

Tlaloc

20
AMH

⚡ Huracanes ⚡ Caracterización de las sequías ⚡ Heladas ⚡ Lluvia convectiva (de verano) en México
⚡ La gran inundación de la ciudad de México ⚡ Aspectos de la gestión del agua en condiciones de sequía



Fenómenos EXTREMOS

⊕ Publicaciones Sitios en internet Eventos



Servicio integral

diseña

financia

servicio

construye

opera

monta

fabrica

Tratar el Agua, Proteger el Medio Ambiente



Degremont de México S.A. de C.V. • Bahía de Santa Bárbara No. 157 • Col. Verónica Anzures • C.P. 11300 México D.F.
Dirección General: 5255 9001 • Dir. Comercial: 5255 9034 • Fax: 5260 2100 • Sub-Dirección Técnica Comercial: 5255 9006
Mercadotecnia: 5255 9042 • <http://www.degremont.com> • demsa@data.net.mx

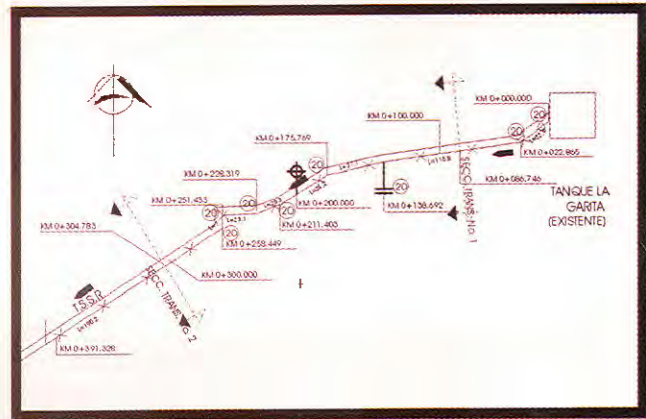


F R O

Ingenieros S.A. de C.V.



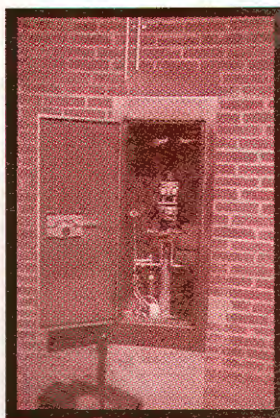
FOTOGRAFÍA AEREA



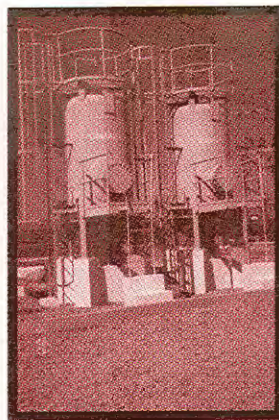
ANÁLISIS HIDRÁULICO Y CATASTRO



AFOROS



AUTOMATIZACIÓN DE POZOS
(GASTO, PRESIÓN, ARRANQUE Y PARO)



DISPOSITIVOS
DE ALIVIO / G.A.



SISTEMA DE
POSICIONAMIENTO GLOBAL

■ En la actualidad, los efectos de los fenómenos meteorológicos extremos se registran con mayor periodicidad debido a la deforestación, al crecimiento urbano y al cambio climático. Estos fenómenos se manifiestan en dos formas: largos periodos de sequía y precipitaciones excesivas, que provocan serios daños en las regiones.

A lo largo del tiempo se han registrado huracanes con grandes precipitaciones; actualmente se presentan con la misma intensidad que antes, sin embargo, la corteza terrestre ha cambiado a lo largo de los siglos, por lo que se ha modificado el comportamiento de los escurrimientos en las diferentes localidades y, en consecuencia, además de dejar el beneficio del agua, con frecuencia causan daños tanto en bienes materiales como en el cobro de vidas humanas.

En los últimos años hemos sufrido la presencia de fenómenos extremos en Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Tabasco, donde las precipitaciones han provocado inundaciones en zonas agrícolas y centros urbanos, y generado el arrastre de suelos finos que azolvan los cauces y pueden originar desbordamiento de los ríos. Asimismo, estas lluvias han creado azolves que represan el agua en algunos puntos de los ríos, con lo cual se almacenan grandes

volúmenes de agua que se llegan a desbordar de manera instantánea, ocasionando grandes avenidas que no se pueden controlar.

Por otra parte, los fenómenos extremos como las sequías, provocan graves daños, como ocurrió recientemente en el norte del país, en donde se dejaron de cultivar grandes extensiones y las ciudades se vieron afectadas con el desabasto de agua potable.

Sin embargo, estos fenómenos los podemos prever y, en la medida en que todos participemos, disminuir sus efectos. Debemos trabajar en la reforestación y en la planeación del uso del agua a largo plazo, en función de la disponibilidad histórica real de cada región.

Dada la importancia natural y social del tema y su relación profesional con los miembros de la Asociación Mexicana de Hidráulica, este número tiene la finalidad de motivar a la comunidad técnica, científica y a la sociedad en general a que se involucren en esta problemática.

Jesús Campos López

Presidente del XXIV
Consejo Directivo de la AMH

20

AÑO VII, NÚM. OCTUBRE-DICIEMBRE 2000.

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

XXIV CONSEJO DIRECTIVO DE LA AMH**PRESIDENTE** Jesús Campos López**VICEPRESIDENTE** Álvaro A. Aidama Rodríguez**TESORERO** Héctor F. Fernández Esparza**SECRETARIO** Óscar Ávalos Domenzain**SECRETARIO DESIGNADO** Luis Eduardo de Ávila Rueda**VOCALES** Graciela Paredes García, Víctor del Razo Tapia**EDITOR RESPONSABLE** Jesús Campos López**COMITÉ EDITORIAL** Luis Aboites Aguilar, Felipe Arreguín

Cortés, Moisés Berezowsky Verduzco, Daniel Campos

Aranda, Rafael Carmona Paredes, Jaime Collado, Ramón

Dominguez Mora, Roberto Llanas Fernández, Humberto

Marengo Mogollón, Alejandra Martín Domínguez,

Polioptro Martínez Austria, César O. Ramos Valdés,

Gilberto Sotelo Ávila, Ma. de los Ángeles Peralta Arias,

Rolando Springall Galindo, Adolfo Urías Martínez.

COORDINADORA TÉCNICA Blanca Jiménez Cisneros**COORDINADORA EDITORIAL** Jesús Hernández Sánchez**EDICIÓN Y DISEÑO** Trilce Ediciones S.A de C.V.

Euler 152-403, Col. Chapultepec Morales, México, D.F.

Tel: 52 55 58 04 E-mail: trilce@data.net.mx

DISEÑO Juan Carlos Mena, Óscar Reyes, Francisco Masse**REDACCIÓN** Eliana Pasarán**FORMACIÓN** Patricia Ortiz

TLÁLOC-AMH es una publicación trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica. Para otros interesados dirigirse a Camino a Santa Teresa 187, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F., Correo electrónico: asnmexhca@podernet.com.mx Tel y fax: (5) 666-08-35. Certificado de licitud de título Núm. 8279 y de contenido Núm. 5828. Reserva de derechos al uso exclusivo Núm. 04-1998-062419345900-102. El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de sus 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.

Índice

**4 Ciencia y tecnología**

Huracanes

MICHEL ROSENGAUS

10 Caracterización de las sequías

CARLOS ESCALANTE SANDOVAL

LILIA REYES CHÁVEZ

14 Heladas: orígenes, predicción, pronóstico y defensa

DANIEL FRANCISCO CAMPOS ARANDA

18 Lluvia convectiva (de verano) en México

JORGE SÁNCHEZ SESMA

MIGUEL CORTÉZ VÁZQUEZ

MARCO ANTONIO SOSA CHIÑAS

22 Escurrimientos extremos

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

26 Flujos con altas concentraciones de sedimentos en cauces naturales

IGNACIO A. CALDIÑO

POLIOPTRO MARTÍNEZ AUSTRIA

28 Histórico-social

La gran inundación de la ciudad de México de 1629-1634

MOISÉS BEREZOWSKY

33 Gestión del agua

Aspectos de la gestión del agua en condiciones de sequía en los sistemas de riego

ISRAEL VELASCO

JAIME COLLADO

37 Noticias de la AMH

Homenaje póstumo a Manuel Anaya y Sorribas

Movimiento ciudadano por el agua

Premios

Bienvenida a nuevos socios

40 Publicaciones

Libros, eventos, direcciones de INTERNET y bolsa de trabajo



Huracanes

Palabras clave

HURACÁN | METEOROLOGÍA | VÓRTICE | CICLÓN

Por Michel Rosengaus*

Geográficamente, México está situado en una zona de alta incidencia de huracanes, y sus características fisiográficas y de dinámica poblacional lo hacen altamente vulnerable a los efectos destructivos de estos meteoros. En este artículo se describen los peligros más graves de un huracán, así como algunas de las principales medidas para contrarrestarlos.

INTRODUCCIÓN

Huracán es el término específico que se asigna a lo que genéricamente se denomina ciclón tropical, pero cuando éste ya se encuentra en su madurez, con vientos máximos sostenidos mayores a 120 km/h. Se trata de tormentas marinas con una estructura muy específica: vientos que giran alrededor de un centro de baja presión atmosférica (en sentido contrario de las manecillas del reloj en el hemisferio norte) y que convergen directamente sobre la superficie hacia dicho centro en trayectorias espirales (Rosengaus, 1998).

El vórtice descrito puede tener dimensiones de cientos de kilómetros alrededor del centro de giro y la presión atmosférica baja conforme se encuentra más cerca del mismo. Los vientos y las lluvias también se intensifican en el centro, pero alcanzan su máximo valor en un anillo nuboso denominado pared del ojo. Más al centro se

localiza el ojo del huracán, que es una zona de relativa tranquilidad y ausencia de nubes.

Los ciclones tropicales ocurren, en lo que a México concierne, entre mayo y noviembre, con pico de frecuencia a finales de agosto y durante septiembre. Estos fenómenos colocan en grave peligro a la población afectada por ellos, tanto por los efectos directos del viento y la lluvia, como por otras manifestaciones: oleaje en el mar, incremento significativo del nivel del mar sobre la costa, desbordamientos, deslizamientos de tierra, tornados, descargas eléctricas, etcétera.

A continuación ubicamos a México en términos de incidencia de huracanes y de su vulnerabilidad, y concluimos con algunas de las principales medidas para atenuar los daños.

SITUACIÓN DE MÉXICO ANTE LOS HURACANES

México se encuentra entre dos importantes zonas de generación de huracanes en el mundo, la del Atlántico norte (que genera 12% de los

Los huracanes son tormentas marinas con una estructura muy específica: vientos que giran alrededor de un centro de baja presión atmosférica y que convergen directamente sobre la superficie hacia dicho centro en trayectorias espirales.

ciclones tropicales a nivel mundial) y la del Pacífico nororiental (con 20%), siendo esta situación única en el planeta. De hecho, la Isla Socorro (ver figura 1) es, metro cuadrado por metro cuadrado, la zona del mundo con mayor incidencia de estos fenómenos. Prácticamente, 100% de los 10,000 kilómetros de costa de México se encuentran, en mayor o menor medida, sujetos al riesgo de ciclones tropicales (Secretaría de Gobernación, 1991); la zona del Pacífico es la más activa (en contra de la creencia popular), pues concentra la totalidad de los fenómenos en una franja mucho menos extensa que en el caso del Atlántico (Fuentes y Vázquez, 1997). En la figura 1 se pueden observar las trayectorias típicas que afectan a México.

Un problema especial del lado del Pacífico es que la trayectoria típica de los ciclones es cuasi paralela a la costa, pero relativamente cercana a ella, lo cual implica que cualquiera de los ciclones de esta región se encuentra en posición

FIGURA 1. TRAYECTORIAS TÍPICAS DE LOS HURACANES QUE AFECTAN A MÉXICO





FOTO 1. DAÑOS CAUSADOS POR EL HURACÁN GILBERTO EN 1988 EN CÁNCUN.

de incidir sobre el territorio nacional a sólo unas horas (digamos entre ocho y 24) de haber iniciado un recurre hacia tierra, aunque en su mayoría no lo hacen. Esto conlleva serios problemas en los mecanismos de aviso a la sociedad, pues una alerta continua a lo largo de la temporada puede producir incredulidad en la población, precisamente en los casos en que los ciclones sí recurven e incidan en tierra. Otros factores de vulnerabilidad son la abrupta orografía del país y la cercanía de las cadenas montañosas con el litoral (ver figura 1), lo cual produce que —en zonas en las que el viento sopla en forma casi perpendicular a la sierra, desde el mar hacia la tierra— las lluvias, de por sí intensas, puedan crecer hasta valores extremos. Pero quizás el factor de vulnerabilidad más importante en la actualidad es la velocidad del crecimiento desordenado de las zonas urbanas en México, que aumenta el porcentaje de lluvia que escurre inmediatamente a los cauces, estrangulando arroyos de drenaje natural e incluso invadiendo tanto llanuras de inundación como los cauces mismos. La edificación a distancias muy cortas de la costa también incrementa de manera importante las condiciones de vulnerabilidad. Otro factor negativo es la uniformidad de los tipos de construcción a lo largo de todo el territorio nacional, ignorando solicitudes especiales de viento, oleaje, inundación socavación y la proliferación de la autoconstrucción sin ingeniería en condiciones de miseria.



FOTO 2. DAÑOS CAUSADOS POR EL OLEAJE DEL HURACÁN GILBERTO QUE AZOTÓ CÁNCUN EN 1988.



PRINCIPALES PELIGROS

Los signos de peligro más importantes de un huracán son: viento, oleaje, marea de tormenta y precipitación pluvial.

Los fuertes vientos son la causa original de todas las demás manifestaciones destructivas (incluyendo, por el peculiar transporte de humedad, la lluvia). Para una persona es muy difícil caminar con vientos de más de 100 km/h, y los huracanes son capaces de producir ráfagas de hasta 300 km/h. Esto provoca fallas locales o totales de las estructuras, ya sea por la fuerza directa o por el impacto de otros objetos que vuelan inmersos en el flujo. Lo peculiar de las fallas por viento es que con frecuencia originan que los elementos estructurales de una construcción se separen, al contrario de las fuerzas de peso propio, que son las más comúnmente consideradas al diseñar una estructura (Rosengaus, 1998).

Los vientos también constituyen un importante factor que dificulta la evacuación de las personas de zonas peligrosas, pues limitan severamente la visibilidad (en combinación con la lluvia) y pueden volcar vehículos con facilidad. Efectos secundarios presentes con frecuencia en la entrada de huracanes a tierra son los numerosos tornados que pueden producir, localmente, daños incluso muy superiores a lo adjudicable a las velocidades de viento características de un huracán. En general, las estructuras con poco peso propio y grandes superficies expuestas al viento resultan las más vulnerables a este efecto. Los

vientos también son responsables de muchas interrupciones de servicios públicos durante la incidencia de un huracán (porque derriban cables, postes y árboles que pueden provocar la posible rotura de conductos subterráneos en sus bases). En la fotografía 1 se observan algunos daños causados por viento del huracán Gilberto, en 1988 en Cancún.

El mismo campo de vientos espiral alrededor del ojo del huracán produce dos manifestaciones marinas diferentes (aunque se presentan combinadas y la población usualmente no las identifica como tales): el oleaje y la llamada marea de tormenta. El oleaje provoca oscilación con periodos de hasta unos 50 segundos de la superficie del piélago, y en alta mar puede alcanzar fácilmente alturas de 10 metros. Aunque al moverse sobre la plataforma continental los huracanes rompen perdiendo energía, las olas que inciden directamente sobre la costa pueden ser considerables, causando fuertes problemas por impacto directo o por socavación, desaparición de playas en algunos sitios y fuertes depósitos en otros; por supuesto, crea condiciones de navegación sumamente peligrosas. En la fotografía 2 se observan daños provocados por el oleaje del huracán Gilberto que azotó Cancún en 1988.

