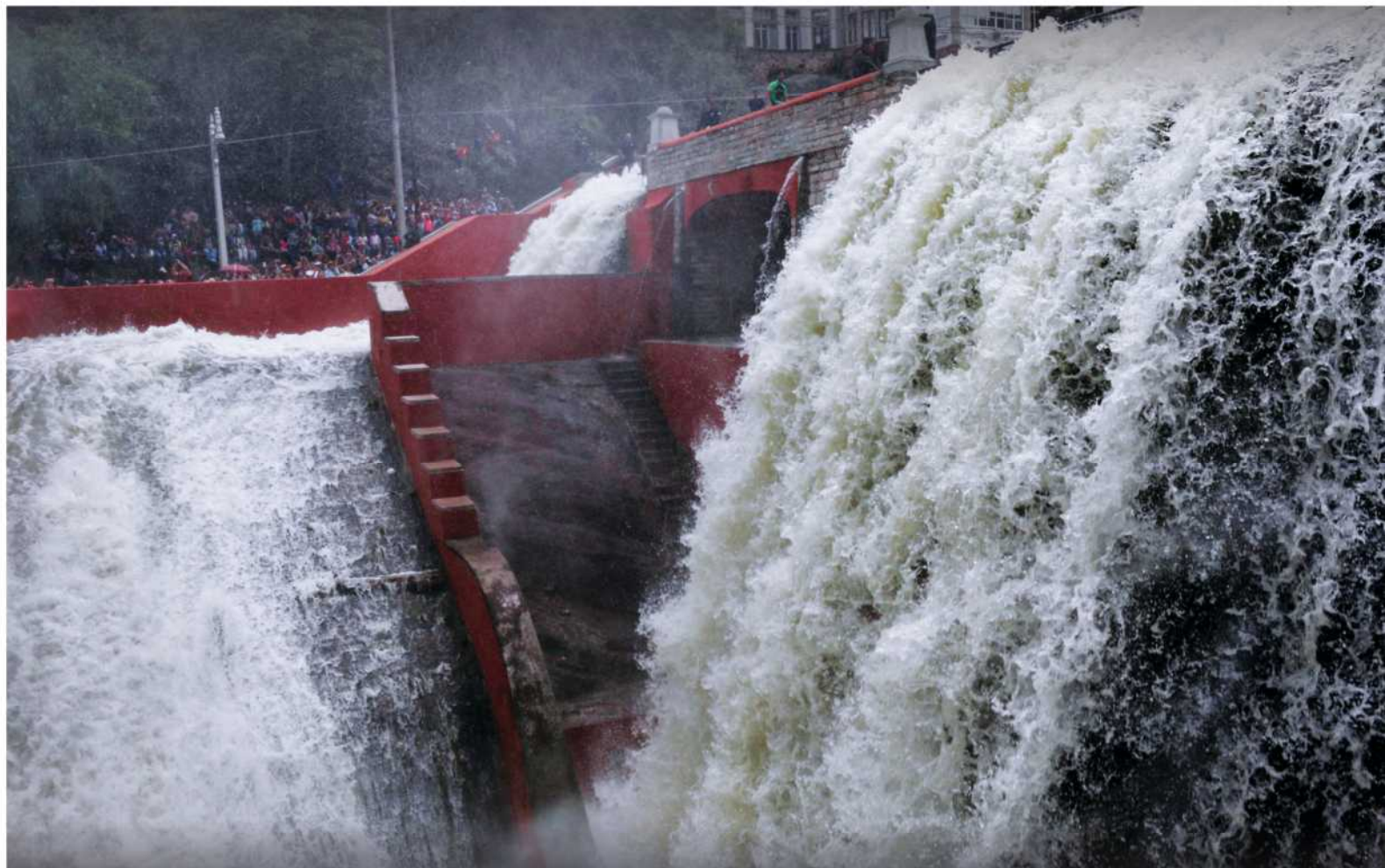


► Modelación hidrológica-hidráulica de inundaciones en zonas urbanas comparando la configuración del terreno



- Conveniencia de pequeños vasos de control de avenidas en zonas urbanas
- Problemas estructurales de los organismos operadores ante el Covid-19
- La ecuación original de Bernoulli y su interpretación moderna



Somos una empresa dedicada a proveer soluciones integrales a necesidades económicas, sociales y gubernamentales para desarrollar, a través de asociaciones público-privadas, proyectos de inversión productiva, infraestructura, investigación aplicada e innovación tecnológica.

Brindamos asesoría y consultoría integral.

Nuestro servicio tiene como fundamento la actualización constante, enfocados en la satisfacción total de nuestros clientes.



Áreas en las que participamos:

- Proyectos de infraestructura
- Contratación pública
- Servicios financieros
- Servicios financieros en materia de agua (obras hidráulicas, plantas desaladoras, etc.)
- Contratación pública (elaboración de bases de licitación)

Más información en:
<http://www.soladev.com/>

Fresas 118 Penthouse "B"
Col. Tiacoquemecatl del Valle, C.P. 03200,
Alcaldía de Benito Juárez, Ciudad de México
Tels.: (55) 5171 0240 / (55) 5335 0439



XXXIV Consejo Directivo Nacional

Presidente

Arturo Jesús Palma Carro

Vicepresidente

Daniel Martínez Bazúa

Primer secretario

Benjamín Quiles León

Segundo secretario

José María Campos López

Tesorero

Vicente Salgado Parra

Vocales

Salvador Gaytán Rangel

Rigoberto Laborín Valdez

amh.org.mx

Editorial

Retos de los servicios de agua y saneamiento

Además del actual desafío que representa para los organismos operadores de agua y saneamiento el enfrentar la pandemia del Covid-19, este sector hace frente a grandes retos, como la alta rotación de los funcionarios, los bajos ingresos de los organismos, la falta de continuidad del servicio, la atención del saneamiento, bajas eficiencias, falta de regulación, necesidad de mantenimiento y reposición de la infraestructura, y la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento.

