de 10 años (1991-2000)		Sup. regada (ha)		Vol. Dist. (Mm ³)		Superficie programada 2001
				Sup. R. (ha)	Vol. Dist. (Mm ³)	1999	2000	1999	2000	
Chihuahua	103	8,277.70	188.88	6,898	101.60	3,824	3,826	71	57	2,422
	05	77,800.96	941.60	65,281	1,020.20	30,787	52,250	500	883	15,491
	90	10,851.23	84.99	7,414	133.90	5,591	6,211	117	108	2,604
Nuevo León	04	29,598.38	206.82	12,231	170.50	0	15,844	0	202	0
Coahuila	06	6,421.00	25.31	6,054	59.60	3,759	3,782	23	29	3,896
Tamaulipas	50	6,784.00	28.80	1,739	6.10	1,165	1,260	4	5	0
	25	203,370.93	860.4	153,28	590.70	129,235	116,636	176	240	0
	26	10,385.00	464.08	6,759	51.00	6,212	5,970	23	33	0

* Fuente: Padrón de Usuario de cada Distrito de Riego.

** Fuente: Bases de Datos REPDA.

Tabla 3. Escenario. Pagos en escenario 1 (Volumen en hm³)

	Hasta el 21/07/01	Año 4 ciclo 26	Año 5 ciclo 26	Año 1 ciclo 27	Año 2 ciclo 27	Año 3 ciclo 27	Año 4 ciclo 27
Total	2.210.00	64.64	114.10	117.25	129.85	147.05	146.04
Acumulado Ciclo 25	2.159.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acumulada Ciclo 26	51.00	115.64	229.74	346.99	476.99	623.89	770.43

pago del 27. Por otra parte, se estima que este escenario tendría un impacto significativo en la distribución de los volúmenes distribuidos en los distritos de riego.

En el segundo escenario se consideró entregar volúmenes de 431.7 hm³ anualmente. Los resultados indican que sería necesario extraer grandes volúmenes de las presas mexicanas, poniendo en riesgo el abastecimiento de agua en la zona.

Los análisis realizados indican que, en cualquiera de los dos escenarios, los niveles en las presas mexicanas se mantendrían sumamente bajos durante los próximos años, como se puede observar en la figura 13.

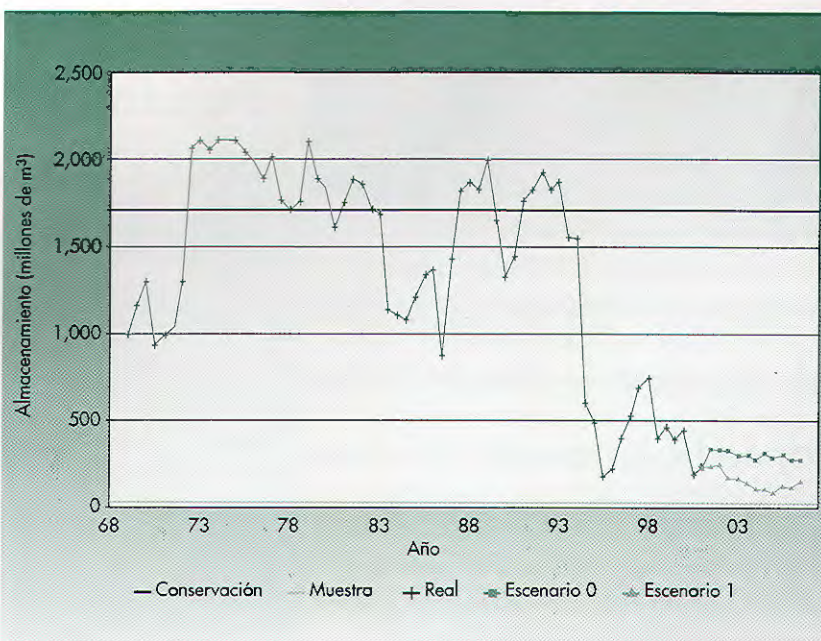
De los análisis anteriores se desprenden los siguientes comentarios:

- Los pronósticos climáticos indican una precipitación por debajo de la media para el presente año. Sin embargo, aunque la precipitación resulte mayor que la pronosticada, se esperaría que los escurrimientos fueran poco significativos dadas las condiciones secas que actualmente mantienen los suelos de la región.
- La precipitación pronosticada para los próximos cinco años está también por debajo de la media, lo que indica que se podría

continuar con el déficit de lluvia hasta el año 2006.

- El volumen contabilizado desde que inició el ciclo 26–27 de septiembre de 1997 hasta el 21 de julio del presente año es de 1,313 millones de metros cúbicos, lo que representa el 76% del volumen a pagar. Si el volumen contabilizado hasta el 21 de julio de 2001 se considera como pago del ciclo 25, entonces lo que queda abonado para el actual ciclo 26 es sólo el 4%, lo que indica, dadas las condiciones climatológicas que se pronostican, que podría ser difícil que México cumpla con los volúmenes por pagar en el presente ciclo.
- Aun si la sequía dejara de ser tan severa como en los últimos años, se requiere adoptar medidas de conservación del líquido para asegurar el abasto de agua a los usuarios de la cuenca—en particular a los de las poblaciones— para garantizar un desarrollo regional sustentable. ☒

Figura 13. Almacenamientos históricos y pronosticados para los dos escenarios en la presa La Amistad.



AGUA y ENERGÍA

- México es un país que tiene bien diversificadas sus fuentes de energía y cuenta con el suficiente abasto energético para satisfacer la demanda durante la presente década.
- El 25% de la producción eléctrica en México proviene de la infraestructura hidroeléctrica.
- En México tenemos el clima apropiado para que se reactive la construcción de grandes, medianas y pequeñas presas.

Autor



Recientemente se llevó a cabo el *Segundo simposio intersectorial sobre agua y energía para el desarrollo económico sustentable de México en el siglo XXI* organizado por la Academia de Ingeniería que preside el doctor José Luis Fernández Zayas (JLFZ), investigador de la UNAM en el área de ingeniería de procesos industriales y ambientales

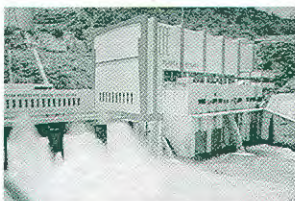
y director general de Investigación y Desarrollo de Tecnología y Medio Ambiente de la Secretaría de Energía, quien amablemente concedió una entrevista a Tláloc AMH. Durante esta entrevista, el Dr. Fernández nos dio a conocer algunas de las conclusiones de esta importante reunión y sus puntos de vista sobre la problemática energética del país y su relación con el agua:

Tláloc AMH: ¿Nos podría comentar, en el contexto de esta importante reunión, cuál es el panorama energético del país para los próximos cincuenta años y qué papel se espera que juegue el recurso agua?