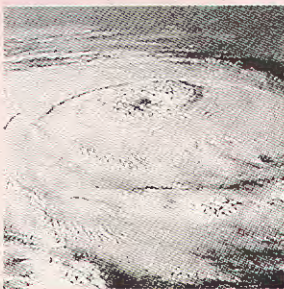
Por otro lado, la marea de tormenta provoca —en zonas donde el viento sopla perpendicularmente del mar hacia tierra y en especial en áreas poco profundas o con configuración litoral cóncava (figura 1)— fuertes incrementos en el nivel medio del mar que pueden durar por horas y ser mucho mayores que las mareas astronómicas típicas en cada zona litoral. Además de la natural inundación violenta por aguas marinas en zonas costeras bajas, el incremento del nivel medio del mar sobre el que viajan las olas provoca que éstas se impacten en bancos de tierra adentro que por lo normal estarían fuera de su alcance. La población no menciona frecuentemente este fenómeno porque estos dos efectos combinados se manifiestan como grandes olas que tienen una penetración en tierra cada vez mayor; el nivel medio del mar en sí no es percibido con facilidad. No debe menospreciarse la marea de tormenta



▲ FOTO 3. DAÑOS PROVOCADOS A EMBARCACIONES POR LA MAREA DE TORMENTA DEL HURACÁN GILBERTO QUE EN 1988 ASOLÓ LA COSTA NORTE DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.

pues es la mayor causante de muertes por huracanes. En la fotografía 3 se muestran daños provocados a embarcaciones, originalmente en una bahía de abrigo, por la marea de tormenta del huracán Gilberto que en 1988 asoló la costa norte de la península de Yucatán.

Finalmente, la más conocida de las manifestaciones destructivas en México es la intensa precipitación pluvial. Ésta se concentra en forma continua en el anillo nuboso de la pared del ojo, pero también se presentan cientos de tormentas convectivas severas distribuidas a lo largo de las espirales nubosas que caracterizan a los huracanes en las imágenes de satélite. Los volúmenes de agua precipitada durante un huracán son enormes; por ejemplo, en 1993 el huracán Gert precipitó sobre la cuenca del río Pánuco un volumen suficiente para proporcionar agua potable (a las tasas actuales) al Distrito Federal por ¡516 años! Además de las consecuentes avenidas violentas e inundaciones, producen deslaves, cortes carreteros, flujos de lodo y escombros, etc. Dada la actividad convectiva presente en un huracán, los rayos también representan un peligro. Desgraciadamente, en el aspecto de precipitación pluvial, la intensa deforestación o el cambio del uso del suelo en las últimas décadas han puesto dolorosamente de manifiesto que las laderas son más estables con su vegetación original adaptada al medio durante decenas de miles de años. Aquí tenemos una clara muestra



de que la protección ambiental tiene implicaciones prácticas locales que van más allá de lo que resulta obvio para la población, que presiona este medio ambiente buscando ganancias económicas a corto plazo. Pero es también con respecto a la lluvia donde se observan los principales beneficios de los huracanes y la dependencia que de ellos tenemos: la incidencia de un solo huracán con penetración importante al altiplano central semiárido de México puede producir beneficios que, bien administrados, persisten durante años al recargar lagos, presas y acuíferos. En la fotografía 4 se observa la erosión —sobre el eje de lo que era una calle— de unos seis metros de profundidad ocurrida durante la inundación relámpago que produjo el huracán Paulina en Acapulco, en 1997.

PRINCIPALES MEDIDAS PARA ATENUAR DAÑOS

Aunque los daños producidos por un huracán no pueden eliminarse por completo, existen muchas medidas efectivas de minimizarlos; las más eficientes son aquellas que se toman con mucho tiempo de antelación. A continuación enumeramos algunas de las que, en forma genérica, resultan más pertinentes en México.

■ *Establecimiento y cumplimiento de reglamentos de construcción y uso del suelo que explícitamente consideren las condiciones de riesgo por estos fenómenos meteorológicos (y otros similares).* Al respecto, es muy importante mantener libres de construcciones importantes no sólo los cauces, sino también las llanuras de inundación de cauces y franjas costeras suficientemente amplias. En zonas donde el desarrollo desordenado ha producido una condición irreversible, se debe informar —con detalle y en términos comprensibles— a la población del riesgo que corre, así como de las medidas de emergencia que hay que tomar en caso necesario.

■ *En los planes de emergencia genéricos de las zonas en riesgo deben señalarse las condiciones específicas a las que pueden estar sujetas durante la incidencia de un ciclón tropical, por ejemplo, el riesgo de que una ruta de evacuación a lo largo*



▲
FOTO 4. EROSIÓN OCURRIDA DURANTE LA INUNDACIÓN RELÁMPAGO QUE PRODUJO EL HURACÁN PAULINA EN ACAPULCO, EN 1997.

de la costa se encuentre interrumpida o bajo el agua antes de finalizar la maniobra, la situación de anclaje de la techumbre de refugios temporales, etcétera.

■ *Evaluación continua de la capacidad de conducción de los drenajes pluviales naturales o artificiales en términos de los posibles escenarios de lluvia durante ciclones tropicales.* Ésta debe ser una labor permanente, pues la urbanización, cambio de cobertura vegetal, sedimentación, construcción de nuevos puentes o alcantarillas, etc., pueden cambiar significativamente sus condiciones.

■ *Evaluar críticamente (y en su caso modificar) puentes y alcantarillas de carreteras y caminos, sobre todo en casos en los que un arremansamiento aguas arriba pueda producir problemas a poblaciones o en los que una falla abrupta ponga en peligro a localidades aguas abajo.* Recuerde que los periodos de retorno de diseño estándar de muchas de estas estructuras son muy bajos (por ejemplo, cinco años). Considerar diseños que operen razonablemente bien aún con flujos de lodo y escombros.

■ *Difundir entre la población que se encuentre sujeta a afectación por huracanes la información que le permita comprender el fenómeno y evaluar el riesgo específico al respecto.* Esto debe ir mucho más allá de la simple distribución de panfletos. El camino más efectivo para influir



en grandes sectores de la sociedad es incluyendo estos temas en los programas de educación formal elemental.

■ *Enfatizar la protección ambiental de las cuencas, en términos prácticos que expliquen las consecuencias que se pueden sufrir durante fenómenos hidrometeorológicos extremos.* El mismo microtalador de la parte alta de la cuenca vive sobre el cauce más abajo.

■ *Instaurar, como práctica profesional estándar, la evaluación del comportamiento de las obras (sobre todo las hidráulicas), una vez que sus condiciones de diseño han sido rebasadas.* En lo económicamente posible, se debe optar por diseños robustos, es decir, por aquellos que más allá de su condición no fallarán en forma desastrosa, aumentando el peligro que corre la población a la que supuestamente protegen. Esto es de suma importancia, porque la sociedad no está consciente de los límites que todo diseño tiene y supone que "si existe" no va a fallar.

■ *Instaurar perfiles mínimos legales para las personas que ocuparán puestos de planeación urbana y protección civil a nivel municipal; establecer la obligatoriedad de llevar una memoria técnica histórica del desarrollo de las comunidades urbanas o suburbanas; promover la creación del servicio civil de carrera en estos puestos.* Desgraciadamente, la discontinuidad producida por el

sistema político de cambio trienal de poderes ejecutivos municipales ha sido un importante factor en el crecimiento anárquico y riesgoso de las zonas urbanas en México.

CONCLUSIÓN

Las manifestaciones destructivas descritas indican que las zonas con mayor peligro debido a la presencia de huracanes son las costeras y las vertientes marinas de las sierras en México, ya que en ellas se conjugan todos los efectos destructivos. Zonas con llanuras costeras muy estrechas limitadas por escarpada orografía pueden ver incrementada significativamente la precipitación pluvial; al mismo tiempo, áreas con estrecha plataforma continental tienen mayor riesgo por oleaje y menor peligro por marea de tormenta, y en zonas con amplia plataforma continental, viceversa. La manifestación que mayor penetración continental muestra (afortunadamente) es la precipitación pluvial.

Al considerar la conjunción del fenómeno natural de los huracanes con el fenómeno social del desarrollo de centros de población, no se tiene otra opción que descartar el término desastre natural. El fenómeno que establece las condiciones de peligro es ciertamente natural, pero en gran medida la catástrofe en sí se debe a la forma en que los hombres nos desarrollamos económica, social y políticamente en una casi total apatía por la presencia de los huracanes como parte integral de nuestro ambiente. Nuestra natural tendencia a regresar a la normalidad lo más rápido posible después de una adversidad, nos ha llevado a reconstruir las localidades sin incrementar el nivel de seguridad de la población en el área siniestrada. Nuestra miopía para identificar situaciones de peligro, ya irreversibles en algunos sitios, y al mismo tiempo ignorar que lo mismo está ocurriendo en zonas que actualmente se desarrollan, sólo hace más permanente nuestra desventajosa situación ante estos gigantes de la naturaleza. Sirva pues esta breve revisión para reflexionar en la idea de que en el caso de los huracanes sí hay mucho que hacer para atenuar sus efectos 🍂

REFERENCIAS

- Fuentes M., Óscar A. y M. Teresa Vázquez C., "Probabilidad de presentación de ciclones tropicales en México", en *Cuaderno de Investigación*, núm. 42, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, 1997, 38 pp.
- Rosengaus M., *Efectos destructivos de ciclones tropicales*, MAPFRE-ITSEMAP-IMTA-AMH, México, 1998, 251 pp.
- Secretaría de Gobernación, *Atlas nacional de riesgos*, México, 1991, 121 pp.

Caracterización de las sequías

Palabras clave

SEQUÍA | ARIDEZ

Por Carlos Escalante Sandoval*
Lilia Reyes Chávez*

INTRODUCCIÓN En los últimos años se han registrado tres periodos críticos de sequía en México: el primero, de 1948 a 1954; el segundo, de 1960 a 1964, y el más reciente de 1993 a 1996. Durante 1988 y 1994, los efectos de la sequía en los sectores agrícola, ganadero y forestal reportaron 5,224,970 ha de cultivo dañadas, la pérdida de 302,297 cabezas de ganado y más de 17,500 incendios forestales (Escalante y Reyes, 1998), de ahí la relevancia del fenómeno en el país. ■ Con base en lo anterior, puede afirmarse que el fenómeno de la sequía es el causante de importantes y muy serios problemas económicos y sociales. Un primer paso para plantear soluciones orientadas a mitigar sus efectos es el conocimiento adecuado tanto de sus causas como de sus características físicas. Con el fin de compartir y transmitir parte de estos conocimientos, en este trabajo se presenta la definición general, sus efectos nocivos y algunos procedimientos para su identificación.

CLASIFICACIÓN DE LAS SEQUÍAS

De acuerdo con la Secretaría de Gobernación (Segob, 2000), las sequías pueden clasificarse por el clima o por su magnitud:

POR CLIMA

- **Permanentes:** se producen en climas áridos.
- **Estacionales:** se observan en sitios con temporadas lluviosas y secas bien definidas.
- **Contingentes:** se presentan en cualquier época del año debido a periodos prolongados de calor, falta de lluvias o coincidencia de ambos.
- **Invisibles:** ocurren cuando las lluvias del verano no cubren las pérdidas de humedad por evaporación.

Puede afirmarse que el fenómeno de la sequía es el causante de importantes y serios problemas económicos y sociales. Un primer paso para plantear soluciones orientadas a mitigar sus efectos en el conocimiento adecuado tanto de sus causas como de sus características físicas.

POR MAGNITUD

- **Leves:** tienen como causa la escasez parcial de lluvias y no repercuten de manera importante en la producción ni en la economía.
- **Moderadas:** son originadas por una disminución significativa en la precipitación pluvial que afecta a la producción agrícola.
- **Severas:** se producen por disminución general o total de lluvias, con daños cuantiosos a la producción.
- **Extremadamente severas:** son causadas por el proceso permanente de escasez de agua que provoca crisis en la agricultura y en la ganadería, con los consiguientes efectos en la economía y la sociedad.



CUADRO 1. EXTENSIÓN Y CATEGORÍA DE LA SEQUÍA

ÁREA (%)	CATEGORÍA
Menor de 10	Local
De 11 a 20	Vasta
De 21 a 30	Muy vasta
De 31 a 50	Extraordinaria
Mayor de 50	Catastrófica

De acuerdo con el cuadro 1, se pueden clasificar en función del área que afectan (Medina y Espinosa, 1988).

IDENTIFICACIÓN DE LAS SEQUÍAS

Con el fin de definir y comparar las características de las sequías se ha propuesto un conjunto de técnicas e índices. Los más simples hacen uso únicamente de la precipitación media anual, como el factor de lluvia de Lang o el índice de aridez de Martonne. Otros, además de la precipitación media anual o mensual, utilizan algunas características como temperatura, evaporación, evapotranspiración, pérdida de humedad del suelo y humedad antecedente del suelo. Entre los de esta clase se encuentra el de Palmer (Alley, 1984).

Existen otras técnicas o índices que permiten caracterizar una sequía:

Teoría de las secuencias de una serie de tiempo (Salas, et al., 1988)

Un componente necesario para una completa definición de sequía es la especificación del llamado

▲ EFECTOS DE LA SEQUÍA

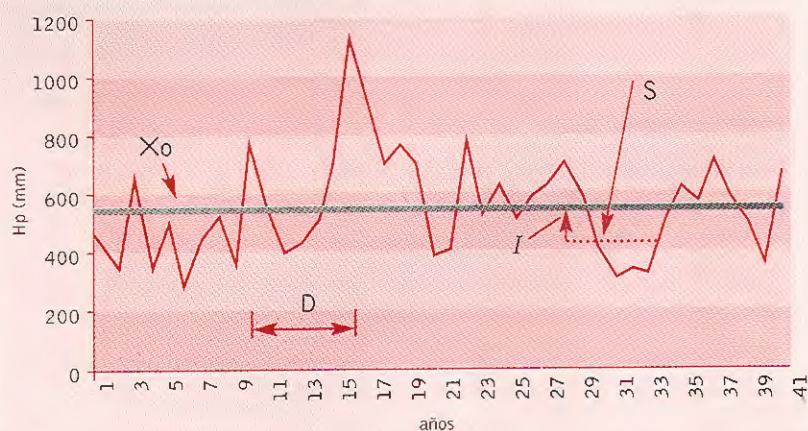
EN TIERRAS CULTIVABLES.

FOTOS ABELARDO RODRIGUEZ

nivel de truncamiento o umbral, el cual permite distinguir las sequías de otros fenómenos en los datos históricos; los estadísticos muestrales, como la media y la mediana de las series de tiempo registradas, generalmente se utilizan para definir el nivel de truncamiento. Puede decirse que el uso de la mediana es útil para analizar las duraciones, mientras que la media funciona para las severidades; sin embargo, un análisis completo de sequías relaciona simultáneamente la duración y la severidad. Lo anterior no resulta práctico, ya que involucra el uso de dos niveles diferentes de umbral. Un procedimiento sugerido para evitar la controversia en la selección de este nivel es la normalización de la muestra analizada que remueve el sesgo, con ello se espera que la media y la mediana de la muestra coincidan, a pesar de que las dos medidas de tendencia central usualmente no son idénticas, aun después de la transformación normalizante; por tanto, es recomendable utilizar la media como umbral al considerar los valores extremos de la serie de datos.

El concepto y el efecto del nivel de truncamiento son más claros cuando se adopta la teoría estadística de las secuencias para el análisis de una serie de tiempo, formada por eventos hidrológicos o meteorológicos. Los parámetros fundamentales de las secuencias de una serie meteorológica anual se presentan en la figura 1.

FIGURA 1. PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LAS SECUENCIAS DE UNA SERIE



Para analizar las sequías hidrológicas o meteorológicas multianuales, X_0 puede seleccionarse como el escurrimiento o la lluvia media anual; en cuanto al estudio de una sequía agrícola, X_0 puede elegirse como la humedad media del suelo presente durante la primera etapa del crecimiento del cultivo.