Por describir algunos de estos retos, la alta rotación de los funcionarios no permite que la experiencia contribuya con el sector y lo enriquezca; por ello es fundamental impulsar la permanencia de quienes conocen las necesidades y los sistemas con precisión.

Los bajos ingresos, además de ser originados por una recaudación limitada, son producto de tarifas diferenciales que no reflejan los costos operativos y de mantenimiento de la prestación del servicio.

La infraestructura actual, en muchos casos, ya ha cumplido su vida útil y requiere ser sustituida o un mantenimiento mayor, y por otro lado las ciudades y sus demandas crecen, por lo que debemos considerar la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento.

Todos los desafíos requieren inversión y un presupuesto que responda, por lo menos, a las necesidades básicas, representadas por la operatividad y el mantenimiento de la infraestructura.

En los últimos años, el presupuesto federal que se ha autorizado para la Comisión Nacional del Agua, en millones de pesos, pasó de 40,977 en 2016 a 26,099 en 2017, a 26,895 en 2018, a 23,727 en 2019 y a 22,785 en 2020.

De acuerdo con organismos internacionales del sector, la inversión recomendada para los servicios de agua y saneamiento debe equivaler, al menos, al 0.3% del PIB de cada país, y en el caso de México para 2020 el 0.3% se estima en 78,700 millones de pesos.

Debido a que la mayor parte de la recaudación de los organismos operadores proviene del sector industrial y del comercial, la reducción drástica de la actividad económica motivada por la pandemia se suma a las dificultades mencionadas, con lo que disminuye aun más la recaudación de los organismos operadores, la cual no es suficiente para cubrir la operación y el mantenimiento de los sistemas.

Resultan urgentes apoyos flexibles a través de programas de gobierno y apoyos en el cobro de la tarifa eléctrica; a mediano y largo plazo, la revisión de la Ley General de Aguas, que si bien debe reglamentar el artículo 4º constitucional, también debe establecer la obligación de los usuarios del pago del servicio; la reestructuración del sector agua potable y saneamiento; la innovación en infraestructura, equipamiento, medición y cobranza; un sistema financiero del sector agua; apoyos crediticios basados en desempeño; un banco de proyectos con recursos revolventes; la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, y sobre todo la asignación de un presupuesto e inversión acordes con las necesidades del sector.

Arturo Jesús Palma Carro

Presidente del XXXIV Consejo Directivo Nacional de la AMH

Tláloc AMH, nueva época, año 2, núm. 72 agosto 2020, es una publicación trimestral editada por la Asociación Mexicana de Hidráulica, A. C. Camino a Santa Teresa 187, colonia Parques del Pedregal, alcaldía Tlalpan, C.P. 14010, México, D.F. Teléfono 55 5171 4111. Editor responsable: Nahún Hamed García Villanueva. Reserva de derechos al uso exclusivo número 04-2018-051013431600-102. ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Certificado de licitud de título y contenido número 17226, otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Impresa por Helios Comunicación, S.A. de C.V. Insurgentes Sur 4411, edificio 7, departamento 3, colonia Tlalcoligía, alcaldía Tlalpan, C.P. 14430, México, D.F.

Los artículos firmados son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la AMH. Ninguna parte de esta revista puede ser reproducida en medio alguno, ni traducida a otros idiomas sin autorización escrita del editor responsable.

Para todo asunto relacionado con la revista *Tláloc AMH*, dirigirse a tlaloc@heliosmx.org

Costo de recuperación, \$60. Números atrasados, \$65. Suscripción anual, \$625. Los socios de la AMH la reciben en forma gratuita.

Sus comentarios con respecto al contenido de *Tláloc* son importantes para nosotros.

Puede hacerlos llegar al correo electrónico tlaloc@heliosmx.org

Tlálloc




***Tlálloc*, la revista oficial de
la Asociación Mexicana de Hidráulica,
abre sus páginas a la colaboración
de los especialistas que deseen compartir
artículos y noticias relacionados con el sector.**



Envía tu material a
info.amh@amh.org.mx • tlaloc@heliosmx.org

Índice

4	Artículos técnicos
	Modelación hidrológica-hidráulica de inundaciones en zonas urbanas comparando la configuración del terreno Óscar Jesús Llaguno Guilberto y cols.
11	Conveniencia de pequeños vasos de control de avenidas en zonas urbanas Rodrigo Murillo Fernández y Víctor Daniel Orduño Higuera
26	La ecuación original de Bernoulli y su interpretación moderna Amalia Adriana Cafaggi Félix
33	Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica por municipio en organismos de cuenca de México David Ortega-Gaucin y cols.
19	Artículos de divulgación
	Las presas en México Blanca Jiménez Cisneros
20	Problemas estructurales de los organismos operadores ante el Covid-19 Fernando C. Reyna Guzmán
46	Entrevistas
	Mejores pronósticos con base en datos firmes Víctor Alcocer Yamanaka
	
52	I+D
	Tránsito de avenidas en el vaso de almacenamiento de un modelo físico con HEC-HMS Alexis López Montes y cols.
56	Gotas de interés
	Pascal y las paradojas hidráulicas Aldo Iván Ramírez Orozco
59	Calendario
60	Publicaciones
61	Noticias
64	Arte y cultura