JLFZ: En términos generales, el panorama es muy favorable. México es un país que tiene bien diversificadas sus fuentes de energía y cuenta con suficiente abasto para los próximos años, en primer lugar por el bajo crecimiento de la economía, y por ende del consumo, que ha sido mucho menor al 6 o 7 % que estaba planeado para estos años y no se percibe que vaya a crecer mucho más para el mediano plazo. En segundo lugar porque contamos con la posibilidad del ahorro, a través de una adecuada cultura basada en la racionalidad, que es la manera más económica para liberar y producir recursos energéticos. México ya aprendió esta lección: las empresas del estado y la propia Secretaría de Energía han adoptado las medidas pertinentes, acordes al Plan Nacional de Desarrollo, que favorezcan esta acción.

Es factible que en el futuro, la planta productiva del país, específicamente las grandes empresas como Pemex, cada vez mejor organizadas y equipadas, logren ahorros muy sustanciales haciendo uso, por ejemplo, de la cogeneración, que es una opción muy atractiva.

Por otra parte, en lo que se refiere a la producción energética sustentable, en un horizonte de cincuenta años tendremos que considerar con mucha seriedad el hecho de que durante las últimas dos décadas nos hemos apoyado básicamente en los combustibles fósiles. Con seguridad, aunque paulatinamente, este concepto dejará de ser tan atractivo aun para las plantas de ciclo combinado. Al respecto, es importante señalar que durante el Simposio Sectorial, tanto los expertos como los representantes de la iniciativa privada y del gobier-



■ Presa Adolfo López Mateos, Sinaloa.

no federal coincidieron en que es necesario replantear esta situación.

En cuanto al binomio agua y energía, conviene recordar que una parte muy importante de la producción energética, alrededor del 20%, se destina al bombeo tanto de aguas residuales como las destinadas al abasto para el riego, la industria y el uso doméstico. Por ello es necesario considerar que las fugas de agua a la vez representan una considerable pérdida de energía. Es importante tomar en cuenta que el 25% de la producción eléctrica en México proviene de la infraestructura hidroeléctrica. Creo que estamos viviendo un resurgimiento de las hidroeléctricas convencionales. Seguramente tendremos oportunidad de construir grandes obras de este tipo, además de otras que nos permitan aprovechar, como en diversos países, las corrientes marinas. Estas reflexiones también son fruto del Simposio Sectorial y seguramente formarán parte de las recomendaciones que estamos elaborando.

Tláloc AMH: ¿Qué expectativas tiene la construcción de presas para incrementar la producción energética?

JLFZ: Creo que ahora la expectativa es mayor a la que teníamos hace pocos años en que el precio del gas hacía más atractivas las inversiones en otro tipo de generación diferente a la hidráulica, además de que las grandes presas tenían implicaciones ecológicas muy difíciles de justificar cuando se hablaba de internalizar los costos, debido, por ejemplo, a los conflictos derivados de la inundación de los embalses y a los años requeridos para la construcción de una presa. Ahora, por las condiciones ambientales y por la cada vez más problemática disponibilidad de gas, entre otros factores, es muy probable que las presas se vean como una opción mucho mejor.



■ Ixtlán de los Hervores, Michoacán.

En México, principalmente en el sureste, tenemos el clima apropiado para que se reactive la construcción de grandes, medianas y pequeñas presas. Al respecto hay oportunidades para construir hidroeléctricas que además sirvan para la protección de avenidas y para el riego, entre otros usos. Por otra parte, no se debe perder de vista que la construcción de una presa brinda muchas oportunidades para el desarrollo y la aplicación de tecnología propia. Seguramente esos serán argumentos muy firmes a favor de su construcción. Sin lugar a dudas, bajo esta óptica, se puede demostrar la rentabilidad de estos proyectos, aunque se tuviera la necesidad de afectar a algunas poblaciones; desde luego, esto último, bajo el compromiso y la certeza de ofrecerles otras alternativas que les garanticen mejores condiciones de vida. Es un tema que hay que abordar con espíritu integrador. En los años ochenta y noventa estábamos obsesionados con los proyectos realizados con el mínimo costo social, político y económico. Creo que ya se ha demostrado que no es la mejor política para planear el desarrollo del país.

Tláloc AMH: ¿Qué expectativas tiene la producción de energía no convencional en México, en especial la producida mediante centrales mareomotrices?

En términos generales, la producción de energía no convencional que produce cero o muy bajas emisiones tiene muy altas probabilidades, particularmente comerciales, específicamente al sur del país, en lugares como La Ventosa, Oaxaca, donde el potencial eólico es muy importante. Ahí hemos encontrado que la CFE, por razones de su misma estructura financiera, no tiene la flexibilidad apropiada para desarrollar y validar adecuadamente esta tecnología; no obstante, con las modificaciones de ley que buscamos, habrá la posibilidad de subsanar este problema.



■ Estación de distribución de energía eléctrica Ixtapantongo.

En cuanto a la construcción de centrales mareomotrices no se tiene previsto ningún plan, así como tampoco para otro tipo de generación marina, como puede ser el aprovechamiento de sus corrientes. Este tipo de proyectos requieren de estudios y de una maduración tecnológica que las llevaría a una rentabilidad a muy largo plazo; sin embargo, tarde o temprano se necesitará echar mano de esta fuente de energía, por lo que debemos aumentar la capacidad nacional en investigación científica y tecnológica y así prepararnos para tal fin.

Tláloc AMH: ¿Cuál es en síntesis la estructura del sistema energético mexicano y qué modificaciones requiere para su mejor funcionamiento?

JLFZ: Desde hace 20 o 25 años, el sistema energético mexicano se encuentra relacionando, y por tanto estructurado, muy estrechamente a la producción de petróleo y al empleo de sus derivados para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, una serie de problemas políticos, principalmente sindicales, han impedido integrar adecuadamente a estos dos subsectores con la finalidad de abordar la alternativa de la cogeneración; alternativa que se estima podría representar un potencial del orden de la tercera parte de la producción energética del país. Me parece que un buen porcentaje de la regulación del sistema energético está por definirse en esos términos.