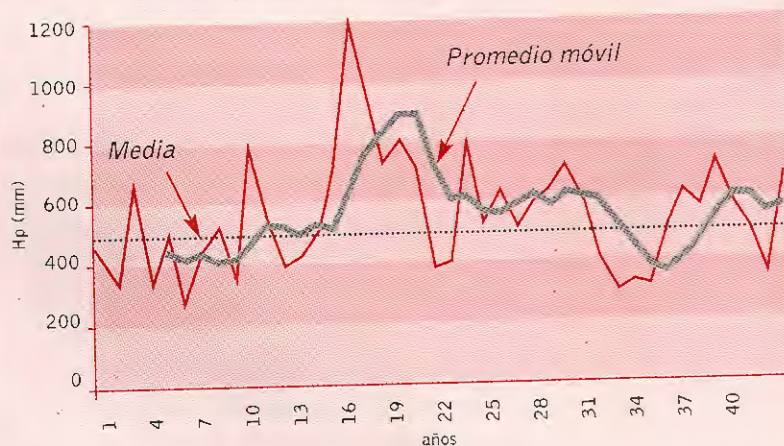
Teoría de los promedios móviles (Schulz, 1976)

Esta técnica permite suavizar algunas de las variaciones aleatorias de una serie de tiempo. Si la secuencia de valores de la serie es $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$, el promedio móvil será:

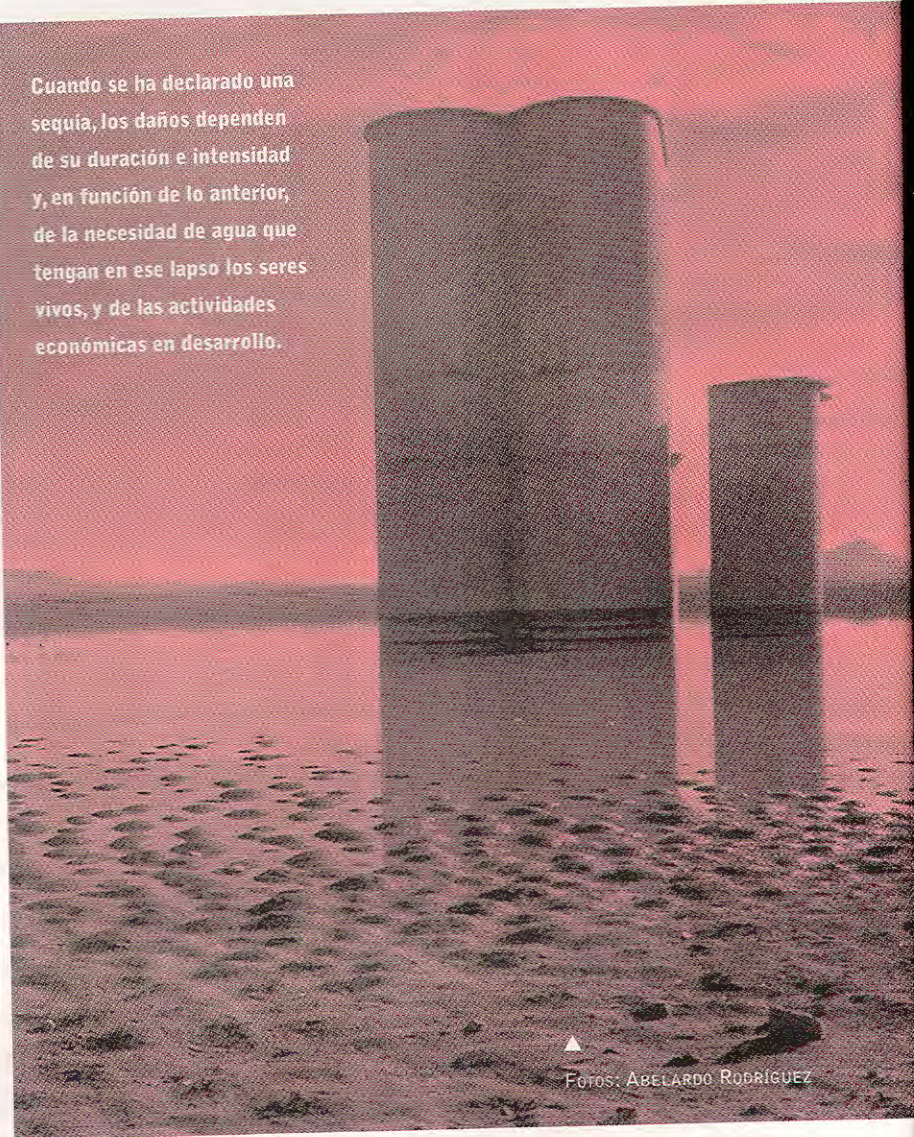
$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}, \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_{N+1}}{N}, \frac{X_3 + X_4 + \dots + X_{N+2}}{N}, \dots \quad (1)$$

Los registros de precipitación anual se analizan con promedios móviles de orden 5 pues permiten suavizar la componente irregular de las series, prevaleciendo en el registro los efectos de los ciclos húmedos y secos (figura 2). Los periodos húmedos o lluviosos se detectan al comparar la línea de promedios móviles con la línea recta que representa la lluvia media anual de todo el registro; durante los periodos de sequías, la línea de promedios móviles está por debajo del valor medio. Una vez determinados los periodos húmedos y secos, es posible obtener las características de severidad, intensidad y duración de cada secuencia.

FIGURA 2. PROMEDIO MÓVIL DE UNA SERIE DE DATOS



Cuando se ha declarado una sequía, los daños dependen de su duración e intensidad y, en función de lo anterior, de la necesidad de agua que tengan en ese lapso los seres vivos, y de las actividades económicas en desarrollo.



FOTOS: ABELARDO RODRÍGUEZ

Variabilidad de la precipitación anual (Chow, 1974)

El coeficiente de variación de la precipitación anual, definido como la relación de la desviación estándar con respecto a la media, se emplea con frecuencia como un índice de sequías; donde éstas son más comunes, el coeficiente es mayor de 0.55; en el caso contrario, varía entre 0.15 y 0.25.

En países como el nuestro, según diversos estudios, se ha encontrado cierta relación entre un alto valor del coeficiente de variación y las regiones áridas y semiáridas (Sancho, 1983), que son las más afectadas por la frecuencia y crudeza de las sequías.



Deciles de la precipitación anual (Gibbs y Maher, 1967)

Otro índice que permite detectar las características de una sequía es el k-ésimo decil de la precipitación anual. En 1967 se utilizó esta técnica para obtener la localización espacial de las sequías en Australia, estableciendo áreas donde la lluvia entra en el rango del primer decil. Los límites de cada decil se calculan mediante la distribución de frecuencia acumulada ordenando la serie de datos en forma creciente y dividiéndola en diez partes; por tanto, el decil 1 es la cantidad de lluvia que no es excedida en 10% del total y así sucesivamente. De acuerdo con este criterio, la precipitación anual observada puede clasificarse como se muestra en el cuadro 2.

REFERENCIAS

- Alley, W. M. (1984) "The Palmer drought severity index: limitations and assumptions", en *J. Climate Appl. Meteorology*: 27(7):1100-1109.
- Escalante C. y L. Reyes (1998) "Identificación y análisis de sequías en la región hidrológica número 10", en *Ingeniería Hidráulica en México*, vol XIII. (2):23-43.
- Chow, V. T. (ed.) (1974) *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw Hill, Nueva York.
- Gibbs, W. J. y J. V. Maher (1967). "Rainfall deciles as drought indicators", Bulletin 48, *Commonwealth Bureau of Meteorology*, Melbourne.
- Medina, A. y J. Espinosa (1998). "Distribución de la sequía en México", en *Tlaloc*, año V, núm. 12. p. 26.
- Salas, J. D., J. W. Delleur, V. Yevjevich y W. L. Lane (1988). *Applied modelling of hydrological time series*. USA: Water Resources Publications 417 pp.
- Sancho, J. (1983). "Drought characterization and impact mitigation measures in Mexico", en *Coping with Droughts*. USA: Water Resources Publications, pp. 259-269.
- Segob (2000) "Desastres naturales: sequías", Secretaría de Gobernación de México. www.gobernacion.gob.mx
- Schulz, E. F. (1976). *Problems in Applied Hydrology*: Chapter 2. Applications of Elementary Statistics in Hydrology. USA: W.R.P. pp 31-73.
- Yevjevich, V. (1983). *Coping with droughts*. USA: Water Resources Publications 417 pp.

EFFECTOS DE LAS SEQUÍAS

Cuando se ha declarado una sequía, los daños dependen de su duración e intensidad y, en función de lo anterior, de la necesidad de agua que tengan en ese lapso los seres vivos, y de las actividades económicas en desarrollo. Al presentarse una sequía, los efectos se manifiestan en (Segob, 2000):

- **Desequilibrio ecológico:** deshidratación y muerte de la flora; migración o muerte de la fauna; degradación destrucción de los bosques, y debilitamiento, aridez y desertización de los suelos.
- **Deterioro de la producción agrícola:** pérdida de los cultivos y el consecuente empobrecimiento de los campesinos; escasez de alimentos que deriva en desabasto y encarecimiento de los productos, con el consiguiente acaparamiento y especulación.
- **Disminución del hato ganadero:** pérdida de animales por hambre.
- **Reducción de la actividad industrial:** cortes de producción y descenso en la calidad de los productos, lo cual repercute en la economía y en la generación de empleos.
- **Deterioro en la salud pública:** epidemias, hambrunas, mortandad y migración campesina del área rural hacia condiciones negativas de subsistencia ☔

CUADRO 2. EXTENSIÓN Y CATEGORÍA DE LA SEQUÍA

CLASIFICACIÓN	LÍMITES DE FRECUENCIA (%)	DECIL
Mucho muy arriba del promedio	90-100	10
Muy arriba del promedio	80-90	9
Arriba del promedio	70-80	8
Ligeramente arriba del promedio	60-70	7
Normal	50-60	6
Normal	40-50	5
Ligeramente abajo del promedio	30-40	4
Abajo del promedio	20-30	3
Muy abajo del promedio	10-20	2
Mucho muy abajo del promedio	0-10	1

Heladas

Orígenes, predicción, pronóstico y defensa

Palabras clave

HELADA | AGROCLIMATOLOGÍA

Por Daniel Francisco Campos Aranda*

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta una panorámica de algunos aspectos relevantes asociados a las heladas. Inicialmente, destaca la importancia de este fenómeno agroclimático, citando las definiciones básicas y su clasificación. Luego describe los tipos de heladas según el proceso físico que las origina y se da un criterio simple de definición de los periodos relativos a las heladas y la esencia del método o análisis probabilístico de sus fechas extremas. A continuación se exponen brevemente dos métodos aproximados de pronóstico de las heladas de irradiación y, finalmente, se describen las técnicas tanto para la defensa pasiva como para la activa.

ORÍGENES

Importancia y definiciones

Las heladas son uno de los fenómenos ambientales que más daño causan a la agricultura en muchas regiones de México; pueden originar destrucción total o parcial de los cultivos, así como retardo o terminación de su formación. Estos daños podrían minimizarse si se conocieran a fondo las características de la distribución, formación y evolución de las heladas y, a partir de tal conocimiento, desarrollar mejores estrategias y técnicas defensivas contra tal adversidad (WMO, 1981).

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos. En cambio, el enfoque agrometeorológico define a este fenómeno como un descenso de la temperatura ambiente que provoca la muerte de los tejidos vegetales.

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0 °C o menos, observación casi siempre realizada con el termómetro de mínimas instalado en la garita meteorológica, lógicamente sin aclaraciones respecto a intensidad, duración y origen. En cambio, el enfoque agrometeorológico la define como un descenso de la temperatura ambiente que provoca la muerte de los tejidos vegetales. Esta definición implica dos condiciones, meteorológicas y biológicas: tolerancia propia del cultivo o variedad de éste, etapa de desarrollo y condiciones fisiológicas y sanitarias (Guyot, 1998).

El valor práctico de esta última definición se reduce a la zona de observación y no permite generalizaciones, por ello se recurre al punto de vista meteorológico a fin de caracterizar una helada a nivel regional, no sin antes aclarar que las temperaturas leídas en la garita resultan eficientes para asociar este fenómeno en los frutales y cultivos como del maíz y el girasol, pero que en cultivos de talla escasa como trigo, sorgo, frijol y sobre todo pastos, se requieren lecturas a diez o 15 cm y a la intemperie.

Clasificación de las heladas

Las heladas se clasifican según tres criterios: época de ocurrencia, proceso físico que las

origina y sus efectos visuales. De acuerdo con el primer criterio, se dividen en tempranas u otoñales, invernales y tardías o primaverales. Las más peligrosas son las tempranas y las tardías; las primeras dañan cosechas o frutos, y las segundas plántulas o cultivos en sus brotes iniciales. Según el proceso que las origina, las heladas son de advección, de irradiación, de evaporación y mixtas. Finalmente, y con base en el tercer criterio, se denominan blancas a las que van acompañadas de escarcha, y negras a las que dejan tal coloración en los brotes y hojas de los cultivos dañados.

Las llamadas heladas de advección son originadas por la llegada de masas de aire frío, con temperatura inferior al punto de congelación; también se conocen como heladas negras, debido a que dejan este color en brotes y hojas de los cultivos dañados; comúnmente afectan grandes áreas y, por sus características, los métodos de defensa contra este tipo de eventos son ineficaces. Este fenómeno puede presentarse a cualquier hora del día, sin importar el estado de la atmósfera. Los cultivos se enfrían por contacto y los daños dependen de su naturaleza y estado fenológico, así como de otros factores asociados a la masa de aire frío, por ejemplo el viento (Elías y Castellví, 1996).

Es frecuente que durante la ocurrencia de las heladas de advección también ocurran los mecanismos que originan las de irradiación y las de evaporación; entonces, se presentan las heladas mixtas, con gran poder destructivo y sin posibilidad de emplear métodos de defensa.

Como se mencionó, en las heladas de advección, toda una región o zona queda inmersa en una masa de aire que está mucho más fría que las plantas y absorbe su calor; en cambio, en las de irradiación las plantas están más frías que el aire que las rodea, el cual se reduce a una capa de poco espesor en contacto con la superficie. Por ello, la lucha o defensa contra las heladas es sólo factible en las segundas, donde los factores meteorológicos preponderantes sobre su intensidad son la nubosidad, el viento y el contenido de humedad del aire.

El daño producido a los cultivos por una helada está asociado con su intensidad, así como

otros factores relacionados con las plantas. También influyen las prácticas de cultivo (como se expondrá en la descripción de la defensa pasiva), pero de manera general, su alcance depende de la duración, de la temperatura mínima y de la rapidez con que se produjo el fenómeno. Cuando las heladas se producen por descensos rápidos de temperatura, sus efectos son más destructivos que cuando son originados por enfriamiento lento. En el primer caso, se forman grandes cristales de hielo, mucho más perjudiciales a los tejidos vegetales que los cristales pequeños (Elías y Castellví, 1996; Guyot, 1998).



▲ EJEMPLO DE LOS DAÑOS PROVOCADOS POR UNA HELADA BLANCA.

Las heladas se clasifican según tres criterios: época de ocurrencia, proceso físico que las origina y sus efectos visuales. Según su época de ocurrencia se dividen en tempranas u otoñales, invernales y tardías o primaverales. Según el proceso que las origina se clasifican en de advección, de irradiación, de evaporación y mixtas; finalmente, con base en sus efectos visuales, se dividen en blancas y negras.

PREDICCIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS

Bajo esta designación hay que distinguir el riesgo meteorológico que involucra fenómenos peligrosos, como granizo, vientos fuertes, tornados, crecientes y huracanes, los cuales son comúnmente destructivos pero raros y limitados tanto en el tiempo como en el espacio, además de ser susceptibles de un pronóstico determinístico orientado a aminorar sus daños.

El riesgo climático no se puede pronosticar, únicamente se puede predecir en un contexto probabilístico.

Estimación de periodos de heladas

Con fines de estudios agroclimáticos preliminares (Campos, 1996), o de una definición rápida del riesgo de heladas, se ha sugerido emplear el criterio

de L. Emberger (Elías y Ruiz, 1981), el cual utiliza la temperatura promedio mensual de mínimas (t), para definir los cuatro periodos siguientes:

- Cuando t es menor o igual a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas continuas (HC). Crecimiento vegetal nulo.
- Cuando t es mayor de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero menor o igual a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas frecuentes (HF). Crecimiento vegetal lento.
- Cuando t es mayor de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero menor de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas poco frecuentes (HPF).
- Cuando t es mayor de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, el riesgo de heladas es pequeño (de 10 a 15 o 20%), por ello se designa como periodo libre de heladas (PLH).



Análisis probabilístico

Las heladas deben ser estudiadas probabilísticamente para tener la posibilidad de reducir de forma racional el riesgo que la agricultura tiene de sufrir daños por tal fenómeno, al ubicar en orden cronológico los cultivos fuera de sus épocas de ocurrencia. Así, para cultivos perennes (frutales, por ejemplo) se acepta un riesgo de 5%, para los cultivos anuales normales se considera práctico 20% y en los anuales de alto valor económico o muy delicados, 10%; lo anterior implica aceptar heladas en uno de cada 20, cinco o 10 años, respectivamente (Guyot, 1998).

PRONÓSTICO

Aproximado

Para el pronóstico local de las heladas de irradiación, el psicrómetro es muy útil. Un valor de la depresión del termómetro húmedo (DTh) de entre 3 y $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ indica poca humedad en el ambiente, lo cual favorece las heladas (García de Pedraza y García, 1978). Otra regla práctica establece que la temperatura mínima que se alcanzará por la noche es, aproximadamente, la del punto de rocío (T_d) a la caída de la tarde. Por tanto, puede pronosticarse al atardecer, un cuarto de hora antes de la puesta del sol, la posibilidad de que haya helada, si la temperatura de punto de rocío en ese momento es inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (García de Pedraza y García, 1978).

Numérico

Este método de predicción utiliza ecuaciones de base física que toman en cuenta la irradiación, nubosidad presente, velocidad del viento y características térmicas del suelo. Requiere datos meteorológicos y otros parámetros, pero permite pronosticar las temperaturas a partir de la puesta del sol.