Portada: paginacentral.com.mx

Consejo Editorial

Presidente

Arturo Jesús Palma Carro

Director

Javier Aparicio Mijares

Consejeros

Álvaro Aldama Rodríguez

Daniel Fco. Campos Aranda

Jesús Campos López

Humberto Marengo Mogollón

Alejandra Martín Domínguez

Poliopro Martínez Austria

Eduardo Mestre Rodríguez

Marco Alfredo Murillo

Patricia Ramírez Pineda

Juan Carlos Valencia Vargas

Dirección ejecutiva

Daniel N. Moser da Silva

Dirección editorial

Alicia Martínez Bravo

Coordinación editorial

José Manuel Salvador García

Coordinación de contenidos

Teresa Martínez Bravo

Contenidos

Ángeles González Guerra

Diseño

Diego Meza Segura

Dirección comercial

Daniel N. Moser da Silva

Comercialización

Laura Torres Cobos

Victoria García Frade Martínez

Dirección operativa

Alicia Martínez Bravo

Administración y distribución

Nancy Díaz Rivera

Realización

HELIOS COMUNICACIÓN

+52 (55) 2976 1222

Modelación hidrológica-hidráulica de inundaciones en zonas urbanas comparando la configuración del terreno

De los desastres naturales, los hidrometeorológicos son los que generan más daños, costos y pérdidas en todo el mundo. De acuerdo con información del Centro Nacional de Prevención de Desastres, entre 2000 y 2018 los desastres naturales tuvieron un costo promedio de 2,357 millones de dólares por año, y el 86.8% de los daños y pérdidas fueron de origen hidrometeorológico.

ÓSCAR JESÚS LLAGUNO GUILBERTO

Maestro en Ingeniería hidráulica. Tecnólogo del agua en la Subcoordinación de Hidráulica Urbana, IMTA.

VÍCTOR HUGO ALCOCER YAMANAKA

Doctor en Ingeniería hidráulica. Subdirector general de Infraestructura Hidroagrícola, Conagua.

JÉSSICA NAVA PÉREZ

Ingeniera hidráulica. Universidad de Guanajuato, México.

ANA LAURA MORALES MUSITO

Maestra en Administración de empresas. Tecnóloga del agua en la Subcoordinación de Hidráulica Urbana, IMTA.

JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ VARELA

Candidato a doctor en Ingeniería hidráulica. Subcoordinador de Hidráulica Urbana, IMTA.

La modificación de los usos de suelo y el cambio climático son factores que han contribuido al aumento de la intensidad de las tormentas en el territorio nacional, que es una de las causas de las inundaciones pluviales.

Los modelos hidrológicos-hidráulicos se utilizan como herramienta para simular eventos de lluvia-escorrentamiento de acuerdo con una probabilidad de ocurrencia conocida como periodo de retorno, con el que se calculan las posibles afectaciones generadas; asimismo, sirven para dimensionar infraestructuras a fin de mitigar los efectos negativos de las inundaciones.

El proceso de modelación requiere una gran cantidad de información proveniente de distintas fuentes, y en conjunto genera una incertidumbre que siempre se busca reducir para que el modelo se asemeje lo más posible a la realidad. La rugosidad, vegetación, tipo de suelo y configuración del terreno son algunos de los datos que deben cuidarse a detalle durante el proceso de calibración del modelo. En México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) tiene disponible información de configuración de terreno de diversas fuentes y con distintas resoluciones. Hay además infraestructura que puede afectar los resultados del modelo, como puentes, bordos, edificios y alcantarillas, que no son fácilmente detectables en los modelos y que abonan a la incertidumbre.

En el presente trabajo se muestra una comparación de resultados al utilizar dos tipos de información de configuración del terreno: los modelos digitales de elevación de alta resolución tipo lidar y el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM); se señala cómo los resultados de gastos en un modelo se ven afectados por las diferencias en la información utilizada para la caracterización de las elevaciones del terreno. De esta manera se busca defi-

nir el tipo de fuente de información más adecuado para tener una menor incertidumbre con respecto a las llanuras de inundación.

Estudio de las inundaciones

Uno de los grandes problemas que han debido resolver diversas culturas a lo largo de la historia son las inundaciones. Para hacerles frente, se ha optado por representar el comportamiento de las precipitaciones y las afectaciones probables. Una inundación se puede definir como la cobertura temporal de la superficie del suelo por agua que fluye por diferentes orígenes. Para su estudio se requieren tres componentes mínimos esenciales: configuración del terreno, lluvia de proyecto y caracterización de las microcuencas (Alcocer *et al.*, 2016).

Para la configuración del terreno, la base es la topografía, que comprende actividades en campo y en gabinete; las primeras se realizan en la zona que se pretende estudiar, y las segundas se desarrollan con herramientas de apoyo como la computadora, para representar la zona analizada. Para su estudio, la topografía se divide en planimetría, altimetría, planimetría y altimetría simultáneamente, triangulación, trilateración y fotogrametría (Alcántara, 2014).

Para la modelación numérica, la configuración del terreno de inundaciones cobra gran relevancia por brindar una menor incertidumbre en los resultados, y esta reducción sólo se puede lograr mediante una mejora en la representación de cada uno de los elementos mencionados por Alcocer *et al.* (2016), es decir, tener una buena caracterización de la lluvia (con equipos óptimos de medición y una mayor instrumentación de la zona de estudio) y mejorar la determinación de los parámetros geomorfológicos de las cuencas (rugosidad, vegetación, tipo de suelo, entre otras) así como la representación del terreno (por ejemplo, a través de los modelos digitales del terreno).