La limitante fundamental de nuestro sistema energético está relacionada con el petróleo. Tenemos una gran cantidad de plantas termoeléctricas anticuadas y poco eficientes que aun cambiándolas por plantas de ciclo combinado no alcanzarían la eficiencia deseada, de modo que el sistema energético mexicano volte a ver, cada vez con más entusiasmo, las fuentes de energía que no requieren combustión; entre ellas, naturalmente, están la hi-



■ Ixtlán de los Hervores, Michoacán.

dráulica, la nuclear, la geotérmica y también la eólica y la solar, que cada vez resultan más atractivas.

Por otro lado, la estructura del sistema energético requiere revisar temas como, por ejemplo, el de la interconectividad, no solamente regional sino aquella que se puede y debe establecer con otros países, tanto al norte como al sur de nuestras fronteras y el del aumento de la flexibilidad de los sistemas de abasto remoto o de aseguramiento.

Tlálac AMH: ¿Cuál es la importancia de la reforma energética que se está negociando con el Congreso y cómo se contempla dentro de las propuestas existentes el aprovechamiento del recurso agua como fuente de generación?

JLFZ: La reforma está centrada en una propuesta para modificar y actualizar los artículos 27 y 28 de la Constitución. Lo que se pretende es darle certidumbre jurídica a las actividades relacionadas con la generación y el aprovechamiento de la energía, es decir, que un productor privado produzca y venda energía a un consumidor, ya sea del Estado o no, y pueda ampararse con un contrato formal. Hay que recordar que la mayor parte de las grandes y más importantes empresas mexicanas o transnacionales que operan en nuestro país, cuya producción representa la mitad de la actividad industrial, producen gran parte de su propia energía eléctrica, aunque, en estricto sentido, lo hacen fuera de la ley, no obstante que ésta prevea que la autogeneración se pueda dar entre empresas que son socias del consumidor. Entonces, si una empresa consumidora le vende una acción a una empresa productora de energía eléctrica y viceversa, ya cumple con el requisito legal que los habilita como productores y distribuidores, creándose con ello un panorama muy incierto.



■ Refinería Pemex, Salamanca, Guanajuato



■ Termoeléctrica Rosarito, Baja California Norte.

También la reforma persigue aprovechar la enorme capacidad instalada en forma de plantas de emergencia, que se encuentran en los grandes edificios de oficinas, habitacionales y recreativos y que, por ley, únicamente pueden entrar en operación cuando no haya abasto eléctrico de parte de las compañías estatales; ni siquiera para amortiguar las horas pico de la demanda que, como sabemos, es excesiva para las empresas operadoras.

Otra vertiente que se pretende capitalizar con la reforma energética es la de la explotación de pequeñas centrales tanto hidráulicas como de otras fuentes de energía no contaminantes que no pueden ser construidas por Comisión Federal de Electricidad porque su mandato es maximizar sus recursos de inversión en cuanto al número de beneficiarios. Por ello le conviene mucho más construir una termoeléctrica de ciclo combinado en Nezahualcóyotl que llevarle energía hidráulica mediante pequeñas centrales a los habitantes de la sierra chiapaneca. Ahora que no tenemos presión sobre el abasto eléctrico, habremos de dedicar los próximos años para ponernos de acuerdo y reglamentar el ingreso de la inversión privada a la producción de energía eléctrica; por ello es urgente modificar el artículo 27, porque de otra manera continuaremos en el absurdo de que nos encontramos fuera de la ley todos los que utilizamos automóviles que cuentan con una batería con la que generamos nuestra propia electricidad; en el mismo caso se encuentran quienes utilizan cualquier tipo de producto eléctrico que trabaja con la energía proveniente de una fuente independiente y que se puede comprar en cualquier tienda. Esto se debe a que el texto fue pensado para la realidad de principios del siglo pasado.

Por otra parte, estas reformas que se formulan al Congreso buscan equilibrar el costo de la misma energía que tiene que plantearse

desde el punto de vista de cada región del país: no es lo mismo Mexicali, Baja California, que Villa Hermosa, Tabasco o que el centro del país. Tenemos que crear oportunidades de desarrollo regional diferenciales, no nada más a través de la construcción de pequeñas y medianas obras hidráulicas, sino también, y con mayor razón, de las grandes obras. Existe la convicción de los inversionistas que quieren tener esa oportunidad; a mí en lo particular me gustaría que la tuvieran, porque nos beneficiaría a todos.

Tláloc AMH: ¿Nos podría comentar la manera en que los especialistas en hidráulica podemos contribuir a la solución de la problemática energética del país?


JLFZ: Los especialistas en hidráulica tienen diversos conocimientos técnicos adicionales a la hidráulica que es necesario reforzar, empezando por el manejo de información sistemática y confiable, por ejemplo, del clima. Con esto no me refiero a los diagnósticos a corto plazo, sino a la información climática precisa respecto, por ejemplo, de las precipitaciones y sus tendencias o de las características de evaporación que nos permitiría conocer con mayor precisión la magnitud del recurso esperado, las relaciones entre el recurso y su comportamiento en cuanto a la afectación de acuíferos y las amenazas de inundación. Aunque sabemos que siempre ocurrirán fenómenos extremos como *Isidore*, quisiéramos que el impacto fuera cada vez menos grave.

Los especialistas en hidráulica necesitan, también, identificar oportunidades actualmente no explotadas de canalización de algunos de los recursos hidráulicos hacia los acuíferos o bien a otro tipo de sistemas de almacenamiento. Algunos expositores en el Simposio nos recordaron que la infraestructura hidráulica disponible en México representa aproximadamente el 17% del total de



■ Presa Peñitas, Chiapas.

la que necesita el país para aumentar el aprovechamiento del recurso agua, tomando en cuenta que en una parte del país se tiene agua en exceso y en otra se presenta una aridez creciente. Este es uno de los enormes retos que tienen ante sí los especialistas en hidráulica

Los hidráulicos también se destacan por ser muy buenos en la planeación integrada a la macroeconomía y a la microeconomía. Estos conocimientos, sin duda, serán de un gran valor al aplicarse a las obras hidráulicas del futuro. 

*Se les invita al estreno
del video*

HISTORIA DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN MÉXICO

**19 de noviembre, 2002
de 10:30 a 11:00 horas
Gran Salón Ancira
Gran Hotel Ancira
Monterrey, Nuevo León**

h2o *info*

Aspectos geotécnicos en el diseño de lagunas de estabilización

Raúl Flores Berrones, Xiangyue Li Liu, Isaac Bonola Alonso, Mariana Villada Canela*

La mayor parte del tratamiento de aguas residuales en México se lleva a cabo mediante lagunas de estabilización, particularmente en ciudades pequeñas y áreas suburbanas. Sin embargo, las lagunas de estabilización presentan a menudo una mala operación y problemas geotécnicos, que después causan infiltración y transporte de contaminantes al suelo o al agua subterránea. Atendiendo al hecho de que en México no se han establecido criterios claros en cuanto al diseño geotécnico, este trabajo presenta la metodología geotécnica que se debe seguir para prevenir y evitar problemas tales como fugas de agua, fallas geológicas, fallas en taludes, durante las excavaciones y la construcción de bordos, así como en asentamientos. Se presenta también la identificación en campo y laboratorio de suelos problemáticos (expansivos, colapsables, dispersivos, etc.), junto con algunas soluciones para manejar la estabilización o mejoramiento de estos suelos. El criterio y las recomendaciones de este trabajo llegarán a ser una importante y práctica herramienta para constructores al mejorar la vida útil de este tipo de infraestructura.