DEFENSA

La designación general de "defensa contra heladas" abarca diferentes sistemas empleados para proteger los cultivos de las heladas tempranas y tardías; se dividen en dos grandes grupos (García de Pedraza y García, 1978): defensa pasiva, de prevención o lucha indirecta, y defensa activa.

Defensa pasiva o lucha indirecta

La *defensa pasiva* consta de estrategias antes de la siembra y después de ésta; es muy importante, principalmente en las zonas donde ocurren heladas periódicas, ya que su aplicación llevará a una defensa activa más económica y eficaz.

Antes de la siembra existen dos acciones que deben tomarse en cuenta, una consiste en seleccionar especies y variedades de cultivo resistentes a las heladas y de floración tardía, y la otra en elegir el sitio con base en los hechos siguientes:

Todas las formas cóncavas del terreno son propensas al frío y a las heladas, por lo que debe

evitarse plantar en el fondo de los valles, laderas y hondonadas que constituyen cauces naturales del flujo o masas de aire frío. Por el contrario, las formas convexas son lugares de dispersión del aire frío, que determinan condiciones poco favorables a las heladas, por tanto, deberá preferirse las colinas o cualquier elevación sobre el nivel ordinario del terreno para la plantación.

En laderas y terrenos ligeramente inclinados, cualquier obstáculo o barrera, natural (bosque o cortina rompevientos) o artificial (casas y edificios), que se interponga al flujo del aire frío aumenta el riesgo de heladas en áreas que se encuentran por encima de éstos y brindan protección en las zonas ubicadas debajo de ellos, por lo que se debe evitar sembrar en la parte alta de los obstáculos.

Después de realizar la siembra existen ciertas medidas y precauciones que pueden disminuir el riesgo de heladas (García de Pedraza y García, 1978; Elías Castellví, 1996), por ejemplo:

■ **Regulación de la fertilización.** Los abonos nitrogenados deben utilizarse moderadamente antes de la floración, ya que estimular el crecimiento favorece el desarrollo de los botones florales con riesgo de daños apreciables por las heladas. En contraparte, se ha observado que las deficiencias en microelementos hace que los árboles frutales sean más vulnerables a los efectos del frío, de manera que una dosificación correcta de tales elementos será benéfica y, si ocurren daños por heladas, éstos serán menores.

■ **Regulación de tratamientos sanitarios.** Se ha comprobado que los árboles frutales vigorosos y sanos son un poco más insensibles al frío que aquellos que están enfermos y debilitados por las plagas, de lo cual se deduce que es conveniente una aplicación adecuada de tratamientos fitosanitarios.

■ **Técnicas de cultivo adecuadas.** Al respecto, conviene tener presente que los suelos desnudos (sin hierbas ni cultivos) y compactos, almacenan y conservan más el calor que los recién trabajados o cubiertos de vegetación. De este hecho se derivan diferentes consejos prácticos. Además, cuando la configuración del terreno lo permita, será útil encauzar las masas de aire frío lejos de las planta-



ciones a través de barreras o vallas. Otras estrategias comprenden las podas altas y tardías, así como encalados de yemas y ramas jóvenes.

Defensa activa o lucha directa

Es el conjunto de técnicas o procedimientos que aportan calor a los cultivos, pues éstos lo pierden como consecuencia de la helada. El objetivo es evitar que los órganos vegetales descendan por debajo de la llamada temperatura crítica; ello se consigue suministrando el calor necesario en el momento oportuno. De estas dos condiciones, la más importante es la segunda, ya que de nada sirve una defensa cuando ya ha helado.

La temperatura crítica es aquella en la que se forman cristales de hielo en el interior de las células; depende principalmente del estado vegetativo de la planta y de la especie a la que pertenece. El sistema de defensa activa intenta impedir que en ningún momento se alcance la temperatura crítica y de manera general bastará con alejarse unos 2 °C, siempre y cuando se haga un control suficiente y uniforme. Esto último implica disponer de un buen sistema de alarma y control de las temperaturas.

Como el calor que se suministra en los sistemas de defensa activa puede provenir del agua o de quemar algún combustible, las técnicas o procedimientos de esta defensa se dividen en:

■ **Sistemas de defensa por calor húmedo.** Se basan en que el agua es, de todas las sustancias —salvo el hidrógeno—, la que posee un calor específico (cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de ella, y se mide en calorías) mayor. Los sistemas disponibles son dos: riego por gravedad y riego por aspersión.

■ **Sistemas de defensa por calor seco.** Se caracterizan por la producción de calor quemando un combustible. Según la forma en que se realiza la combustión, pueden ser de dos tipos: libres y forzados. Los primeros incluyen bolsas combustibles, neumáticos viejos, ramas de poda, paja natural e impregnada de aceite, etc. Los segundos comprenden quemadores de gasoil y fuel-oil, y estufas de diversos tipos, como chimeneas, a fuego libre y de briquetas 🍂

REFERENCIAS

- Campos A., D. F. 1996a. "Guías para la elaboración de estudios agroclimáticos de cultivos (propuesta normativa)", en *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. X, Núm. 1, pp. 15-33.
- Elías C., F. y F. Castellví S. 1996. *Agrometeorología*. Capítulo 9: Heladas y protección contra heladas, páginas 221-237. Coedición del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España.
- Elías C., F. y B. L. Ruíz. 1981. *Estudio agroclimático de la región Castilla-La Mancha*. Departamento de Agricultura de la Junta de Comunidades Castilla-La Mancha. Toledo, España. 247 pp.
- García de Pedraza, L. y J. García S. 1978. *Diez temas sobre el clima*. Tema V: Las Heladas, pp. 93-111. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 2a. Edición.
- Guyot, G. 1998. *Physics of the Environment and Climate*. Chapter 6, theme 6.6: Agrometeorological studies, pp. 429-441. John Wiley & Sons. Published in association with Praxis Publishing Ltd. Chichester, England.
- WMO. (World Meteorological Organization). 1981. *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. WMO, Núm. 134. Geneva, Switzerland. Second edition.

Lluvia convectiva (de verano) en México

Palabras clave

LLUVIA CONVECTIVA | HURACÁN | CLIMATOLOGÍA | PRECIPITACIÓN | TORMENTA

Por Jorge Sánchez Sesma*
Miguel Cortez Vázquez**
Marco Antonio Sosa Chiñas***

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista climático, nuestro país constituye un puente de transición entre los trópicos y los climas de latitudes medias. La mitad sur de México se encuentra dominada por fenómenos tropicales, mientras que sistemas atmosféricos de latitudes medias predominan en su parte norte; éstos penetran en el centro y sur del país durante el invierno. Como normalmente ocurre en regiones de bajas latitudes, la lluvia es de tipo convectivo en gran parte del territorio nacional, y se concentra de mayo a octubre (Cortez, 1999, 2000).

CONDICIONES CRÍTICAS

Las lluvias de verano en México están asociadas a la influencia de sistemas atmosféricos de gran escala, como la zona de convergencia intertropical y los vientos alisios, así como a sistemas transitorios, como ondas y ciclones tropicales.

La Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) es una región de bajas presiones alrededor del globo y cercana al ecuador, donde tiene lugar el encuentro de los vientos del este (alisios) provenientes de cada hemisferio, eso da lugar a movimientos de ascenso de las masas de aire y a una

▲
CONSECUENCIAS DE LAS LLUVIAS
TORRENCIALES EN LA CIUDAD DE
VILLAHERMOSA, TABASCO.

La zona Intertropical de convergencia (ZITC) es una región de bajas presiones alrededor del globo y cercana al ecuador, donde tiene lugar el encuentro de los vientos del este (alisios) provenientes de cada hemisferio, eso da lugar a movimientos de ascenso de las masas de aire y a una abundante precipitación.

abundante precipitación. Gran parte de la dinámica atmosférica en esa temporada está relacionada con la presencia de la ZITC en el Pacífico oriental (Magaña *et al.*, 1999), la cual alcanza su posición norte extrema durante agosto y septiembre, cuando se ubica frente a las costas de Guerrero y Oaxaca, desde donde favorece desprendimientos nubosos y la entrada de humedad hacia el interior del país.

Por otra parte, conforme el verano se aproxima, los vientos alisios se profundizan en la altura y penetran hasta latitudes medias, y gran parte del país queda bajo su influencia (Mosiño y García). Dentro del flujo de los vientos alisios viajan perturbaciones como las ondas tropicales que, después de atravesar el Caribe con dirección este-oeste, se internan en la parte centro-sur del país, donde dan lugar a intensas precipitaciones, principalmente en regiones donde se tiene un efecto orográfico. En el verano, aproximadamente uno de estos sistemas se presenta en periodos de tres a cinco días.

También se debe tomar en cuenta a los huracanes como un factor importante de las lluvias de verano en México. Aunque a estos fenómenos frecuentemente se les asocia con situaciones de desastre y pérdida de vidas humanas, constituyen los principales sistemas productores de lluvias en verano para regiones como el noreste del país.

En ocasiones, varios mecanismos y sistemas productores de lluvia actúan de manera simultánea y generan periodos cortos de precipitaciones intensas.

Un caso de este tipo ocurre cuando el flujo que acompaña a un ciclón tropical choca con una cadena montañosa, lo que produce un ascenso de las masas de aire cargadas de humedad, causando una magnificación del proceso convectivo. Ejemplos de esta situación se presentaron en Nuevo León y Tamaulipas durante el huracán Gilberto, en septiembre de 1988, y en Guerrero y Oaxaca con el huracán Paulina, en octubre de 1997.

Otro caso se presenta hacia finales del verano, cuando un huracán en el Golfo de México detiene su trayectoria debido a la presencia de un frente frío en el norte del Golfo de México, lo que provoca que las lluvias se incrementen no sólo por el efecto estacionario de las tormentas convectivas dentro del huracán, sino también por la inestabilidad de la columna atmosférica que aumenta ante la presencia de un frente frío. Un ejemplo al respecto se presentó en los primeros días de octubre de 1999, con



▲
SECUELAS DE LLUVIAS
TORRENCIALES EN
PÓZA RICA, VERACRUZ.

la depresión tropical número 11, cuando además de la situación anterior, la zona intertropical de convergencia se encontraba muy activa al norte de su posición normal, lo que favoreció la entrada de humedad al país desde el Pacífico; la interacción de estos sistemas originó lluvias intensas que afectaron a los estados de Veracruz, Puebla e Hidalgo.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis estadístico de los registros históricos de las lluvias permite mejorar el conocimiento sobre los fenómenos extremos asociados a las mismas, e identificar cuáles son las regiones más propensas a ellos. Con este fin se analizaron los datos diarios de precipitación contenidos en la base de datos ERIC (Extractor Rápido de Información Climatológica), preparada en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua a partir de los archivos históricos del Servicio Meteorológico Nacional; a partir de esta información se elaboraron mapas de lluvia máxima acumulada en periodos de uno, tres, cinco y siete días durante los meses de mayo a octubre, considerando un periodo de retorno de 50 años.

**FIGURA 1 VALORES MÁXIMOS DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA (MM)
DURANTE LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE, ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.**



La figura 1 muestra los valores máximos de lluvia acumulada en un día. Destacan la cuenca del río Papaloapan al sur de Veracruz y una pequeña área cerca de Puerto Vallarta, con valores mayores a 400 mm. Otras regiones que pueden registrar valores extremos (entre 300 y 400 mm) incluyen pequeñas porciones al norte de Veracruz y la cuenca del río Coatzacoalcos en el mismo estado, así como algunos puntos de la costa de Guerrero y Oaxaca. En la figura 2 se presentan los valores de precipitación máxima en tres días. La región con los rangos más altos es la vertiente oriental de la Sierra Madre Oriental, expuesta a la influencia de los vientos alisios y a las perturbaciones tropicales. Destaca la cuenca del río Papaloapan, con más de 700 mm, y en menor grado la región de la Huasteca y la cuenca del río Coatzacoalcos (entre 600 y 700 mm). Otras regiones con altos valores de lluvia se visualizan en la Sierra Madre del Sur, sujeta a una mayor influencia de la zona de convergencia intertropical y a sistemas locales como brisas de mar, además la zona de Bahía de Banderas y Bahía de San Blas, donde la forma cóncava de la costa favorece un incremento en la con-

REFERENCIAS

- Cortez-Vázquez, M., 1999: Marcha anual de la actividad convectiva en México. *Atmósfera*, 12, 101-110.
- Cortez-Vázquez, M., 2000: Variaciones intraestacionales de la actividad convectiva en México y América Central. *Atmósfera*, 13, 95-108.
- Douglas, M. W., R. A. Maddox, K. Howard, and S. Reyes, 1993: The Mexican Monsoon. *J. Climate*, 6, 1665-1677.
- Magaña, V., J. L. Pérez, J. L. Vázquez, E. Carrisoza y J. Pères, 1999: El niño y el clima. *Los impactos de El Niño en México*. V. Magaña, Ed. SEP-CONACYT, pp. 23-66.
- Mosíño, P., and E. García, 1974: The climate of Mexico. *World Survey of Climatology*, Vol. 11, *Climate of North America*. R. A. Bryson and F. K. Hare, Eds., Elsevier, 345-404.

vección (Negri, et al., 1995). Finalmente, en las figuras 3 y 4 se muestran los resultados asociados con periodos de cinco y siete días, respectivamente; su configuración es muy semejante y reflejan la orientación de los principales sistemas montañosos. Es importante resaltar que ante lluvias extremas, tanto el área del Papaloapan como las cercanías de Puerto Vallarta pueden registrar precipitaciones de más de 1,000 mm en periodos de cinco días. Por otro lado, en las figuras sobresalen como regiones de escasa precipitación, la mayor parte de la península de Baja California, la porción noroeste de Sonora, y el extremo norte de la altiplanicie mexicana con precipitaciones de 100 a 200 mm en periodos de siete días.

CONCLUSIONES

En este artículo se identificaron las regiones más afectadas por fenómenos de lluvias extremas en México. La continuación de este tipo de análisis, que tome en cuenta fenómenos específicos, permitirá la evaluación y clasificación de los sucesos históricos, así como identificarlos posteriormente en tiempo real de eventos severos ☀

FIGURA 2 VALORES MÁXIMOS DE LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM) DURANTE 3 DÍAS EN LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE, ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.




FIGURA 3 VALORES MÁXIMOS DE LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM) DURANTE 5 DÍAS EN LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE, ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.



FIGURA 4 VALORES MÁXIMOS DE LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM) DURANTE 7 DÍAS EN LOS MESES DE MAYO A OCTUBRE, ASOCIADOS A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.





Escurrimiento extr

Las inundaciones extraordinarias de los últimos años (derivadas del ciclón Paulina en los estados de Oaxaca y Guerrero, en 1997; de la costa de Chiapas en 1998; de Tabasco y Monterrey en 1999; y de Chalco en este año, por mencionar algunas), así como la persistencia de la sequía en grandes extensiones de la república, motivan algunos planteamientos que pueden servir para entender mejor estos fenómenos y, con esa base, disminuir los daños que se derivan de los escurrimientos extremos.

Palabras clave

ESCURRIMIENTO | INUNDACIÓN

Por Dr. Ramón Domínguez Mora*

CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES

En el estudio de los escurrimientos máximos extraordinarios, las inundaciones constituyen la principal preocupación, por ello conviene clasificarlas para que, de acuerdo con sus características, se realice el análisis de los escurrimientos. Dependiendo de la duración, la magnitud de las áreas afectadas y el tipo de afectación, las inundaciones se pueden clasificar de la manera siguiente:

■ **Inundaciones repentinas.** Son ocasionadas por lluvias intensas en cuencas de respuesta rápida que provocan los denominados *flash floods*, los cuales casi siempre se acompañan de una gran cantidad de lodo. Ocurren con frecuencia en la periferia de las grandes concentraciones urbanas, donde el mismo desarrollo favorece los asentamientos humanos (muchas veces irregulares) en barrancas deforestadas e incluso en la zona federal de los cauces.

OS emos

Algunas inundaciones de este tipo se han presentado en los ríos del poniente del Valle de México, en el arroyo Topochico de Monterrey, en los de las serranías de Puebla y Veracruz, y en los arroyos de Acapulco donde, debido a su violencia, han causado incluso la pérdida de vidas humanas.

■ **Inundaciones de larga duración.** Se presentan en muchas partes del territorio nacional, generalmente en zonas bajas, en áreas muy extensas, y son originadas por el volumen acumulado de precipitación pluvial durante varios días o semanas. Por la lentitud con la que se producen no suelen causar pérdidas de vidas humanas (excepto por negligencia), aunque ocasionan importantes pérdidas económicas, tanto en las zonas urbanas (casas, comercios e industrias) como en zonas rurales (agricultura y ganadería).