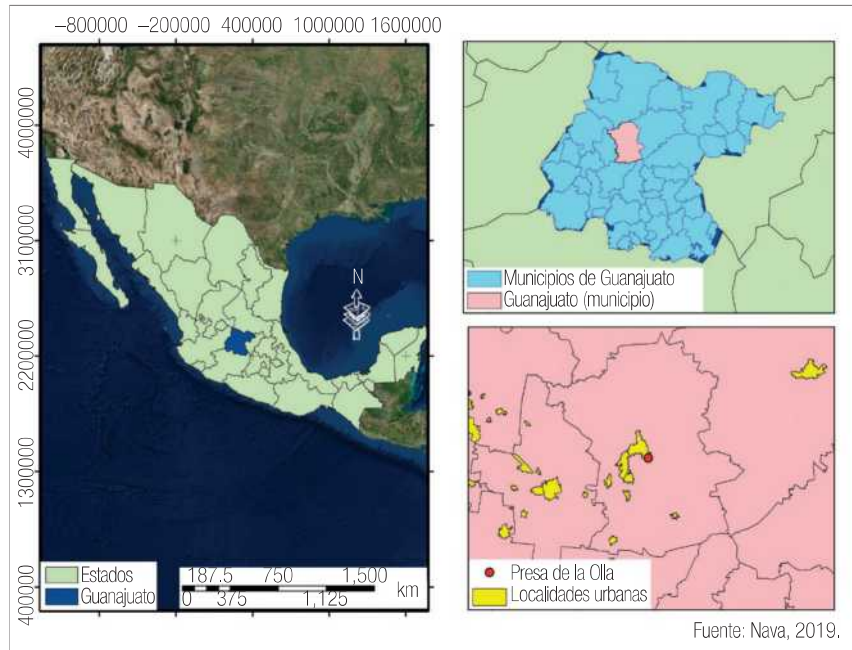


Figura 1. Microlocalización y macrolocalización de la zona de estudio.

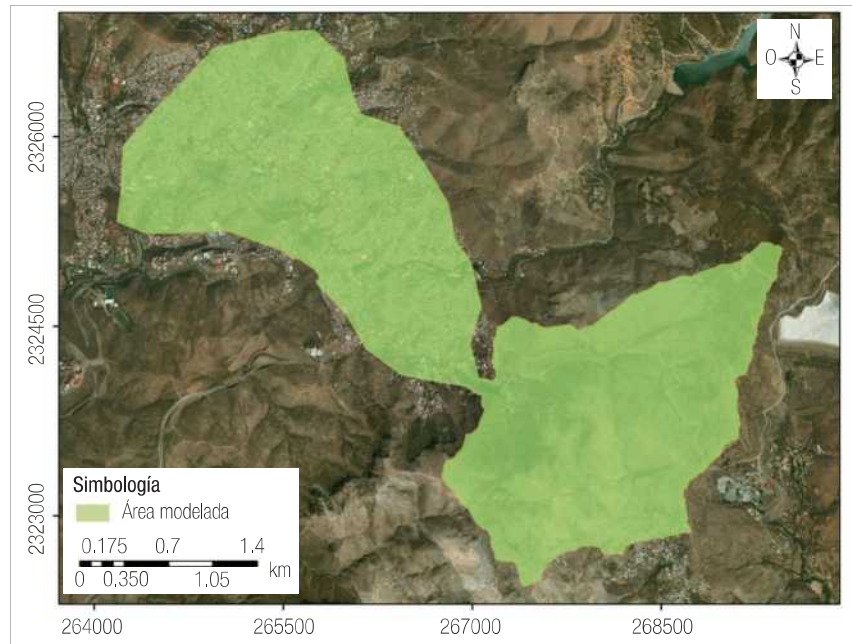


Figura 2. Área modelada.

En la actualidad, la mayoría de los programas que realizan modelación hidrológica hidráulica requieren como entrada la información generada a partir de un modelo digital del terreno (MDT), ya que éste proporciona una mayor exactitud en la representación del terreno que permite, en el caso del análisis de un cauce, establecer la infraestructura cercana a éste y la llanura

de inundación, todo lo anterior con el fin de representar sus efectos dinámicos.

El MDT es una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. El tipo de MDT más conocido es el modelo digital de elevaciones (MDE), que de acuerdo con el Inegi es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar que permite caracterizar las formas de relieve y los elementos y objetos presentes en él.

El MDT de la morfología del terreno se puede generar a partir de diferentes datos de entrada, como son las curvas de nivel a diferentes escalas, levantamientos urbanos, lidar y Continuo de Elevaciones, entre otros. En México el Inegi tiene a disposición curvas de nivel 1:20,000, 1:50,000, 1:250,000 y 1:1,000,000. El CEM es un producto cartográfico que representa las elevaciones del territorio continental mexicano mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas X y Y a las que se les integran valores que representan las elevaciones (Z). Los puntos se encuentran espaciados y

distribuidos de modo regular, con celdas de resolución de 15 x 15 m en función del marco cartográfico 1:200,000; se pueden descargar mapas de un área específica de un estado o de todo el país, y datos lidar, información con una resolución de 5 x 5 m y cobertura de la mayor parte del país.

Dos de las fuentes oficiales disponibles para la obtención de datos del terreno y la caracterización de las cuencas son el Inegi y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio).

A continuación se describe un caso de estudio donde se presenta la integración de un modelo de inundaciones en zonas urbanas, y se analizan los resultados obtenidos utilizando la configuración topográfica mediante información lidar y el CEM.