Palabras clave: laguna de estabilización, aguas residuales, geotecnia, mecánica de suelos, contaminación.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 60% del tratamiento de aguas residuales en México se lleva a cabo mediante lagunas de estabilización, particularmente en ciudades pequeñas y áreas suburbanas. El producto del tratamiento se usa para propósitos de irrigación y fines industriales. El tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización tiene varias ventajas:

- Es un proceso sencillo que no requiere de personal muy capacitado para su operación y mantenimiento.
- Presenta los menores costos de construcción, operación y mantenimiento en comparación con cualquier otro sistema de tratamiento secundario.
- Requiere de poca energía eléctrica.
- Es posible obtener altas eficiencias de remoción de patógenos (bacterias y protozoarios que causan enfermedades en humanos) y helmintos (gusanos que se desarrollan en los intestinos).
- Es posible manejar variaciones en cargas hidráulicas y orgánicas debido a su capacidad amortiguadora.
- La estabilización de la materia orgánica es elevada.
- No es necesario adicionar cloro al efluente para su desinfección.
- Presenta pocos problemas en el manejo y desecho de lodos.

En contraste, este proceso presenta las siguientes desventajas:

- Requiere de grandes extensiones de terreno.

Figura 1. Losa de concreto construida sobre una falla geológica en el fondo de una laguna de estabilización.



- Puede emitir olores desagradables (cuando se sobrecargan).
- Puede entregar un efluente con gran cantidad de sólidos suspendidos.
- Requiere de una ubicación lejana a la población.
- Puede contaminar el manto freático y el suelo.

Desgraciadamente, en México, muchas de las lagunas son diseñadas y construidas sin ninguna consideración geotécnica o de mecánica de suelos. Las consecuencias de estos casos pueden variar desde una mala o deficiente operación de estas lagunas, hasta la falla completa desde su primer día de operación. Los problemas ocasionados por la mala elección de sitio dan como resultado la contaminación de suelos y mantos acuíferos subyacentes por infiltración del agua residual, generando posteriormente la necesidad de llevar a cabo costosos saneamientos en suelos contaminados. Aunque en otros países se dispone de reglamentos para regularizar el diseño y la construcción de lagunas de estabilización, prestando especial atención a problemas de infiltración, estabilidad de talud, así como protección contra erosión, en México definitivamente no existen normas geotécnicas en este tema.

Este trabajo enumera algunos de los principales problemas observados en las lagunas de estabilización en México, los estudios indispensables tanto de campo como de laboratorio, así como el análisis geotécnico para el diseño y la construcción de estas lagunas. Se describen también algunos de los suelos problemáticos que pueden encontrarse en la práctica, junto con otros procedimientos de prueba para la identificación en campo y laboratorio. Este documento está basado en el análisis del comportamiento de varias lagunas de estabilización construidas en México, experiencias adquiridas en otras obras hi-

dráulicas tales como presas, bordos y cimentaciones para plantas de tratamiento u otras estructuras, estudios de las condiciones especiales de subsuelo en diferentes regiones del país, así como estudios bibliográficos en el tema.

PROBLEMAS GEOTÉCNICOS MÁS FRECUENTES

Un buen diseño de laguna debe evitar o minimizar cualquiera de las siguientes fallas:

- *Filtración a través del terreno de cimentación.* El líquido contenido en la laguna se

Figura 2. Erosión en el lado húmedo del bordo.



- filtra hacia el terreno debido a la falta de medidas de impermeabilización o al mal diseño del sistema de impermeabilización.
- *Filtración a través del bordo perimetral.* Se debe a alguna de las siguientes situaciones: el bordo no está bien compactado, el material es demasiado arenoso, contactos defectuosos entre diferentes partes del bordo si estos se construyen en etapas.

Figura 3. Detalle de la erosión del bordo en el lado húmedo.



- *Desbordamiento.* El nivel del agua sobrepasa el nivel de la corona. El flujo inicia la erosión del talud seco, la que se propaga hacia el lado húmedo, destruyendo gradualmente la corona del bordo hasta que se produce la abertura.
- *Deslizamiento local.* Ocurren fallas por cortante en una zona reducida, aproximadamente paralela al talud del bordo.
- *Falla circular o en bloques.* Se caracteriza por la presencia de grietas longitudinales que se propagan hacia la profundidad, y por el movimiento y levantamiento de una gran masa de suelo hacia el pie del talud.
- *Asentamiento.* La deformación del suelo debida a la reducción de volumen es causada por la expulsión de agua en el proceso de consolidación y compresión, debido a cargas externas.
- *Expansión.* Los suelos expansivos tienden a aumentar su volumen al saturarse o al reducir el esfuerzo *in situ* del suelo, lo que en época de secas produce agrietamientos.
- *Agrietamiento.* Las grietas pueden ser longitudinales o paralelas al bordo, o transversales que atraviesan la sección del bordo;

ambas también pueden ser profundas o someras.

- *Socavación.* Es la remoción de partículas de suelo desde un contacto agua-suelo, producida por las fuerzas erosionantes inducidas por el oleaje.
- *Erosión.* Es originada, en mayor frecuencia, por la acción de oleaje en el talud mojado y por deficiente control de los escurrimientos de lluvia, tanto en la corona como en el talud seco.
- *Tubificación.* Es una filtración concentrada a través de una sección de suelo, la cual puede ser más permeable que su masa adyacente o puede estar sujeta a gradientes hidráulicos altos. Las áreas circundantes y adyacentes a los ductos son especialmente susceptibles a la tubificación, por la dificultad de compactar apropiadamente el relleno alrededor de los mismos.
- *Licuación.* Se pierde completamente el contacto intergranular en depósitos arenosos sueltos y saturados por un incremento de presión de poro o por una carga dinámica, como lo que ocurre en zonas sísmicas.

Algunas de estas fallas ya han sido observadas en varias lagunas de estabilización u otras estructuras de tierra similares en México (figuras 1, 2 y 3).

PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO

Para prevenir las fallas descritas es importante hacer una mínima investigación del suelo en el sitio donde se construirá el sistema de lagunas de estabilización. La investigación consiste, primero, en realizar perforaciones en sitios diversos, tomar las muestras correspondientes alteradas e inalteradas, y llevar a cabo algunas pruebas de permeabilidad y de esfuerzo cortante *in situ*; ocasionalmente estas perforaciones directas pueden ser precedidas por reconocimientos geofísicos que dan

una idea general de las condiciones del subsuelo. Segundo, deben realizarse varias pruebas de laboratorio para identificar y determinar las características de los suelos (compresibilidad, permeabilidad y fuerza cortante) del área donde se construirán las lagunas de estabilización.

El número, el tipo y la profundidad de las perforaciones, así como otras características de las investigaciones de campo, dependen del tamaño del área, la altura y el ancho de los bordos, la profundidad y el tamaño de la excavación y del tipo de suelo y el nivel de agua subterránea del sitio. Además, el tipo de las pruebas índice y mecánicas que deben realizarse en el laboratorio de mecánica de suelos depende también del tipo de suelo (cohesivo o granular, relación de preconsolidación, etc.) y de las condiciones de drenaje bajo las cuales estará sujeto el suelo durante la vida útil de la obra.

El manejo, el transporte y la preparación de las muestras de suelo requieren cuidado y tratamiento especiales para prevenir la destrucción o carga de la estructura del suelo *in situ*; de otra forma, los resultados de las pruebas de laboratorio pueden generar conclusiones equivocadas.

Un parámetro particular que debe ser determinado cuidadosamente es la permeabilidad de la cimentación natural del terreno y de cada una de las capas de compactación; la cantidad de agua contaminada infiltrada y transportada a través del suelo depende de este parámetro. Para la determinación del coeficiente de permeabilidad en suelos naturales pueden llevarse a cabo las pruebas convencionales en campo y laboratorio (Terzaghi, *et al*, 1996), pero para determinar la permeabilidad en campo de las capas compactadas de suelo, deben realizarse pruebas especiales (Benson, *et al*, 1993; Trautwein y Boutwell, 1993).

ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Una vez que estén disponibles los resultados tanto de laboratorio como de campo, los parámetros de diseño para la capacidad de soporte, el análisis de estabilidad de los bordos y las excavaciones, asentamientos y expansiones, así como los procedimientos de compactación, pueden llevarse a cabo.

Aunque el tamaño de los bordos y las excavaciones para la construcción de las lagunas de estabilización es relativamente pequeño, y además las presiones aplicadas a las capas de suelo de la cimentación son también pequeñas comparadas a otros trabajos de construcción, todo el análisis geotécnico aquí mencionado debe realizarse para evitar un comportamiento indeseable en las lagunas de estabilización. Los siguientes análisis de mecánica de suelos son recomendados:

Análisis de flujo. Este análisis es necesario para cuantificar la cantidad de agua que puede infiltrarse a través del fondo de la laguna o de los bordos de cada laguna, así como para conocer la presión de poro del agua y las fuerzas de flujo que deben ser consideradas en el análisis de estabilidad de taludes de los bordos y las excavaciones. Una vez que el co-

Figura 4. Red de flujo a través de la cimentación del bordo.

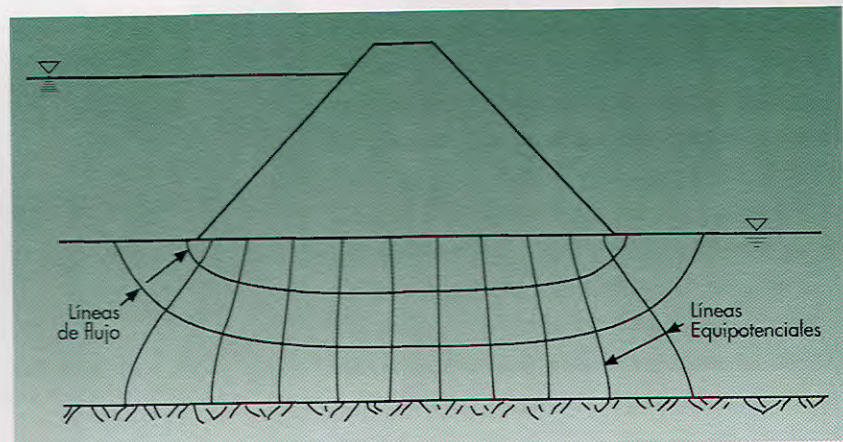
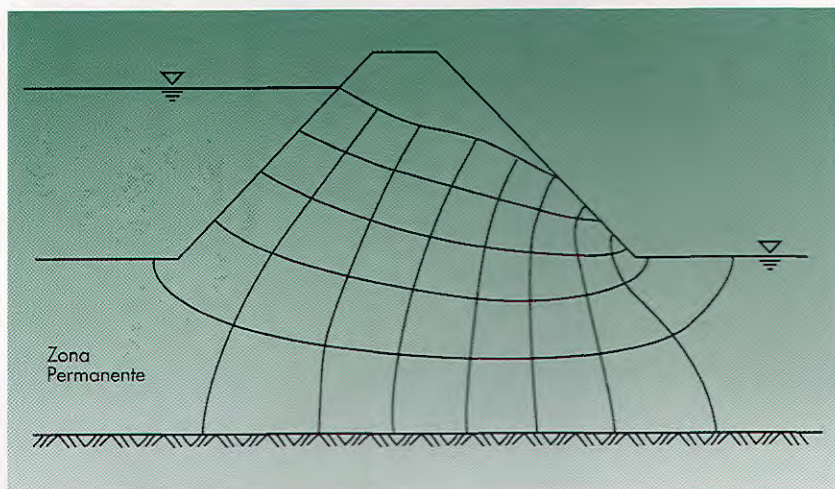


Figura 5. Red de flujo para el bordo y la cimentación, suponiendo el mismo coeficiente de permeabilidad.



eficiente de permeabilidad del estrato de suelo y del material de los bordos ha sido determinado, este análisis puede llevarse a cabo de una forma simple aplicando el método gráfico de redes de flujo desarrollado por Forchheimer (1930), y descrito por Casagrande (1925-1940) y Cedergren (1989). La figura 4 muestra la solución de la red de flujo para una cimentación permeable, y la figura 5 ilustra un bordo que tiene la misma permeabilidad que el terreno de cimentación.