Es necesario profundizar en los trabajos que se realizan después de los desastres de origen hidrometeorológico y relacionar las características del fenómeno con los daños económicos y sociales para efectuar estimaciones relativas a los daños que podrían evitarse al invertir en medidas preventivas.



■ **Encharcamientos.** Se presentan casi siempre en sectores urbanos, con periodicidad anual y duración intermedia, que muchas veces son bastante más que un simple encharcamiento y cuya principal consecuencia es el retraso en el desarrollo de las actividades productivas de la población.

Además, hay inundaciones como las de las zonas bajas del oriente del Valle de México, así como en las costas de Chiapas y Oaxaca en 1990, las de Los Cabos, La Paz, en 1994, etc., muchas de las cuales han causado también grandes daños a las vías de comunicación, lo que dificulta el envío oportuno de ayuda e implica costos de reparación.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Dada la diversidad de características de aquellas avenidas que pueden producir inundaciones de distinto tipo, el problema de la estimación del riesgo es complejo; por un lado, es necesario caracterizar las avenidas no sólo por el gasto máximo o de pico (lo que es útil en los *flash floods*, pero insuficiente en otros casos), sino por la relación *gasto medio máximo-duración* y, en algunas ocasiones, por la forma de la avenida; por otro, diseñar una política de mitigación de los daños, ya sea mediante medidas preventivas o resolutivas, requiere analizar regiones extensas (en cada una de las cuales pueden existir inundaciones de diversos tipos) y en ocasiones toda la república.

Al llevar a cabo un estudio regional, es necesario identificar primero los sitios susceptibles de inundación y, de acuerdo con el tipo de afectación potencial, analizar probabilísticamente los registros históricos con objeto de definir, en cada caso, la probabilidad de que en un año cualquiera se presente una inundación, o cuál será el periodo de retorno correspondiente. El problema se vuelve más complicado (y hacen falta estudios al respecto) si se quiere determinar (en términos de probabilidad de excedencia o periodo retorno) lo que se puede suscitar en un grupo de sitios con



riesgo o en toda una región estudiada; por ejemplo, si se piensa en el Valle de México, parece paradójico que cada año ocurran fenómenos con periodo de retorno del orden de 50 años en algún lugar del Valle, o que sea posible decir, con una gran probabilidad de acertar, que durante un año van a presentarse fenómenos con periodos de retorno mayores de 100 años en algún lugar de la república.

PREVENCIÓN VS. SOLUCIÓN

En general, se tiene la idea de que a largo plazo es más eficiente utilizar recursos en la prevención de inundaciones y así disminuir la necesidad de emplearlos en el remedio. No obstante, no se cuenta con estudios y datos suficientes para evaluar la idea y definir cuánto debe invertirse y dónde. Incluso en los sistemas preventivos, hay que evaluar el esfuerzo relativo que debe hacerse con medidas estructurales o con medidas institucionales (parece que la mayor parte parte de los daños es conse-



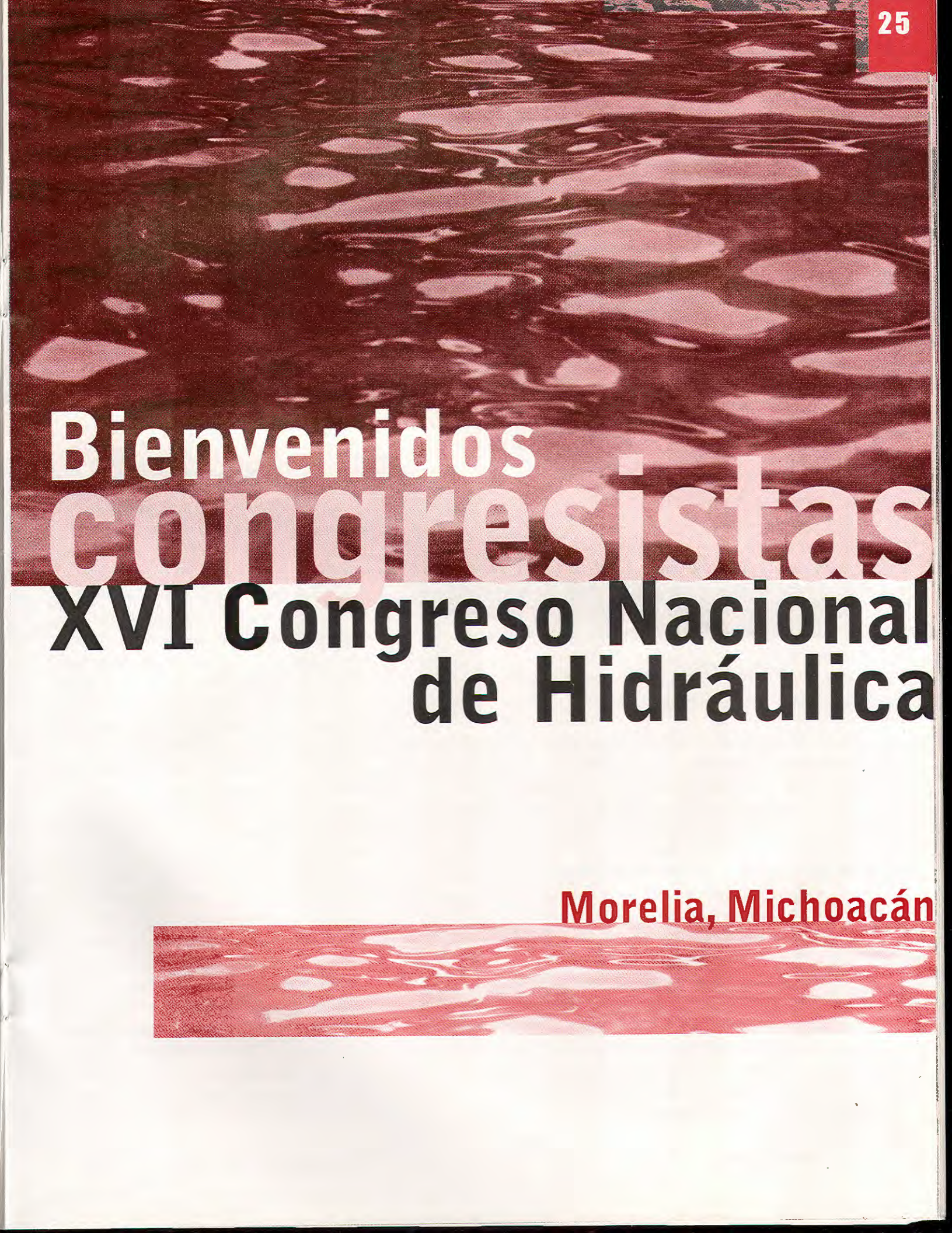
▲ LAS INUNDACIONES SE PRESENTAN GENERALMENTE EN ZONAS BAJAS, EN ÁREAS MUY EXTENSAS, Y SON ORIGINADAS POR EL VOLUMEN DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL DURANTE VARIOS DÍAS.

cuencia de una planeación incorrecta de uso del suelo) y con sistemas de alerta.

La respuesta racional a estos planteamientos debe basarse cada vez más en mediciones precisas de los costos económicos y sociales de los sucesos históricos. Es necesario profundizar en el trabajo que se realiza después de los desastres de origen hidrometeorológico, y relacionar las características del fenómeno (datos meteorológicos en los días previos, datos de lluvia y datos de escurrecimientos) con los daños económicos y sociales; de esta manera, será factible efectuar estimaciones relativas a los daños que podrían evitarse al invertir en medidas preventivas.

CONCLUSIONES

El problema que se ha tratado de presentar es complejo, por lo que se considera necesario dedicar esfuerzos para resolverlo, con el fin de disponer de herramientas que permitan la asignación racional de recursos para mitigar los daños por inundaciones ▲



**Bienvenidos
congresistas
XVI Congreso Nacional
de Hidráulica**

Morelia, Michoacán



Flujos con altas concentraciones de sedimentos en cauces naturales

Palabras clave

DEBRIS | LODOS

Por Ignacio A. Caldiño*
Poliopetro Martínez Austria*

Los flujos de lodos y de debris en zonas pobladas o con obras de infraestructura causan, además de daños cuantiosos, pérdidas de vidas

Débris es una palabra francesa, de cuyo significado se desprende que un flujo de debris es una masa en movimiento que involucra fragmentos de varias clases bajo varias condiciones. De manera específica se puede decir que se trata de un flujo de lodos de alta densidad que contienen materiales granulares gruesos en abundancia (foto 1) y resultan generalmente de una lluvia de gran intensidad.

Los desastres por este tipo de flujos tienen mayor dificultad en su predicción que las avenidas. Los daños ocurren en periodos de tiempo muy cortos, por lo que una vez que inician es casi imposible tomar medidas de evacuación o de mitigación.

Estos fenómenos extremos se han intensificado en años recientes; así, por ejemplo en 1997 sufrieron daños Acapulco, Guerrero, (foto 2), Tijuana, Baja California, en 1998 (foto 5), así como Puebla y Veraacruz, donde en 1999 ocurrieron flujos de lodos que afectaron diversas poblaciones: "...en menos de 72 horas sobre la Sierra Norte de Puebla cayó casi la mitad del agua que se precipita en un año..." (*El Universal*, 12 de octubre de 1999).

Aunque estos fenómenos se han estudiado recientemente en forma extensiva, por su complejidad no se han desarrollado métodos de cálculo generales para obras de protección o mitigación. La modelación física, dentro de sus limitaciones,

ayuda en la comprensión del fenómeno; asimismo, gran parte del conocimiento de estos flujos se ha deducido del estudio de los depósitos (fotos 4 y 5).

Por otra parte, la utilización de modelos numéricos simples es relativamente sencilla, no obstante, para esto es esencial la comprensión previa de los factores y variables que intervienen en estos flujos. La generalidad de los modelos de cálculo requieren de parámetros reológicos, sin embargo para el caso de las mezclas agua-sedimentos no se tiene referencia de su estudio en México, por lo que se hace necesaria su medición con las condiciones de los suelos del país.

Aunque los desastres ya han ocurrido y la solución es apremiante, es necesario primero conocer las bases del comportamiento de estos fenómenos para proponer y llevar a cabo las medidas más convenientes. Asimismo, es necesario que los profesionales de disciplinas técnicas conozcan las condiciones generales de estos fenómenos para que, de acuerdo con su ámbito de trabajo y de interés, se involucren en el estudio y acciones encaminados a disminuir los daños causados por los flujos de lodos y debris.

La gerencia de Ingeniería de Ríos de la Comisión Nacional del Agua y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua han desarrollado diversos estudios que hacen posible predecir, al menos de manera aproximada, cuáles sitios son propensos a sufrir un flujo de este tipo

Foto 1

DEBRIS EN LA PARTE ALTA DEL CAUCE, MATERIAL POTENCIAL POR DESLIZAR.

Foto 2

DAÑOS POR FLUJOS DE DEBRIS EN ACAPULCO, GUERRERO, OCTUBRE DE 1997.

Foto 3

DAÑOS EN TIJUANA EN FEBRERO DE 1998.

Foto 4

DEPÓSITOS EN UN EXPERIMENTO.

Foto 5

DESLIZAMIENTO EN PUEBLA.

Foto 6.

PREDICCIONES EN EL CANAL DE GRAN ESCALA DEL USGS.



La gran inundación de la ciudad de México de 1629 a 1634



Resumen del libro La gran inundación, vida y sociedad en la ciudad de México (1629-1638), de Richard Everett (Septentias, 1975, pp. 13-29)

Por Moisés Berezowsky*

Palabras clave

MÉXICO | HISTORIA | INUNDACIÓN

Cuando los españoles llegaron a la ribera sur del lago de Texcoco en el otoño de 1519, quedaron maravillados de la grandiosidad de Tenochtitlan, capital del imperio azteca. Unos 35 años más tarde, Bernal Díaz recordaba su asombro al ver desde su campamento en Iztapalapa los grandes templos y las torres que parecían surgir del agua, y las calzadas que unían la isla con tierra firme, que entre los huertos cultivados y el frondoso follaje, le parecían cosa de encantamiento de novela caballeresca. Los invasores estudiaron el palacio y los edificios de Iztapalapa, con su variedad de árboles, flores y frutas perfumadas y el estanque

poblado de aves de toda especie. El constante ir y venir de canoas por los canales y el lago, llevando frutas y verdura a Tenochtitlan, era testimonio de una actividad mercantil en consonancia con la belleza del paisaje.

Las relaciones entre las poblaciones de las riberas y el mercado urbano indicaban que la región estaba organizada por gente poderosa y hábil. En el proceso de la conquista se rompió el equilibrio de la generosa tierra que los sustentaba. Bernal Díaz recordaba con tristeza que en 40 años de gobierno español se acabó la fauna y la flora y que se estaba cultivando la ribera donde

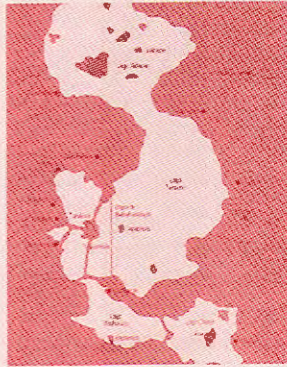
el aluvión desplazó a las aguas. Fray Alonso Ponce notó también que comenzaba la aridez, pues a veces se podía llegar a pie hasta los baños del Peñón, que estaban en una isla. El éxito del asentamiento lacustre de los culhua-mexica no se debió solamente a la combinación fortuita del clima, la topografía y la técnica.

Fue una verdadera hazaña cultural que desarrolló un sutil patrón de conservación ambiental. Nezahualcóyotl construyó en 1449 un dique de unos 16 km con una base de siete metros, que cruzaba el lago hasta Atzacualco. La obra, ejecutada con la cooperación de otras ciudades lacustres, combinaba calzadas y canales para impedir que se inundara la isla en tiempo de lluvias.

La ruta terrestre más directa de Iztapalapa a Tenochtitlan cruzaba el lago de Xochimilco por la calzada de Mexicalzingo (límite este-este entre los lagos de Xochimilco y de Texcoco) y luego directamente al norte por la calzada de Iztapalapa. Desde lejos, las casas de la gran ciudad parecían salir del agua.

A finales del siglo xv el agua de Chapultepec no alcanzaba a cubrir las necesidades de la gran ciudad, así que el rey Ahuítzotl construyó un acueducto para llevar agua de Coyoacán a Tenochtitlan. Esto provocó una inundación. Ahuítzotl cegó las fuentes de Coyoacán, hizo drenajes y reconstruyó los edificios dañados. Como una ironía, Ahuítzotl murió en 1502 tratando de escapar de un sótano inundado. Ahuítzotl y Nezahualcóyotl intentaron resolver el doble problema de las inundaciones y de la escasez de agua, pero conformes con su ciudad semiacuática, no tuvieron los medios y el motivo para alterar radicalmente su ambiente. Habían aprendido a vivir con el agua y sobre el agua, experiencia desconocida para los conquistadores.

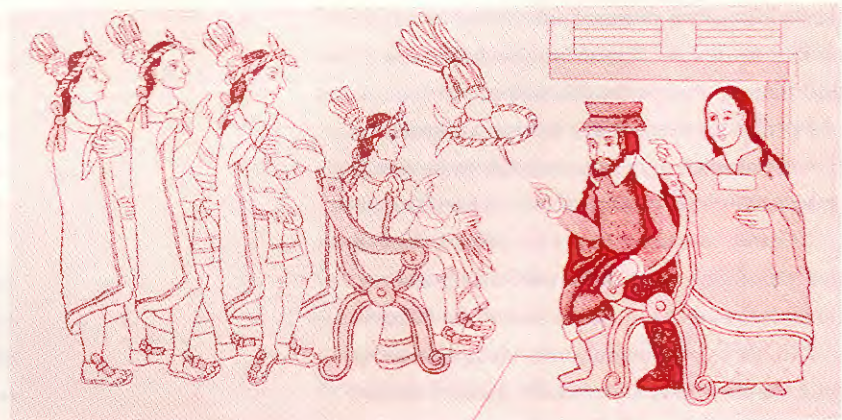
Cortés cometió un error cuando decidió fundar la nueva ciudad. Aunque veía que Coyoacán, en la ribera suroeste del lago de Texcoco, era un sitio muy superior a la isla, creyó que la ventaja política y religiosa de fundar un nuevo imperio sobre las cenizas del viejo era mucho mayor que la desventaja. Aunque admiró la belleza y el funcionamiento de Tenochtitlan no quiso o no supo ver



lo que sería necesario conservar si la vieja ciudad había de soportar a una ciudad española. Lo primero que hizo fue cegar los canales, apartándose de la forma en que los aztecas aprovechaban el ambiente e iniciando inexorablemente los grandes cambios en la naturaleza de la cuenca que terminaron eventualmente con las obras de desagüe. Inmediatamente se procedió a la construcción de la nueva ciudad en una traza que se adaptaba cómodamente a la antigua. Se construía a pasos tan acelerados que fray Toribio de Benavente, Motolinía, dijo que la reconstrucción de México-Tenochtitlan era una de las siete plagas por las innumerables vidas indígenas que costó.