Estudio de caso

La zona se ubica en la ciudad de Guanajuato, posicionada en las coordenadas UTM 2325772, 265450 14 N con una altitud de 2,020 msnm (véase figura 1).

El área de estudio comprende 8.37 km², donde están ubicadas las presas de la Olla y San Renovato, aguas

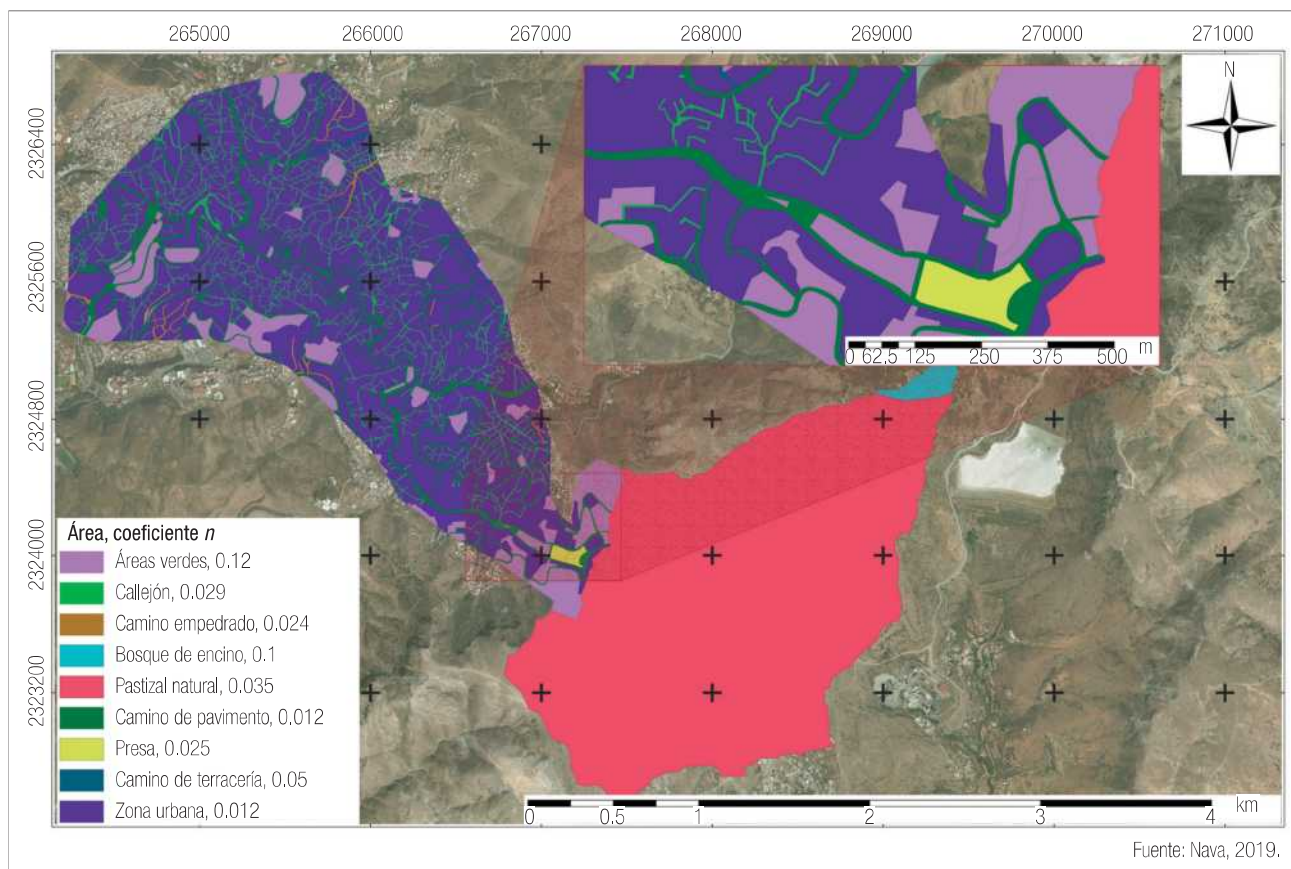


Figura 3. Valores de rugosidad asignados a la cuenca de estudio.

arriba de la ciudad. En esta área a modelar se realizará la comparación de dos modelos digitales de terreno diferentes (véase figura 2).

El análisis de la zona se llevó a cabo con tres pasos, que se describen en los párrafos siguientes.

Hidrología de la zona de estudio. Para la caracterización hidrológica del área de modelación se obtuvieron los datos de las estaciones 11103, 11007 y 11094; posteriormente se estimaron los datos faltantes con el método del inverso de la distancia al cuadrado (Aparicio, 1992) para calcular las lluvias máximas anuales en 24 horas. Continuando con el proceso, se realizó el análisis de funciones de distribución de probabilidad y para obtener la relación lluvia-periodo de retorno (Nava, 2019), y se eligieron los datos de la función que tuviera el menor error estándar de ajuste. De esta relación se obtuvo que, para un periodo de retorno de 100 años, está vinculada a una lluvia de 117 mm. Para la distribución en el tiempo se utilizaron los datos de la estación GUANAJUATOob, que reporta la precipitación a intervalos de 10 minutos; con la información del año 2014 a la fecha se caracterizó un hietograma adimensional, y el tiempo de duración de este hietograma fue de 4 horas, una de las mayores duraciones de que se tiene registro. Este dato, junto con otros más, permitirá conocer el desarrollo de los hidrogramas.