Estabilidad de taludes. Este análisis es indispensable para garantizar que las excavaciones y los bordos tengan una correcta estabilidad en los taludes con un mínimo factor de seguridad (F.S.). En este análisis deben tomarse en cuenta todos los factores y circunstancias que puedan aumentar la presión cortante (sobrecargas en bordos, remoción de suelo de soporte junto con erosión, escurrimientos, cargas sísmicas, etc.), además del momento de volteo, y todos los factores que disminuyen la resistencia al corte de los suelos (cambios fisicoquímicos, incremento de presión de poro, cambios en la estructura de suelo, etc.); en ambos casos, el F.S. puede disminuir y continuar la falla cuando su valor

llega a ser menor que la unidad. El factor de seguridad es definido como la relación de la resistencia al corte disponible a lo largo de la superficie de deslizamiento, dividido entre las fuerzas de empuje a lo largo de la misma superficie. Para garantizar la estabilidad de taludes, este factor debe ser siempre más grande que uno; en otras palabras:

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al corte}}{\text{Fuerzas actuantes}} > 1$$

El valor de este factor de seguridad mínimo recomendado para diseño está dado en la tabla 1.

Para propósitos prácticos, cuando se analiza la estabilidad de taludes para bordos y excavaciones en lagunas de estabilización, los factores de seguridad pueden ser determinados usando las cartas publicadas por Janbu (1968).

Análisis de asentamientos. Existen varias causas que podrían producir asentamientos importantes en los bordos. Entre éstas se tienen: compresibilidad de las capas de cimen-

Tabla 1. Factores de seguridad de diseño. (Lowe, 1988)

Etapa	Análisis	Tipo de prueba*	F.S. Estático	F.S. Sísmico
Final de la construcción: talud húmedo y seco	Esfuerzos totales	UU	1.25	1.00
Condición de flujo continuo, parcialmente lleno. Talud húmedo	Esfuerzos efectivos	CD	1.50	1.25
Condición de flujo continuo, talud seco	Esfuerzos efectivos	CD	1.50	1.20
Vaciado rápido, talud húmedo	Esfuerzos totales o efectivos	CD o CU	1.25	1.00

* UU Triaxial no consolidada rápida
 CD Triaxial consolidada con drenaje
 CU Triaxial consolidada rápida

tación, consolidación del material del bordo, llenado y vaciado rápido de la laguna, explosión o vibraciones sísmicas, lluvia y sobrecarga del bordo. Se encuentran, básicamente, tres tipos de asentamientos que pueden registrarse: asentamiento elástico o inmediato junto con el comportamiento elástico del suelo bajo presiones cortantes; consolidación primaria junto con una gradual disipación de la presión de poro inducida; y consolidación secundaria originada por la reorientación y ajuste de partículas del suelo que ocurre después de que ha terminado la consolidación primaria.



El primero de estos asentamientos es estimado mediante de la teoría de elasticidad; el segundo, aplicando la teoría de consolidación primaria de Terzaghi, y el tercero, aplicando la teoría de la consolidación secundaria de Terzaghi, Peck y Mesri (Terzaghi *et al.*, 1997) o la sugerida por Zeevaert (1973). La suma de estas tres cantidades da el total de asentamiento que debe ser considerado para propósitos de diseño.

Además de todas estas pruebas de campo y laboratorio, y del análisis geotécnico, es necesario contar con los servicios de un ingeniero con experiencia y buen juicio en la materia. Sin embargo, existen algunos manuales de mecánica de suelos que pueden ser utilizados como una referencia rápida para tener una idea de lo que se tiene que hacer en este caso. Para este propósito, puede ser empleado el Manual de Mecánica de Suelos DM-7 de la Marina de los Estados Unidos (NAVFAC, 1982).

En México se ha desarrollado una guía especial para ayudar a los ingenieros ambientales a tomar en cuenta los aspectos geotécnicos para el diseño, construcción y operación de las lagunas de estabilización (Flores *et al.*, 2001). Esta guía describe métodos simples



para hacer la exploración e identificación de suelos, las pruebas de laboratorio más apropiadas para determinar los parámetros de diseño para el suelo, y los más simples procedimientos de compactación, asentamientos y análisis de estabilidad de taludes en lagunas de estabilización.

IDENTIFICACIÓN DE SUELOS PROBLEMÁTICOS

Se conoce un grupo especial de suelos que causan diferentes tipos de comportamiento inestable cuando se construyen lagunas con o sobre estos suelos. Entre esos suelos, los más notables son:

Suelos expansivos. Se encuentran frecuentemente en depósitos de residuos sólidos no saturados de material fino que contienen minerales arcillosos del tipo montmorilonita e ilita. Este tipo de suelos es muy sensible a cargas con humedad. Debido a la adsorción del agua en los minerales activos de las arcillas, éstos se expanden cuando se libera la tensión y en contacto con el agua; se contraen fuertemente cuando son expuestos a secado. Si el bordo es construido o cimentado en suelos expansivos, la evaporación, la lluvia, la variación temporal de humedad y el cambio en el nivel de agua en la laguna pueden causar expansión y contracción de suelos y, consecuentemente pueden ocurrir asentamientos diferenciales y fisuras en los bordos. La resistencia al corte de los suelos expansivos cambia también con la variación del contenido de agua y pueden surgir algunos problemas de estabilidad. El cambio en el volumen de agua se puede determinar con la prueba del odómetro. Los suelos expansivos se identifican en campo cuando se observa una trayectoria poligonal mientras se seca; estos suelos tienen una alta resistencia cortante en el estado seco y son muy pegajosos cerca de su estado del límite plástico. En el laboratorio es

posible saber la composición interna y la estructura de estos suelos haciendo un análisis mineralógico; algunas técnicas para hacerlo son la difracción de rayos X, análisis termal diferencial, análisis químicos y estudios en microscopio electrónico.

Suelos colapsables. Son sedimentos finos transportados y depositados por el viento. Forman dunas de arena y depósitos de lodos cuyas partículas predominantemente son sedimentos, con cierta cantidad de arenas y partículas de arcillas agregadas. Aunque son de baja densidad, los suelos colapsables naturalmente tienen una alta resistencia debido a que la arcilla aglomerada es de carbonato de calcio. Sin embargo, son más fáciles de erosionar cuando están saturadas con agua o lluvia, causando grandes asentamientos. Estos suelos pueden ser identificados mediante la prueba del odómetro.