Los conquistadores, soñando con la grandeza, comenzaron a construir sus casas en los solares que Cortés les asignó. Los trabajadores y los materiales se volcaban en la ciudad impidiendo el paso en calles y calzadas. Un ejército de trabajadores transportaba desde muy lejos los materiales necesarios, así como tributos y provisiones. En 1524 Cortés escribía que ya muchos vecinos habían terminado sus casas y esperaba confiado que en cinco años México-Tenochtitlan sería una de las más nobles y pobladas ciudades del mundo y con mejores edificios. Todo esto no se lograba sin la tala de bosques.

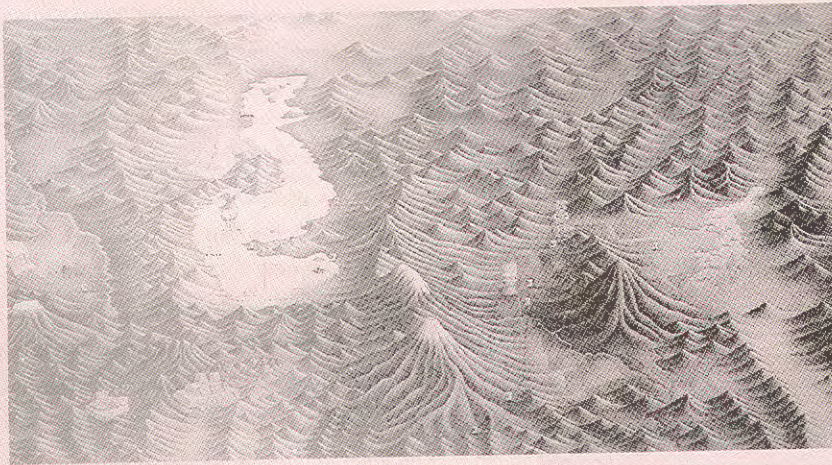
La velocidad con que se levantaban los edificios hizo creer a Cortés que había construido una de las más grandes ciudades del mundo, pero la isla, hermoso símbolo del imperio, resultó ser poco adecuada para la ciudad. El virrey Luis de Velasco informó a Felipe II que no se podría haber elegido un sitio peor y que era un error no construir la ciudad a una o dos leguas de distancia



sobre terreno duro y seguro. La ciudad, al modificar la naturaleza sin cambiar de situación, se hizo extremadamente vulnerable. En 1584 el padre Ponce advertía que el relleno de los antiguos canales no era cimiento adecuado para la arquitectura monumental. Grandes conventos (como Santo Domingo y San Agustín), levantados en una ciudad asentada sobre un pantano recubierto con cascajo, se hundían inexorablemente y Thomas Gage vio cómo se colocaban por tercera vez nuevos pilotes bajo el convento de San Agustín.

Enrico Martínez, primer encargado del desagüe de la ciudad, tenía interés profesional en el incremento de la agricultura y pronosticaba serias consecuencias por la proliferación de ranchos y haciendas en los alrededores de la ciudad. Insistía en que las inundaciones de la ciudad se debían sobre todo al desmonte sistemático para sembrar, que aceleraba la erosión.

Enrico Martínez, primer encargado del desagüe de la ciudad, tenía interés profesional en el incremento de la agricultura y pronosticaba serias consecuencias por la proliferación de ranchos y haciendas en los alrededores de la ciudad. Insistía en que las inundaciones de la ciudad se debían sobre todo al desmonte sistemático para sembrar que aceleraba la erosión.



En las postrimerías del siglo XVII, mil cabezas de ganado mayor y seis millones de ganado menor precipitaron el desgaste de la capa de migajón de las laderas. Fray Alonso Ponce describe la lamentable costumbre de quemar los pastos en el invierno, que destruye para siempre el monte y el matorral. Las quemas, el excesivo pastoreo, las largas seguías seguidas de abundantes lluvias dejaron sus huellas en la erosión de la meseta central.

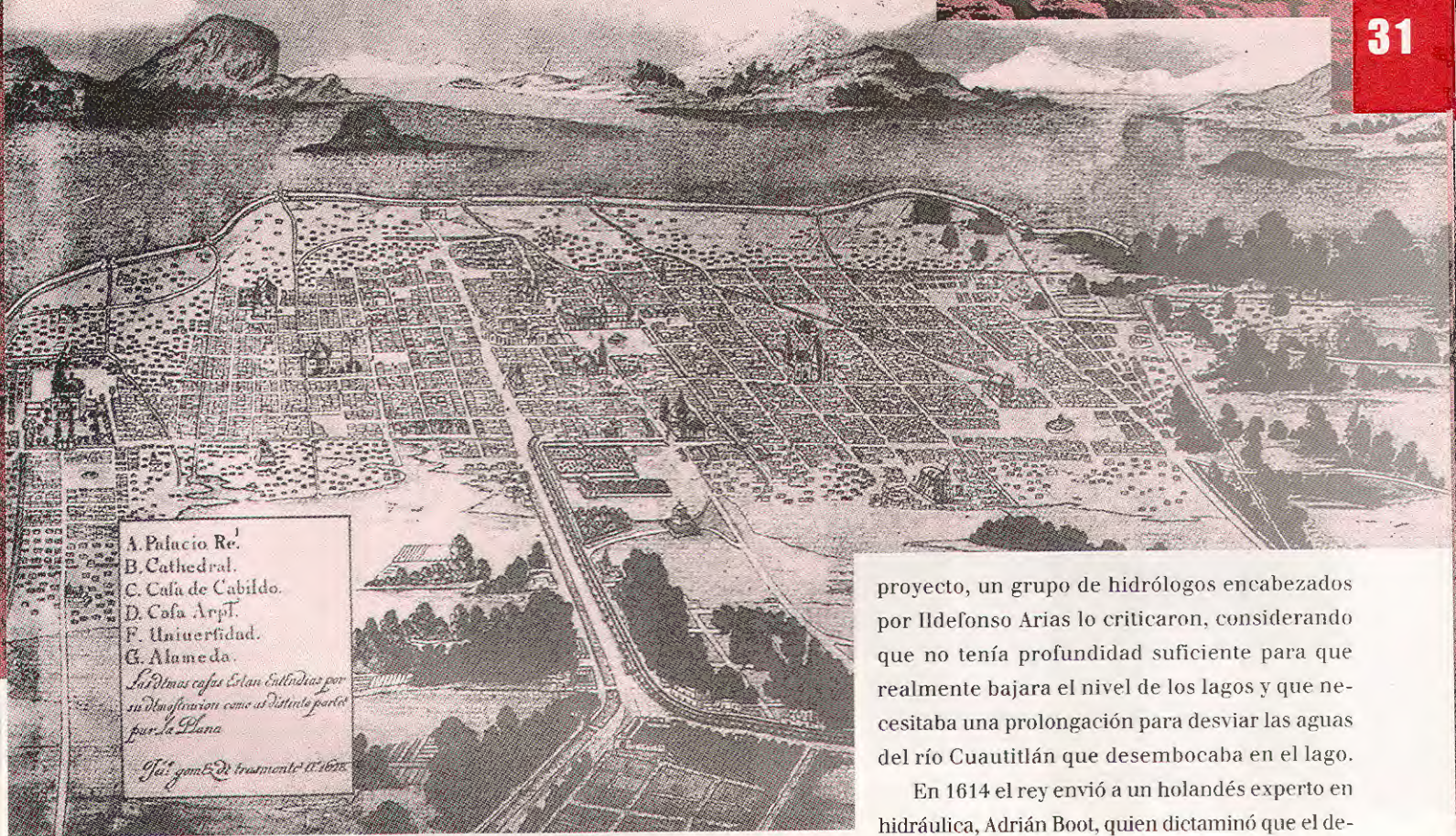
Enrico Martínez concluyó que el aluvión de las montañas arrastrado por las lluvias asolvó los lagos que rodeaban la ciudad de México reduciendo su capacidad con las consecuencias que entonces se padecían. Reunido el cabildo el

28 de febrero de 1527, acordó derribar los árboles de la fuente de Chapultepec que tapaban el sol y dejaban caer sus hojas en el agua. Durante la peor inundación que padeció la ciudad de México se derribaron árboles gigantescos para construir canoas tan grandes que se transportaban en carros tirados por siete yuntas de bueyes. La madera necesaria para la construcción y el aumento de la agricultura y la ganadería alejaron los bosques de las orillas del lago día con día. El migajón de tierra que antes cubría la roca viva se fue depositando en el área pantanosa de las chinampas, convirtiéndola en tierra seca apropiada para la agricultura española, y ya en 1606 se cultivaba donde poco antes era lago.

Humboldt vio que la erosión causada por el desmonte trastornaría todo el sistema hidráulico de la cuenca. La precipitación en las laderas desnudas corría rápidamente en lugar de filtrarse poco a poco entre la vegetación. Se secaron los manantiales y, ya iniciado el deterioro, la tierra se volvió más y más árida.

Hubo cinco grandes inundaciones en 75 años. Las calles que sustituyeron a los canales no podrían absorber el agua excedente. Los españoles, ignorando la causa de las frecuentes inundaciones, recurrieron al desagüe. Enrico Martínez señaló el círculo vicioso que afectaba a la urbe: asolve, inundación, relleno, que se repetía cada vez con más frecuencia, al punto de que una lluvia normal inundaba las calles. Ante la imposibilidad de dragar, no había más perspectiva que rellenar para elevar el nivel del suelo después de cada inundación.

Desde 1550 la ciudad se vio amenazada por estas calamidades. Quizá porque quienes más sufrían eran los pobres, no se tomaron medidas drásticas desde el principio. A partir de 1555 se comenzó a hablar de desagüe y sobre él se seguía discutiendo en 1580, pero la inundación de 1604 y la más grave de 1607 obligaron al virrey a proceder de inmediato. En 1605 se repararon calzadas y diques bajo la dirección de los franciscanos Torquemada y Zárate. En 1606 el virrey Montes Claros ordenó la reconstrucción del dique que separaba el lago de Texcoco del de Xochimilco.



Decisión desacertada que hizo subir el nivel del último, sumergiendo las chinampas y arruinando casas y siembras.

Las obras de protección realizadas en 1604 no impidieron la inundación de 1607 y don Luis de Velasco, hijo, nombrado por segunda vez virrey, tuvo que enfrentarse a la situación. Tras estudiar cuidadosamente los antecedentes, inició el tan discutido drenaje y el 28 de noviembre de 1607 se comenzó a excavar el canal de Huehuetoca. Se proyectaba drenar el lago de Zumpango, el más septentrional de la cuenca e, interceptando el río Cuautitlán, canalizar sus aguas al río Tula y, eventualmente, al Golfo de México. Se pensaba que reduciendo la alimentación del gran lago que rodeaba a la ciudad de México se reduciría indirectamente el nivel en la ciudad misma. El proyecto de desagüe se debió principalmente al matemático jesuita Juan Sánchez y a Enrico Martínez, quien dirigió las obras terminando la primera etapa en diez meses, empleando a más de 60 mil trabajadores indígenas para excavar el túnel y el canal de 12 kilómetros de largo.

Muy satisfecho con el progreso de la obra, el virrey de Velasco invitó a fray García Guerra, el nuevo arzobispo, a inspeccionar el canal de Huehuetoca en agosto de 1608. Ya terminado el

Las obras de protección realizadas en 1604 no impidieron la inundación de 1607 y don Luis de Velasco, hijo, nombrado por segunda vez virrey, tuvo que enfrentarse a la situación. Tras estudiar cuidadosamente los antecedentes, inició el tan discutido drenaje y el 28 de noviembre de 1607 se comenzó a excavar el canal de Huehuetoca.

proyecto, un grupo de hidrólogos encabezados por Ildelfonso Arias lo criticaron, considerando que no tenía profundidad suficiente para que realmente bajara el nivel de los lagos y que necesitaba una prolongación para desviar las aguas del río Cuautitlán que desembocaba en el lago.

En 1614 el rey envió a un holandés experto en hidráulica, Adrián Boot, quien dictaminó que el desagüe era prácticamente inútil y se ofreció a construir un sistema de diques. Enrico Martínez aseguró que el desagüe podría arreglarse con un costo adicional de 110 mil pesos y el cabildo prefirió su proyecto. Los trabajos se reanudaron en 1607, pero Enrico Martínez, desalentado, escribió en 1618 que sus enemigos fingían preocuparse por los trabajadores indígenas para desacreditar el proyecto, pero que en los últimos seis años nadie absolutamente inspeccionó las obras para comprobar la verdad de los rumores sobre su viabilidad. Se demostró que las obras servían cuando el virrey de Gálvez, impaciente y escéptico, habiendo mandado suspenderlas en 1623, vio cómo las aguas del río Cuautitlán, libres de obstáculos, elevaron el nivel del lago e inundaron la ciudad. El marqués de Cerralvo, sucesor de Gálvez, abandonó el desagüe, pero mandó elevar en una vara el nivel de varias calzadas, reparar los diques de Zumpango y San Lázaro y desviar los ríos de Sanctórum y Los Morales para desecar los ejidos de La Piedad y San Antonio y desembocar finalmente en el lago de San Lázaro.

Con las torrenciales lluvias de 1627, el río Cuautitlán reventó los diques y se desbordó en el sistema lacustre Zumpango-San Cristóbal y Texcoco-México. Las aguas cubrieron las partes ba-



jas de la ciudad, derrumbando chozas humildes y ocasionando escasez de alimentos y epidemias.

Al finalizar 1627, Enrico Martínez anunció que desde 1625 el desagüe no funcionaba y que el nivel de las aguas subía alarmantemente. En 1628 el virrey de Cerralvo ordenó reparaciones, pero el nivel de las aguas no bajaba y las lluvias sin precedente de 1629 causaron la peor inundación en la historia de la ciudad. Enrico Martínez, temiendo que las aguas enfurecidas del río Cuautitlán destruyeran el canal del desagüe, tomó la funesta decisión de cegar la entrada. El río corrió hacia el sistema lacustre. En julio el agua rebasó bordos y represas, inundando las partes bajas de la ciudad. Sólo las calzadas principales eran transitables. El 5 de septiembre se circulaba en canoa en Tlatelolco y La Piedad. Los religiosos abandonaban sus conventos tanto por la inundación como por la ausencia de fieles. La noche del 20 de septiembre se desató una tormenta que no amainó en 36 horas. El 22 de septiembre la ciudad amaneció bajo una o dos varas de agua, y los muertos y heridos se contaban por millares. No quedó más lugar seco en la ciudad que el área pequeña alrededor de la plaza y de la catedral, a la cual se dio en llamar isla de los perros, por los muchos que ahí se refugiaron. Fray Alonso Franco dice que la ciudad se cubrió de “un mar de agua” que obligó a los vecinos españoles a refugiarse en los pisos altos y que las casuchas humildes, incapaces de resistir, se derrumbaron y se deshicieron en el agua.

Todas las instituciones de la ciudad acudieron en ayuda de los damnificados. El cabildo designó

La noche del 20 de septiembre se desató una tormenta que no amainó en 36 horas. El 22 de septiembre la ciudad amaneció bajo una o dos varas de agua, y los muertos y heridos se contaban por millares. No quedó más lugar seco en la ciudad que el área pequeña alrededor de la plaza y de la catedral.

a cinco de sus miembros y a siete monasterios para repartir provisiones en los doce barrios de la ciudad. Don Francisco Manso y Zúñiga, nombrado arzobispo en abril, recorrió en canoa la ciudad, repartió provisiones, improvisó seis hospitales para atender a los enfermos y alojó en su casa durante seis meses a un buen número de gente sin hogar. Con un gran sentido práctico permitió que los servicios religiosos se realizaran donde fuera factible. Los franciscanos oficiaban misas en las terrazas y azoteas de su convento y los fieles los escuchaban desde techos y balcones; el arzobispo Manso encabezó una procesión de unas doscientas canoas para llevar a la Virgen de Guadalupe de su santuario en el Tepeyac a la catedral de México.