Parámetros geomorfológicos. En el caso de la rugosidad del terreno, se utilizaron los valores del coeficiente de Manning, de acuerdo con los datos establecidos por Chow (1994) y McCuen *et al.* (1996). Los resultados se presentan en la figura 3. La infiltración se calculó con el método de “números de escurrimiento” del US Soil Conservation Service (1957). Mediante diferentes procesos, en un sistema de información geográfica se pueden traslapar las capas de cobertura de uso de suelo, edafología y vegetación con los números de escurrimiento, con lo que se encontró un valor ponderado para la cuenca de

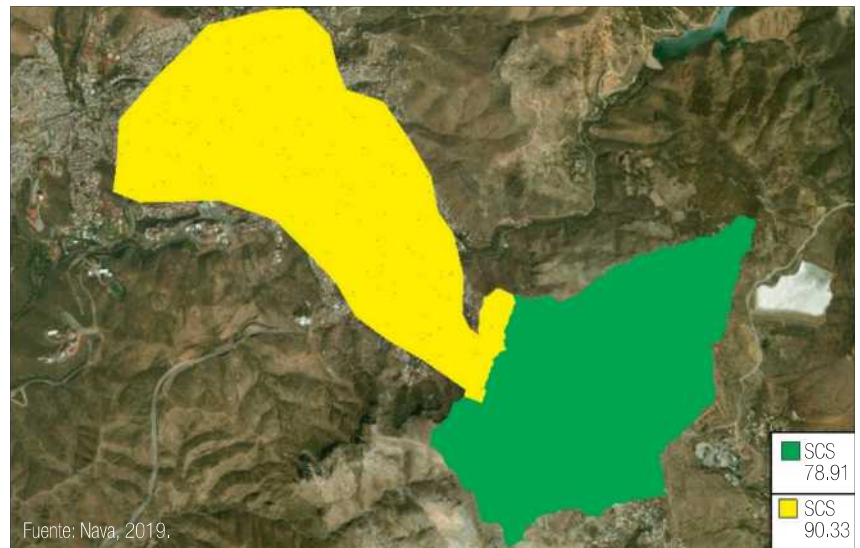


Figura 4. Números de escurrimiento para la zona de estudio.

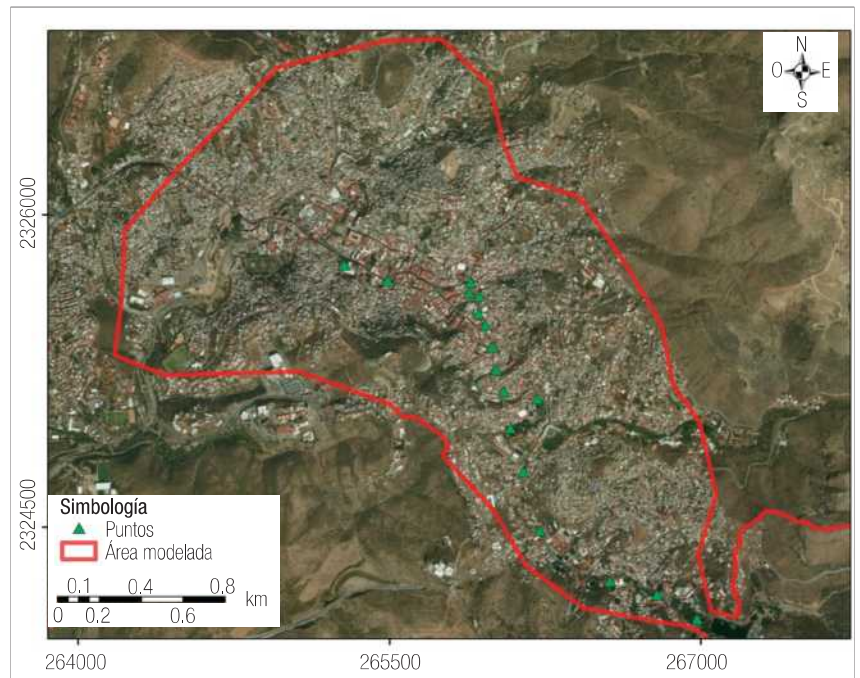


Figura 5. Puntos ubicados para conocer el gasto, la velocidad y el tirante máximos.

la Presa de la Olla de 78.91, y para la zona urbana, de 90.33 (véase figura 4).

Modelo hidráulico. Se optó establecer análisis bidimensional de escurrimientos con la plataforma libre, una de cuyas ventajas es su acceso libre. Para la discretización de la malla se utilizó una variable con tamaños de 40 m para la cuenca de aportación, 20 m para manzanas, 10 m para calles, 5 m para embalses y la zona más próxima aguas abajo de la presa, y 2 m para borde y cortina de

Tabla 1. Resultados de los puntos de verificación de gasto, tirante y velocidad máxima