Suelos dispersivos. Usualmente absorben sodio y se dispersan o defloculan fácil y rápidamente en agua de bajo contenido de sal. Mientras más alto es el porcentaje de cationes de sodio, más alta es la susceptibilidad a la dispersión. Algunas arcillas generalmente tienen un alto potencial de expansión-contracción, baja resistencia a la erosión, y baja permeabilidad en estado intacto. Los suelos de arcillas dispersivas son identificados por la prueba del *pinhole*, la prueba del terrón y la de dispersión del *Soil Classification System (SCS)*. Las pruebas químicas se usan frecuentemente para determinar el intercambio del porcentaje de sodio, la relación de absorción de sodio, el porcentaje de sodio y el total de sales disueltas. Estos suelos son problemáticos para la estabilidad de los bordos, pues causan socavación y erosión por la lluvia en taludes y canales.

Suelos altamente compresibles. Se encuentran en varias regiones de México, y uno de



los más notables ejemplos son las arcillas de la ciudad de México. Estos suelos altamente compresibles se caracterizan por su alto contenido de agua (por arriba de 300%). Algunas de estas arcillas son de origen volcánico y otras tienen un alto contenido orgánico; en ambos casos la relación de vacíos es muy alta. La presencia de estas arcillas puede causar serios daños a los sistemas de barrera y a los bordos de la laguna.

Suelos susceptibles a la Licuación. Son caracterizados por suelos de grano fino uniforme en un estado saturado; los depósitos aluviales recientes tienen estas características. Cuando están sujetos a cargas dinámicas o vibraciones son susceptibles a grandes deformaciones o a un pronto colapso. La mayoría de las pruebas de campo consisten en la prueba de penetración estándar o las pruebas de cono para medir la densidad relativa y compararlas con las curvas publicadas por Seed y Alba (1986). También hay varias pruebas de laboratorio diseñadas para reconstruir muestras de suelo con el fin de determinar la susceptibilidad de un suelo a la licuación (NRC, 1985).

Existen diferentes soluciones que es necesario probar con este tipo de suelos problemáticos cuando no es posible evitarlos o eliminarlos. En el caso de suelos expansivos, su estabilización es posible usando cal, cenizas volátiles o carbón; la cantidad de estabilizantes que deben ser mezclados con el suelo depende de cada caso (deben hacerse pruebas de laboratorio para determinarlas), pero es de alrededor del 5 al 10%. El uso de algunos aditivos químicos es también una técnica efectiva para mejorar el comportamiento de esos suelos. Para suelos colapsables, una solución práctica consiste en presaturar y precargar para disminuir o evitar asentamientos repentinos. Las sustancias químicas, como la cal o el cemento, pueden usarse solos o combinados para reducir la expansión y dispersión



potencial del suelo. Los suelos altamente compresibles son tratados usualmente con precarga o precompresión usando drenes verticales. Las arenas y los sedimentos susceptibles a la licuación pueden mejorarse aumentando su densidad relativa, lo que puede hacerse a través de uno o varios métodos disponibles (vibroflotación, compactación dinámica, vibrocompactación, etc.).

Hay varias publicaciones en las cuales se describen con detalle los suelos problemáticos, junto con los métodos para identificarlos y tratarlos para mejorar su comportamiento mecánico (Van Impe, 1989; Schaefer, 1997).

CONCLUSIONES

Existen varios aspectos geotécnicos en el diseño, la construcción y la operación de las lagunas de estabilización que deben tomarse en cuenta a fin de evitar fallas o un comportamiento inadecuado de estos sistemas de tratamiento de agua. Desde este punto de vista se recomienda llevar a cabo las investigaciones de campo y pruebas de laboratorio en muestras representativas del suelo, con la idea de conocer las propiedades y características mecánicas de los suelos usados como materiales de construcción en los bordos, o bien en aquellos sobre los cuales se construyen los sistemas lagunares.

Tomando en cuenta que el parámetro geotécnico más importante que se utiliza en el diseño y la construcción de estos sistemas de tratamiento del agua es la permeabilidad del revestimiento y de los suelos en el sitio, es indispensable hacer una supervisión muy cuidadosa de los procedimientos que se siguen para determinar dicho parámetro. Para ello debe considerarse que existen pruebas especiales de permeabilidad que se utilizan para el caso específico de las lagunas que retienen aguas contaminadas.

REFERENCIAS

- Benson, C.H., Hardinato, F.S. and Motan E.S. (1993). "Representative Specimen Size for Hydraulic Conductivity Assessment of Compacted Soil Liner". *Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil*. ASTM STP 1142, 30-78.
- Casagrande A. (1925-1940). *Seepage Through Dams, Contributions to Soil Mechanics*. Boston Society of Civil Engineers, 295-336.
- Cedergren, H. (1989). *Seepage, Drainage and Flow Nets*, 3rd edition, John Wiley & Sons, 151-200.
- Flores, R., Xiangyue, L., Bonola I., Mantilla G. y Moeller G. (2001). *Geotecnia para proyectos y construcción de lagunas de estabilización*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Comisión Nacional del Agua (CNA) e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).
- Forchheimer, P. (1930). *Hydraulics*. Teubner, Leipzig, Berlin.
- Janbu, N. (1968). *Slope Stability Computations, Soil Mechanics and Foundation Engineering Report*. The Technical University of Norway, Trondheim, Norway.
- Lowe, I. J. (1988). "Stability Analysis". *Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation*, ed. By R.B. Jansen, Van Nostrand Reinhold, New York, 275-285.
- National Research Council (1985). *Liquefaction of Soils during Earthquakes*. National Academy Press.
- NAVFAC (1982). *Soil Mechanics Design Manual 7.1*. Department of Navy, Naval Facilities Engineering Command.
- Schaefer, V. R. (1997). *Ground Improvement, Ground Reinforcement, and Ground Treatment Developments 1987-1997*. Geotechnical Special Publication no. 69 ASCE.
- Seed, H. B. and De Alba, P. (1986). "Use of SPT and CPT Test for Evaluating the Liquefaction Resistance of Sands". *Proceedings of In Situ 86*, ASCE, 281-302.
- Terzaghi, K., Peck R.B. and Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. Third edition. John Wiley and sons.
- Trautwein, S. J. and Boutwell, G.P. (1993). "In Situ Hydraulic Conductivity Test for Compacted Soil Liners and Caps". *Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil*. ASTM STP 1142, 184-226.
- Van Impe W.E. (1989). *Soil Improvement Techniques and Their Evolution*. Balkema ed.
- Zeevaert, L. (1973). *Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions*. Van Nostrand Reinhold.