Un mes después de la tormenta, el cabildo informaba al rey que las casas que estaban aún en pie amenazaban con derrumbarse, el comercio estaba paralizado y que la mayor parte de la población había huido, sobre todo “la gente común” y los funcionarios. Todo el tránsito se realizaba en canoas, multitud de embarcaciones y remeros llenaban calles y plazas transportando toda suerte de artículos. En constante ir y venir, las canoas de los conventos llevaban los sacramentos a los que quedaron aislados y repartían alimentos. También en canoas se transportaba a los muertos para enterrarlos en las iglesias. Se calcula que murieron unos 50 mil indígenas. A los que quedaron con vida les esperaba el rigor y la amargura de las obras de reconstrucción 🏠

Aspectos de la gestión del agua en condiciones de sequía en los sistemas de riego

Palabras clave

SEQUÍA | RIEGO | GESTIÓN | DOTACIÓN

Por Israel Velasco*
Jaime Collado*

Cuando el agua disponible para fines de riego no alcanza a satisfacer una demanda "normal", son necesarias medidas adicionales en su administración, orientadas a mitigar el impacto de la sequía y el déficit de agua. En general, los detalles del déficit no se consideran en ninguna ley ni reglamento (Velasco y Collado, 1998); no obstante, la situación es recurrente, compleja y aguda, y cuando la competencia por el uso del agua aumenta, también crecen los conflictos entre usos y entre usuarios.

Establecer la dotación de agua por uso o por usuario es encontrar el punto de equilibrio entre dos posiciones literalmente divergentes: la de los usuarios, interesados en disponer del máximo de agua en el tiempo presente; y la posición de la Comisión Nacional del Agua (CNA), que es responsable de la administración del recurso a mediano y largo plazos, de su permanencia y regularidad para hacer posible la sustentabilidad. Parte de la solución al problema consiste en establecer políticas adecuadas de operación de los embalses, considerando la escasez, y otra parte se complementa con una redistribución apropiada del agua disponible y del déficit.

Definir con claridad *concesión* y *dotación*, y las políticas de operación específicas para condiciones de escasez, e incorporarlas a los reglamen-



tos operativos, ayuda a discernir y decidir con objetividad la asignación del periodo en cuestión, y evitar confusiones y manipulaciones oscuras o deficientes.

DETERMINACIÓN DE LAS POLÍTICAS OPERATIVAS

Para el riego, la CNA tiene la responsabilidad de planear y diseñar las mejores políticas operativas a nivel de cuenca o sistema, con una visión más allá del periodo inmediato; sin embargo, las presiones de los usuarios por obtener más agua eventualmente conducen a una operación deficiente. Entre otras causas, esto se debe a la carencia o relajación en los reglamentos o en la normativa del funcionamiento de los sistemas de riego.

Existen diversos métodos para generar políticas de operación, desde los usuales funcionamientos analíticos de vaso hasta los complejos modelos matemáticos de optimización. Una política óptima es el resultado de una solución inmejorable del modelo matemático con que se resuelve. Al usar un procedimiento determinado para obtener políticas óptimas, aunque los principios son los mismos, las particularidades del sistema real hacen que cada solución sea "la medida".

* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Uno de tantos métodos para obtener políticas óptimas es la programación lineal (PL). El *Sistema para el manejo de presas*, Sismapre (Wagner y Rivera, 1999), basado en la PL, resuelve eficientemente el problema, si la solución existe. El planteamiento general es: función, objetivo: maximizar las extracciones y minimizar los derrames. Esto es:

$$\max \left\{ \sum_{t=1}^n R_t - \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^{12} D_{j,t} \right\}$$

donde:

R_t volumen de extracción del año t
 $D_{j,t}$ derrame de la presa en el mes j del año t con sujeción, entre otras, a las restricciones

- por continuidad
- por estacionaridad
- por capacidad de almacenamiento útil
- por límites de asignación
- por condición hidrológica del periodo

En la práctica, es importante distinguir entre años hidrológicamente secos, medios y húmedos, lo que repercute directamente en la asignación y distribución del agua. La extracción óptima total anual R_t^* puede desglosarse en dos componentes: una proporción μ del almacenamiento disponible S_t al 1 de octubre, y otra parte dependiente del volumen de aportación en el año hidrológico inmediato anterior Q_{t-1}

$$R_t^* = R_{Q_{t-1}}^* + R_{S_t}^* = f(Q_{t-1}, S_t)$$

En la figura 1 se muestra la relación S_t vs. $R_{S_t}^*$, en la que la asignación del volumen se inicia a partir del nivel de aguas mínimo (NAMIN). Desde este punto, a cada valor μ corresponde una línea recta de pendiente igual a μ . Usualmente, $0.2 \leq \mu \leq 0.8$.

La figura 2 muestra una política óptima obtenida en función de Q_{t-1} , dado un valor de μ . Se muestran los tres segmentos que constituyen la política parcial, en la que cada uno tiene pendiente β_i , resultado del mismo proceso de optimización, y un segmento se separa del contiguo

precisamente en V_1 o V_2 . Un año cualquiera t es "seco", según esta política, si $Q_{t-1} < V_j$; es "medio" o "normal" si $V_j \leq Q_{t-1} \leq V_2$; y es "húmedo" si $Q_{t-1} > V_2$.

Cuantificando la sequía hidrológica por sus fases, en relación con los almacenamientos útiles al inicio del ciclo agrícola, se tiene que si la reducción de la oferta es de 5 a 10% con respecto a la demanda media o normal, la fase es incipiente; de 10 a 20%, moderada; de 20 a 35%, severa; de 35 a 50%, crítica (Wilhite, 1992), y mayor de 50%, catastrófica. Ante estas perspectivas, las alternativas de actuación son diferentes para cada

FIGURA 1 EXTRACCIÓN ÓPTIMA ANUAL R_{ST}^* EN FUNCIÓN DEL ALMACENAMIENTO INICIAL S_t

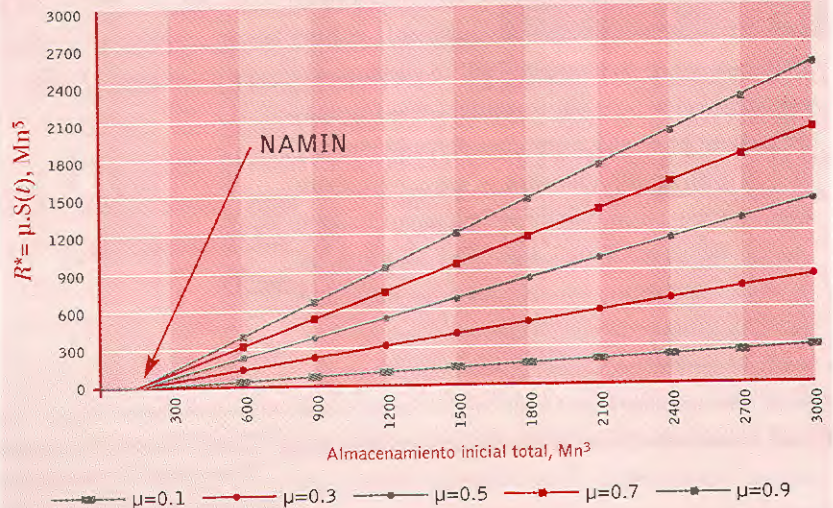
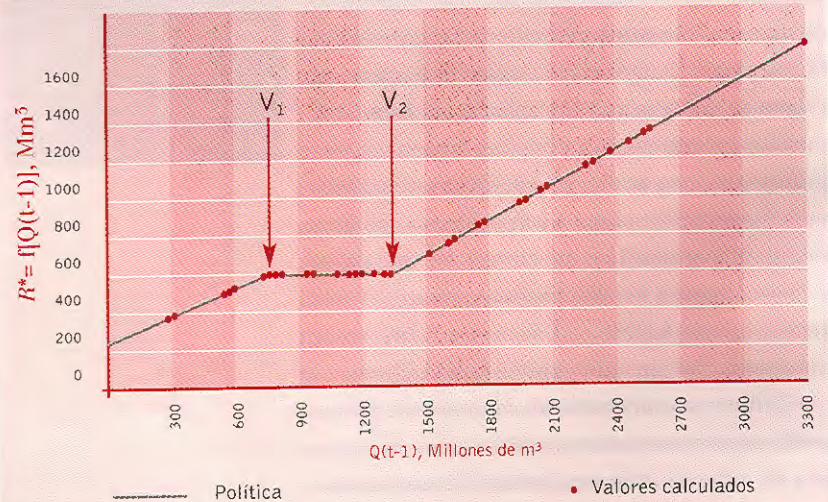
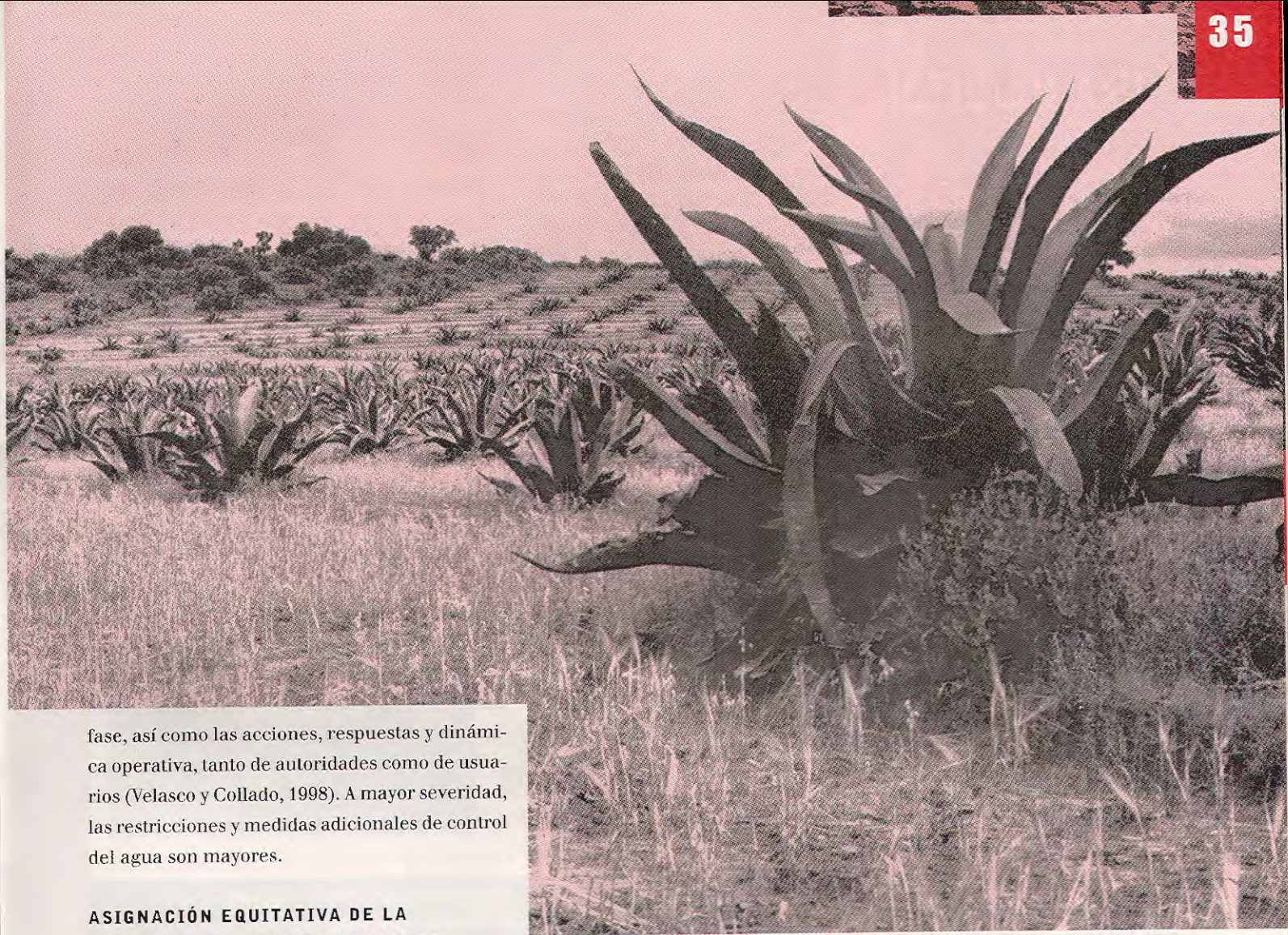


FIGURA 2 EXTRACCIÓN ÓPTIMA ANUAL R_{Qt}^* , PARA μ DETERMINADO





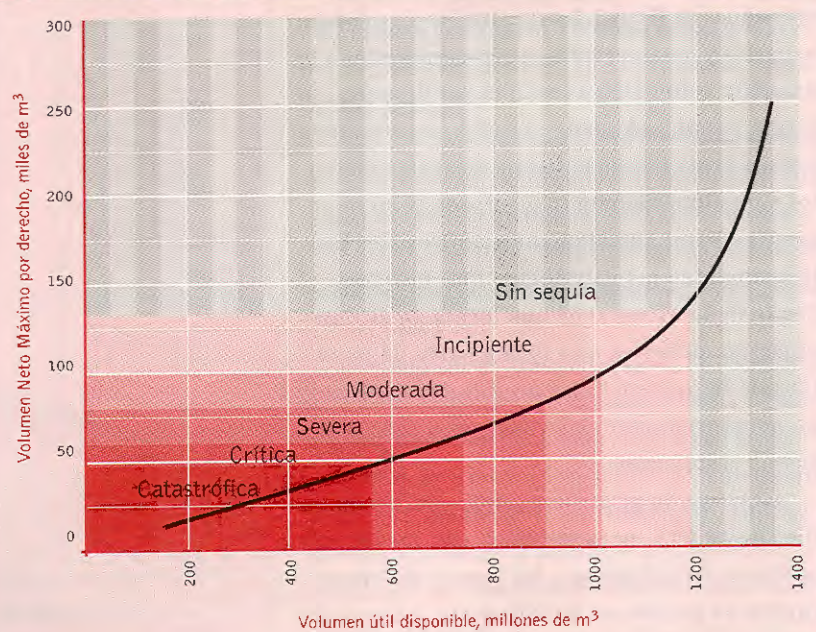
fase, así como las acciones, respuestas y dinámica operativa, tanto de autoridades como de usuarios (Velasco y Collado, 1998). A mayor severidad, las restricciones y medidas adicionales de control del agua son mayores.

ASIGNACIÓN EQUITATIVA DE LA DOTACIÓN DEL AGUA POR USUARIO

Al momento de asignar el agua disponible, surge el problema de cómo distribuirla entre los usuarios agrícolas y, además, de forma equitativa. En principio, se debe priorizar el uso sectorial, ya que pueden existir otros menores pero no menos importantes; por ejemplo, si el uso doméstico también se suministra del embalse, aun siendo pequeño, siempre tiene la máxima prioridad. Entonces deben considerarse factores como vulnerabilidad, elasticidad, impacto económico y social, facilidad de recuperación, etcétera.

Para el riego, la forma reglamentaria vigente es la aplicación de la "curva de usuarios" (SRH, 1975). El Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales (RLAN, 1994; Art. 100) establece que tanto la concesión como la dotación de agua deben ser por volumen. De ello, la curva original de usuarios, expresada en superficies, se transforma al volumen máximo a dotar por derecho de riego por año, en función del volumen útil disponible.

FIGURA 3 CURVA DE USUARIOS VOLUMÉTRICA Y FASES DE LA SEQUÍA SEGÚN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA





Con fundamento en dicha ley, los usuarios pueden hacer transferencias de agua de una parte a otra del distrito, mediante renta, cesión, venta, préstamo, etc.; en su forma más elaborada, esto conduce a los "bancos de agua", en donde los mecanismos de oferta y demanda contribuyen a dar al recurso valores más reales de mercado.

De acuerdo con los rangos de déficit mencionados, la figura 3 muestra una curva de usuarios y los intervalos correspondientes a la dotación volumétrica máxima por derecho, en forma anual, calculada con una determinada lámina bruta (LB, en la fuente de abastecimiento) y una lámina neta (LN, entregada en toma-granja). Estos son elementos adicionales para instrumentar las estrategias que mitiguen el efecto de la escasez; es una forma de afrontar el riesgo, debido a que forma parte de la cultura de la prevención. Con esto los conflictos no necesariamente se evitan, pero sí se coadyuva a resolverlos.