Núm.	Coordenadas		Gasto (m ³ /s)			Tirante (m)			Velocidad (m/s)		
	x	y	Lidar	CEM	Dif. (%)	Lidar	CEM	Dif. (%)	Lidar	CEM	Dif. (%)
1	266145.66	2324764.99	2.41	1.02	236.18	0.43	1.11	38.86	5.75	1.23	467.39
2	266223.97	2324482.42	1.71	–	–	0.64	–	–	3.83	–	–
3	266562.64	2324241.12	0.88	0.93	94.57	0.70	0.21	335.09	1.38	4.43	31.17
4	266789.13	2324175.50	0.72	0.78	93.28	0.30	0.43	68.83	2.86	1.56	183.10
5	266982.80	2324060.14	0.32	0.00	118325.71	0.44	0.01	4157.42	0.74	0.03	2882.79
6	265492.97	2325684.09	–	0.11	–	–	0.16	–	–	0.69	–
7	265884.42	2325625.07	0.05	0.00	16735.07	2.03	0.01	19054.77	0.17	0.03	621.18
8	265891.13	2325673.16	–	0.02	–	–	0.02	–	–	0.67	–
9	265932.98	2325609.77	0.07	0.00	18477.88	0.50	0.01	4731.54	0.18	0.03	637.34
10	265962.42	2325470.13	0.13	–	–	0.65	–	–	0.53	–	–
11	265927.96	2325526.55	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	265996.94	2325366.63	0.03	–	–	0.04	–	–	0.75	–	–
13	266013.99	2325255.30	0.85	–	–	0.52	–	–	1.94	–	–
14	266050.70	2325151.78	–	0.31	–	–	0.12	–	–	2.36	–
15	266213.59	2325116.81	0.45	0.36	125.00	0.30	0.16	186.62	2.62	2.81	93.32
16	266083.06	2324975.99	0.15	–	–	1.11	–	–	0.17	–	–

la Presa de la Olla y de la presa San Renovato, además de una condición inicial para el espejo de agua en las presas de acuerdo con la información de la batimetría del año 2001, de 2,082.06 msnm para la Presa de la Olla y 2,095.672 msnm para la presa San Renovato.

Escenarios

Se generaron dos escenarios. El primero considera la configuración topográfica a partir de la información de datos lidar de la zona de estudio, y el otro, información del CEM del Inegi. Es decir, el primero tiene una resolución de datos de 5 × 5 m, y el segundo, de 15 × 15 m. Las demás condiciones de infiltración, rugosidad y precipitación son iguales en ambos, para poder compararse posteriormente. En cuanto al tiempo computacional, para cada escenario fue de 4 a 5 horas.

Se realizó una simulación de 10 horas para conocer el comportamiento del flujo en diferentes partes de la ciudad y con los dos tipos de configuración topográfica.

Resultados

Puntos de control

Para visualizar puntualmente el cambio de condiciones entre un escenario y otro, primero se tomaron 16 pun-

El modelo digital del terreno (MDT) es una estructura numérica de datos que representan la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. El tipo de MDT más conocido es el modelo digital de elevaciones (MDE), que de acuerdo con el Inegi es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar que permite caracterizar las formas de relieve y los elementos y objetos presentes en él.

tos en toda la zona urbana para conocer las diferencias entre la configuración con lidar y con el CEM, todo con información proporcionada por el Inegi (véase figura 5).

En el 56% de los puntos no se pudieron extraer datos, es decir, nueve puntos no pueden ser comparados por las siguientes razones: cinco puntos con información extraída del CEM no presentan dato alguno, mientras que para dos puntos no se tiene información del dato lidar,

y los otros dos no presentan información en ninguno de los dos rubros.

De los siete puntos que pueden ser comparados, los marcados en color verde (cuatro puntos) tienen una diferencia menor de 100% y serán comentados posteriormente; los tres puntos marcados en color rojo tienen diferencias altas en porcentaje. Se han tomado como referencia los datos lidar, ya que tienen una mejor aproximación a la realidad (Nava, 2019).

Los resultados indican que con respecto al gasto hay una diferencia promedio de 180.59%, es decir que el CEM genera un valor inferior al de lidar para dos puntos; los otros dos que se pueden comparar presentan una diferencia de 6%, es decir, son muy similares. En lo que se refiere a la velocidad, los datos del CEM con respecto a lidar tienen una diferencia promedio del 325% en dos puntos, mientras que un punto de los restantes tiene un valor similar, con una diferencia de 7%, y en el otro, el dato del CEM es 320% mayor en comparación con el lidar.

Para la condición del tirante, en dos puntos se tiene un valor lidar mayor, en comparación con el CEM (260%

Se recomienda hacer uso de información lidar para el análisis de la modelación hidrológica-hidráulica de inundaciones, con lo que se puede esperar una reducción importante en la incertidumbre de información; y en las zonas donde no se cuente con esta información, hacer uso del CEM asumiendo que se puede tener sub o sobremedición de los gastos, velocidades o tirantes.

en promedio); además, existe un punto que tiene una diferencia de 40%, siendo el valor mayor el del CEM, y el último punto de análisis tiene el valor CEM mayor en un 257 por ciento.

Secciones de control

Se realizó el trazo de dos secciones de control para saber si existe alguna diferencia, al tiempo de conocer el hidrograma en los dos escenarios. La primera sección de



Figura 6. Ubicación de las secciones de control.

control se ubica en las calles Paseo de la Presa y Conde de Valenciana, con coordenadas UTM 267013.935 y 2324040.925. La segunda sección se localiza en la calle Paseo de la Presa, con coordenadas UTM 266148.891 y 2324680.883 (véase figura 6).

Los resultados de la sección de control 1 muestran que los hidrogramas de lidar y del CEM son totalmente diferentes. Si se comparan los picos, en el escenario con las condiciones topográficas de lidar es de 600 s con un gasto de 4.62 m³/s, mientras que el CEM presenta el pico en los 9,000 s, con un gasto de 9.82 m³/s. Con respecto al volumen total, lidar muestra 15,450.80 m³, mientras con el CEM se contabilizan 44,999.89 m³, es decir que casi se presenta tres veces el volumen total en el modelo CEM comparado con el lidar (véase figura 7).