Por otro lado, a fin de hacer las correcciones o ajustes en el diseño y construcción de lagunas de estabilización, es muy importante realizar mediciones y observaciones continuas de las fugas de agua, asentamientos diferenciales y totales de los bordos, grietas en la corona o al pie de los taludes, etc. Más aun, es altamente deseable instalar instrumentos que puedan detectar cualquier anomalía en el comportamiento y/o verificar las hipótesis de diseño. Igualmente se recomienda la asesoría de un ingeniero con experiencia en geotecnia ambiental, a fin de que se prevea alguna posible falla o se resuelva cualquier eventualidad de origen geotécnico que surja durante la etapa de construcción.

Finalmente se recomienda desarrollar una guía geotécnica que ayude a los diseñadores de lagunas de estabilización a cumplir los siguientes objetivos: 1) proporcionar un criterio de selección para definir los sitios más adecuados, o detectar, en la etapa de factibilidad, aquellos sitios que pueden originar serios problemas de índole geotécnico; 2) garantizar el correcto comportamiento de cada laguna durante su construcción y durante la etapa de operación, evitando desplazamientos o movimientos no tolerables; 3) tomando en cuenta la importancia de la conductividad hidráulica y el transporte de contaminantes a través del suelo, obtener para cada laguna la solución óptima desde los puntos de vista económico y técnico; 4) estar preparados para cualquier eventualidad que pueda surgir como consecuencia de tener un estrato geológico no previsto durante la etapa de diseño y que aparezca al momento de construir la laguna. ■

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a las autoridades de la Subdirección General de Operación de la Comisión Nacional del Agua, en especial a los ingenieros Roberto Contreras Martínez y Manuel Heredia Durán, de la Gerencia de Potabilización y Tratamiento, por la oportunidad de participar en los estudios efectuados para esa Gerencia en el año 2001. También un sincero agradecimiento a las doctoras Gabriela Moeller Chávez y Gabriela Mantilla por la información proporcionada y su participación en los estudios antes mencionados. Igualmente se agradece al Ing. Fernando Pozo por las fotografías proporcionadas.

Doctor Carlos Agustín Escalante Sandoval Premio Nacional Enzo Levi, 2002 a la Investigación y Docencia Hidráulica

Egresado en 1985 como ingeniero civil de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Puebla, Carlos Escalante, más tarde, con el apoyo del Conacyt, se graduó de maestro en ingeniería, en 1988, y de doctor en ingeniería, en 1991, en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM de la que es, hasta ahora, el alumno más joven en alcanzar dicho grado en la Sección de Ingeniería Hidráulica y uno de los que ha sido distinguido con la medalla Gabina Barreda, con el nombramiento de Investigador Nacional Nivel I y con la Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos en Docencia en Ciencias Exactas, entre otros reconocimientos.



Aunque antes de graduarse como ingeniero civil ocupó el cargo de jefe responsable del Departamento de Proyectos y Construcción del ayuntamiento de Huauchinago, Pue., es en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (DEPFI) donde a partir de 1984 ha realizado una brillante trayectoria profesional como investigador y académico, desde Ayudante de Profesor hasta Profesor Titular "C" Definitivo.

Como jefe de la Sección de Ingeniería Hidráulica de la DEPFI, el doctor Escalante es responsable de los programas de maestría y doctorado en Ingeniería Hidráulica y Aprovechamientos Hidráulicos, mismos que se mantienen en el padrón de excelencia del Conacyt, así como de los programas de investigación y desarrollo correspondientes. Además es representante de la Facultad de Ingeniería en el Comité Organizador del Programa de Restructuración del Posgrado de Ingeniería y es secretario del Subcomité de Ingeniería Civil del nuevo Programa de Posgrado en Ingeniería.

El Premio Enzo Levi 2002 ha impartido 61 cursos, 52 de ellos de maestría y doctorado; ha dirigido 22 tesis de maestría y cuatro de doctorado; ha publicado 17 artículos en revistas arbitradas tanto en México como en el extranjero, 35 artículos en congresos nacionales e internacionales y los libros *Técnicas estadísticas en hidrología y Análisis de sequías*; y fue coeditor de los memorias del XV Congreso Nacional de Hidráulica.

El trabajo del doctor Escalante como docente e investigador ha sido un elemento importante en la formación de cuadros de investigación en el área de aprovechamientos hidráulicos, mismos que se han incorporado con excelentes resultados en la vida académica y en la práctica de la Ingeniería Hidráulica dentro de la Comisión Nacional del Agua, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, de la Comisión Federal de Electricidad, del Centro Nacional de Prevención de Desastres, de empresas consultoras, de la Facultad y el Instituto de Ingeniería de la UNAM, así como de otros centros educativos del país y de Sudamérica.

Maestro José Eduardo Mestre Rodríguez Premio Nacional Francisco Torres H., 2002 a la Práctica Profesional de la Hidráulica

Graduado en 1972 como ingeniero civil en la Universidad Nacional Autónoma de México, Eduardo Mestre inició su desarrollo profesional en el Instituto de Ingeniería de esa Universidad, como ayudante de investigador de la Sección de Ingeniería Hidráulica en el proyecto de la cuenca hidrológica Lerma-Chapala. Realizó estudios de maestría en ingeniería de sistemas para el desarrollo regional y en econometría en el Georgia Institute of Technology.



En 1975 se incorporó al equipo del Plan Nacional Hidráulico de México. Posteriormente, en 1983, ocupó el cargo de subdirector general de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y más adelante, en 1989, fue designado gerente regional de las Regiones Lerma y Balsas de la Comisión Nacional del Agua. En ese mismo año crea el primer consejo de cuenca de Latinoamérica, del que funge como secretario técnico, organismo mixto que privilegia la participación plural en la gestión del agua por cuenca hidrológica. También ha sido consultor para DBEnvironnement, COYNE ET BELLIER, Montgomery Watson y Compagnie Nationale du Rhône. También fue Presidente de la Asociación Mexicana de Hidráulica de 1987 a 1989.

En el campo de la docencia se desarrolló durante 11 años como catedrático universitario de licenciatura y postgrado en la misma Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Así, el maestro Eduardo Mestre cuenta con treinta años de experiencia en planificación hidráulica; en estudios y proyectos de infraestructura hidráulica de grande y mediana envergadura; en análisis y evaluación financiera de planes y proyectos de obras hidráulicas; en mecanismos de programación, presupuesto, seguimiento y evaluación; en sistemas de información para el manejo regional del agua; en gestión y administración del agua; en mecanismos de regulación y distribución del agua; en mecanismos financieros del agua; y en organismos regionales para la gestión del agua.

XVII Congreso Nacional de Hidráulica



Asociación
Mexicana
de Hidráulica



Monterrey, N. L.
Noviembre 18-22 de 2002

Primer Simposio Internacional
sobre Gestión de Aguas Transfronterizas

¡BIENVENIDOS!