La curva de usuarios es única para valores fijos de LB y LN, pero también, con las nuevas opciones tecnológicas y las formas de organización, es posible su modificación, a través de

REFERENCIAS

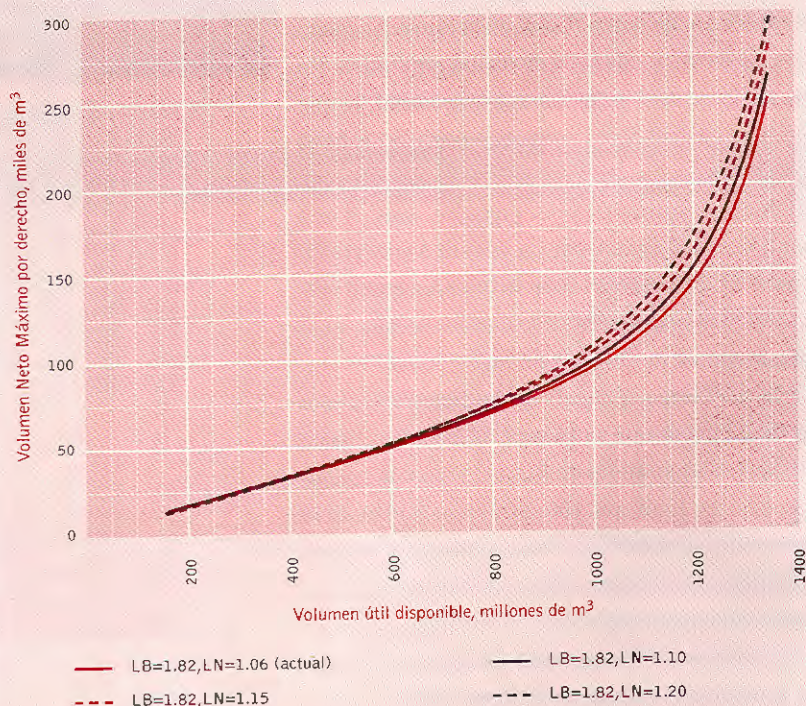
- RLAN (1994). "Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales". Poder Legislativo, Cámara de Diputados. Publicado en el DOF el 12 de enero de 1994.
- SRH. (1973). "Normas para la aplicación del Artículo 60 de la Ley Federal de Aguas", instructivo técnico núm. 30. Dirección General de Distritos de Riego. México.
- Velasco, Israel y Jaime Collado (1998). "Causas, efectos y maneras de afrontar las sequías" en *Tláloc-AMH*, año V, núm. 12, mayo-agosto de 1998, pp. 17-22.
- Wagner, A. y J. Rivera (1996). "Sismapre: sistema para determinar políticas de operación óptimas de una presa", en *XIV Congreso Nacional de Hidráulica*, tomo I, artículo núm. 76. Acapulco, Guerrero, México, octubre de 1996.
- Wilhite, D.A. (1992). "Drought Management Planning". *American Water Works Association*. 41 pp.

aumentar la eficiencia, ya sea disminuyendo LB o aumentando LN. La figura 4 muestra algunas posibilidades teóricas, en las que cada curva representa valores fijos de LB y LN; esto brindaría la opción de sembrar mayor superficie o aplicar láminas más altas. Aumentar la eficiencia aun en sólo unos pocos puntos no es fácil, pero se avizora como una posibilidad real, por la tecnología disponible y por el valor que adquiere el agua. No es la única forma de mejorar la operación, pero sí es una de las más viables.

CONCLUSIONES

Definir políticas de operación adecuadas a las condiciones reales de oferta y demanda da solidez y veracidad a las decisiones que se toman sobre la redistribución del agua en épocas de escasez, así como la aplicación del principio de equidad en la redistribución y reasignación del agua a usos y usuarios. Con ello se coadyuva a la solución de los conflictos y competencias que surgen por el uso del recurso.

FIGURA 4 CURVAS DE USUARIO PARA DIFERENTES LÁMINAS NETAS LN, CON LA MISMA LÁMINA BRUTA LB



Homenaje póstumo a Manuel Anaya y Sorribas



Coordinado por el Colegio de Ingenieros Civiles de México y con la participación de la Comisión Nacional del Agua, la Asociación Mexicana de Hidráulica y la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria, el pasado 30 de agosto se llevó a cabo un homenaje póstumo en memoria del ingeniero Manuel Anaya y Sorribas, quien nació en Tepeji del Río, Hidalgo, el 26 de febrero de 1911.

Estudiante tenaz, realizó sus estudios de ingeniería civil en el Palacio de Minería, obteniendo calificaciones sobresalientes. En 1950 inició su primer trabajo con el estudio y diseño de un sistema de drenaje ubicado en un terreno muy accidentado de la vieja carretera México-Acapulco.

Entre los múltiples cargos que ocupó, destacan sus labores en la Comisión Nacional de Irrigación (CNI), donde realizó una larga carrera como ingeniero hidráulico.

Durante el gobierno de Miguel Alemán desempeñó el cargo de director general de Agua Potable y Alcantarillado. En el sexenio del presidente López Mateos fue llamado al Consultivo Técnico de la SRH. En 1964 ocupó el puesto de director de Planeación. También fungió como secretario técnico en los gobiernos de Luis Echeverría Álvarez y de José López Portillo.

Descanse en paz
**Manuel Anaya
y Sorribas**

El último puesto que ocupó fue como asesor del Consejo Consultivo Técnico, cargo que recibió del director general de la Comisión Nacional del Agua.

Este brillante ingeniero civil mexicano recibió en 1988 el Premio Raúl Sandoval Landázuri, que otorga el Colegio de Ingenieros Civiles de México en el año de 1988, y en 1991 fue galardonado con el Premio Nacional de Ingeniería otorgado por el CICM y la FECIC.

El Sindicato de Trabajadores de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca le rindió su último homenaje en vida el 6 de agosto de 1999. Tres meses después murió, y ahora sus cenizas se encuentran en Huichapan, Hidalgo. Su retrato pende en la galería de hombres ilustres, misma que se encuentra en la presidencia municipal de ese lugar 🌹

Movimiento ciudadano por el agua



Por compartir la preocupación sobre el manejo racional y sustentable de los recursos hidráulicos en México, la Asociación Mexicana de Hidráulica se une al esfuerzo de la Comisión Nacional del Agua para impulsar el Movimiento Ciudadano por el Agua, con el que se pretende crear una verdadera cultura del agua e implementar acciones estratégicas para el sector hidráulico, que garanticen la futura disponibilidad del vital líquido.

En últimas fechas, la AMH, en coordinación con la Comisión Nacional del Agua, ha llevado a cabo reuniones con el fin de promover el programa en los diferentes sectores de la sociedad; en los que la AMH participa como agente de divulgación y receptor sobre la situación actual y futura del sector hidráulico:

- En la península de Baja California, con reuniones en Mexicali, Tijuana y Ensenada, eventos llevados a cabo del 4 al 8 de septiembre del 2000.
- En el Pacífico Norte, con reuniones en Mazatlán, Culiacán y Los Mochis, en el periodo del 11 al 14 de septiembre del 2000.
- En el Valle de México, en el Distrito Federal, Estado de México y Pachuca, con tres reuniones realizadas del 26 de septiembre al 3 de octubre de 2000.

El objetivo de esta colaboración es el de planificar acciones, generar instrumentos y proporcionar elementos a diversas organizaciones lo-

cales de las regiones seleccionadas para contribuir al logro de las siguientes metas:

- Informar a la sociedad sobre la situación actual y las perspectivas de disponibilidad y aprovechamiento del agua.
- Crear conciencia entre los diferentes usuarios sobre el valor económico del agua y el costo real de suministrarla.
- Promover la participación de la sociedad en el programa.
- Buscar soluciones a la problemática del sector.
- Propiciar el desarrollo de esquemas educativos, investigación y capacitación técnica.
- Promover que las decisiones que se tomen en el sector estén encaminadas a lograr el bienestar de la sociedad en su conjunto.

Estas reuniones estuvieron abiertas a todos los ciudadanos interesados en participar y que comparten la preocupación por la preservación de este preciado líquido, indispensable para el desarrollo actual y futuro de todas las formas de vida en el planeta 🌍

h2oinfo

Bienvenida a nuevos socios

*La Asociación Mexicana de Hidráulica da
la más cordial bienvenida a sus nuevos socios*

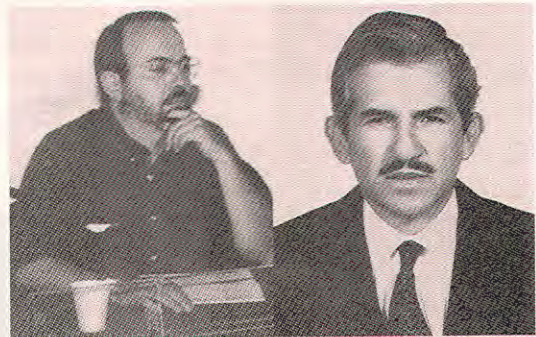
Arturo Xavier Núñez
Cuahtémoc Tonatiu Méndez López
Adriana Cafaggiu Félix
José Luis Gil Arroyo
Sergio G. Gutiérrez Zúñiga
Miguel S. Vázquez Anguiano
Rodrigo Gutiérrez Zamudio
Ernesto Figueroa Ambriz
Sergio Mendoza Álvarez
Jesús Ernesto Rodríguez López
Luis Alejandro de la Cruz Bastida
J. Jesús Quintana Valdivia

César Alberto Villalón Cubillo
Gildardo Ortiz Fuentes
José Luis Gil Sánchez
Jorge Rubio Olivares
Carlos Javier Quezada Luna
Dionicio Suárez Barrera
Raúl Curintzita Chiquito
Enrique Godínez Arredondo
Javier Ruiz Arenas
Gildardo Vázquez Tirado
Héctor Guizar Lua

Premios

Como cada dos años, durante la celebración del Congreso Nacional de Hidráulica se llevará a cabo la entrega de los Premios Nacionales *Enzo Levi*, a la *Docencia e Investigación de la Hidráulica*, y *Francisco Torres H.*, a la *Práctica Profesional*.

En respuesta a las convocatorias publicadas, se recibieron trabajos de destacados profesionales, siendo otorgados en esta ocasión a:



Dr. Polioptro

Ing. Antonio

Martínez Austria

Fernández Esparza

Premio

Premio

Enzo Levi

Francisco Torres H.

Una cordial felicitación y reconocimiento a todos los participantes 🍷



CONSTRUCTORA MEXICO TAMIAHUA S.A. DE C.V.

Fundada en 1985

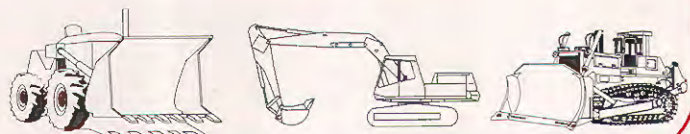
ESPECIALISTAS EN:

- Abastecimientos de agua potable
- Colectores de aguas negras y pluviales
- Excavaciones y movimientos de tierra
- Caminos
- Desarrollos de vivienda de interés social

SUR 3 # 516
94300 ORIZABA, VER.
TEL. (012) 725 46 92 • 726 03 91
e-mail: cometa_@hotmail.com

RENTA DE MAQUINARIA

- Excavadoras
- Tractores
- Motoconformadoras
- Retroexcavadoras
- Cargadores Frontales
- Vibrocompactadores



1. Michel Rosengaus M., *Efectos destructivos de ciclones tropicales*, MAPFRE-ITSEMAP-IMTA-AMH, México, 1998.
2. *Desastres naturales: sequías*, Secretaría de Gobernación, México, 2000.
3. *Atlas nacional de riesgos*, Secretaría de Gobernación, México, 1991.
4. Elías C., F. y B., L. Ruiz, *Estudio agroclimático de la región Castilla-La Mancha*, Departamento de la junta de comunidades Castilla-La Mancha, Toledo, España, 1981.
5. Gerardo García de Pedraza L., y J. García S., *Diez temas sobre el clima*, Ministerio de Agricultura, Madrid, España, 2a. edición, 1978.
6. Richard Everett, *La gran inundación, vida y sociedad en la ciudad de México (1629-1638)*, Sep-setentas, México, 1975.
7. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, Poder Legislativo, Cámara de Diputados, Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero de 1994.

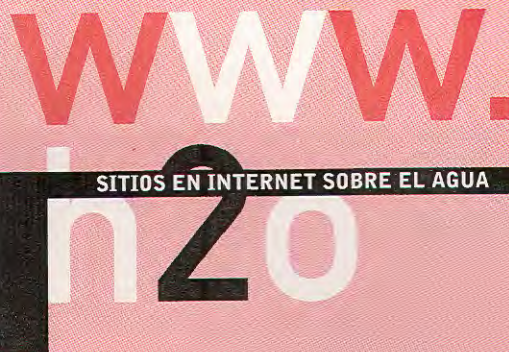
Bolsa de trabajo

PUESTO: Profesor de planta en departamento de Ingeniería Civil, ITESM-Campus Monterrey.

RESPONSABILIDADES: impartición de cursos en las áreas de hidráulica, hidrología, equipamiento del laboratorio de hidráulica y participación en proyectos de investigación.

REQUISITOS: Doctorado o Maestría en las áreas de hidraulica o hidrología. Disponibilidad para residir en Monterrey.

Interesados comunicarse con el Dr. Enrique Cázares Rivera al Departamento de Ingeniería Civil del ITESM, al teléfono 01 (8) 328 42 13 o por correo electrónico: ecazares@campus.mty.itesm.mx



Organización Mexicana de Meteorólogos, A.C.

www.cfe.gob.mx/geic/meteor/ommac/ommac.htm

Fenómenos sobre agua

http://dir.yahoo.com/Science/Earth_Sciences/Meteorology/Weather_Phenomena

World Meteorological Organization

www.wmo.ch

National Center For Atmospheric

www.esig.ucar.edu

Directorio sobre agua

www.webdirectory.com/Water_Resources/

EVENTOS

X Congreso Nacional de Meteorología, 22-24 de noviembre de 2000, Manzanillo, Colima, México.

Objetivo: contribuir en la labor de difusión y promoción de una cultura de protección civil por efectos de fenómenos meteorológicos y climatológicos, así como divulgar los avances en materia de investigación y aplicación de técnicas de análisis y pronóstico de trayectorias e intensidad de ciclones tropicales.

Informes e inscripciones

Met. Leodegario Sansón Reyes de la CFE

lsanson@cfе.gob.mx
meteor@cfе.gob.mx

Dr. Víctor Ramos, Servicio Meteorológico Nacional
vramos@gsmn.cna.gob.mx

Met. Arturo González Hernández,
Facultad de Ciencias Marinas,
Universidad de Colima
metartur@manzanillo.uco1.mx



TEHIMEX

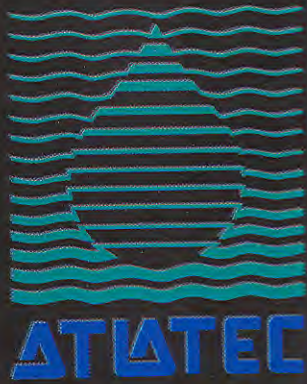
TECNOLOGIA
HIDRAULICA
MEXICANA

SA DE CV



*ES UNA EMPRESA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCION,
INVESTIGACION Y DESARROLLO DE NUEVOS METODOS
CONSTRUCTIVOS EN EL CAMPO DE LA INGENIERIA HIDRAULICA.
DEDICADA A LA APLICACIÓN DE NOVEDOS SISTEMAS EN LOS QUE
LA FINALIDAD PRIMORDIAL ES EL AHORRO EN TIEMPO, COSTO, Y
EFICIENCIA EN LOS DIVERSOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.*

TEL. Y FAX: 5273-7673



<http://www.atlatec.com>

Más de 80 proyectos realizados de Plantas de Tratamiento de Agua

Planta en Torreón de 1 lps

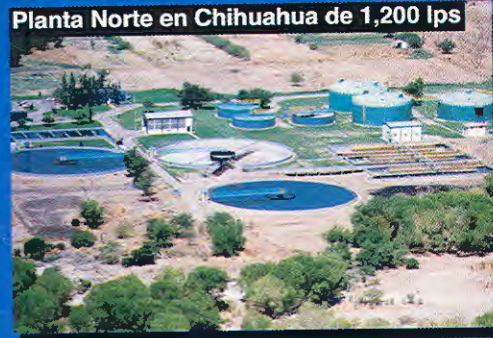


Plantas Paquete



Laboratorio de Servicios Analíticos Certificados

Planta Norte en Chihuahua de 1,200 lps



Operación de Plantas de Tratamiento y Redes de Agua Potable

Planta Norte en Monterrey de 2,500 lps



Diseño y Construcción de Plantas de Tratamiento de Agua

Sistemas de Ósmosis Inversa



Financiamiento de Proyectos

Laboratorio de Servicios Analíticos

Privada Libertad No. 6 Col. San Jerónimo,
Monterrey, N.L., México
Tels. 01 (8) 333 6551, 333 4507 y 333 4877
Fax: 01 (8) 333 6035
E-mail: rcastell@cydsa.com



Atlatec – Plantas de Tratamiento

Av. Ruiz Cortines 2333 Pte. Col. Pedro Lozano
Monterrey, N.L., México
Tels. 01 (8) 158 2323 y 158 2332
Fax: 01 (8) 331 3758
E-mail: andiaz@cydsa.com