En la sección 2, si se comparan los picos del hidrograma, existe un desfase de 1,200 s, además de que los gastos son diferentes, ya que en el CEM se presentan 21.31 m³/s, mientras que en el lidar sólo se descargan 9.01 m³/s. Para el volumen total del hidrograma, con lidar se tiene un valor de 59,049.19 m³, y para el CEM, de 135,883.14 m³. Se presenta un mayor volumen en el hidrograma del CEM, con un incremento mayor que dos veces el lidar (véase figura 8).

Conclusiones

A partir de los dos escenarios propuestos se pueden identificar grandes discrepancias en cuanto al registro de gastos en diferentes partes del área modelada, en las secciones de control propuestas y en las áreas de tirantes, gastos y velocidades máximas; esto da pie a establecer un criterio puntual para el análisis de inundaciones en zonas urbanas.

Con los datos registrados en ambos escenarios se recomienda utilizar la configuración topográfica con datos

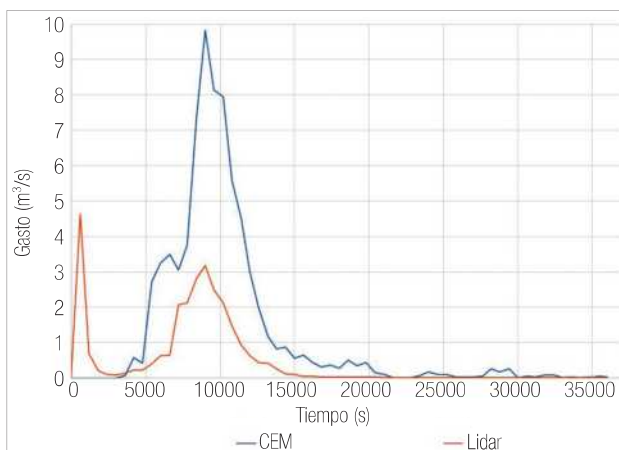


Figura 7. Sección de control 1.

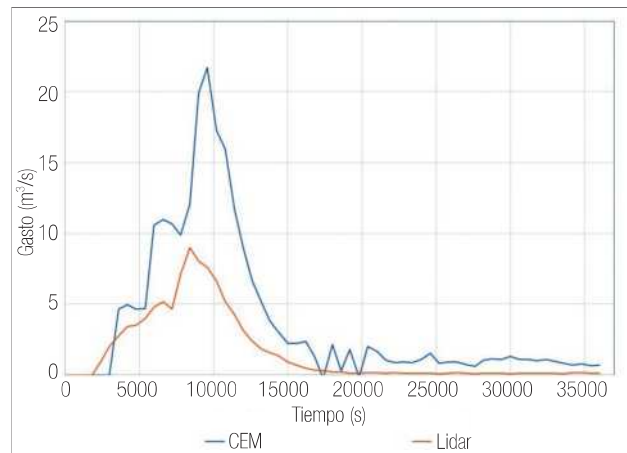


Figura 8. Sección de control 2.

lidar o hacer un levantamiento en la zona de estudio, ya que se puede tener una mejor configuración del terreno y generar una representación fehaciente de los escurrimientos superficiales.

En lo que respecta a los puntos, existen zonas que son registradas por el CEM y otras por lidar; así, dependiendo del objetivo específico del trabajo, se debe elegir correctamente la configuración topográfica, o en su caso conocer sus limitantes y bondades.

Los hidrogramas que se obtuvieron de dos puntos de la zona de estudio permiten establecer que se pueden encontrar mayores gastos en la configuración topográfica con el CEM, con diferencias cercanas al doble. Por lo tanto, se recomienda hacer uso de información lidar para el análisis de la modelación hidrológica-hidráulica de inundaciones, con lo que se puede esperar una reducción importante en la incertidumbre de información; y en las zonas donde no se cuente con esta información, hacer uso del CEM asumiendo que se puede tener sub o sobremedición de los gastos, velocidades o tirantes 💧

Referencias

- Alcántara García, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. México: Patria.
- Alcocer Yamanaka, V. H., J. M. Rodríguez Varela, V. J. Bourguett Ortiz, Ó. J. Llaguno Guilberto y P. M. Albornoz Góngora (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y ciencias del agua* 7(5): 33-55.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. México: MacGraw Hill.
- McCuen, R. et al. (1996). *Hydrology*. Washington: Federal Highway Administration.
- Nava, J. (2019). Modelización del flujo superficial por desbordamiento de una presa. Caso de estudio: Presa de la Olla, Guanajuato, Gto. Tesis de licenciatura.
- US Soil Conservation Service (1957). National Engineering Handbook. Sec. 4, suplemento A, Hidrology.

Conveniencia de pequeños vasos de control de avenidas en zonas urbanas

La construcción de presas genera entre la población la falsa sensación de que nunca más se presentarán avenidas que llenen los cauces y afecten sus bienes y tareas cotidianas. En consecuencia, la gente ocupa los terrenos a las orillas de los ríos y las zonas federales de éstos; con ello se expone a inundaciones por la descarga normal de los vertedores, las cuales provocan daños económicos y en muchos casos la pérdida de vidas. Debido a esta situación, en algunos casos se percibe a las presas como una amenaza para la población aguas abajo cuando ocurren descargas normales, más aun cuando suceden escurrimientos importantes con lapsos mayores de 20 años.

RODRIGO MURILLO FERNÁNDEZ
VÍCTOR DANIEL ORDUÑO HIGUERA
Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica.

LOS vertedores de las presas están diseñados por lo común para desfogar grandes gastos, con periodos de retorno de entre 500 y 10,000 años en función de las dimensiones de sus cortinas y embalses, lo que significa que en cualquier momento podría ocurrir una importante descarga que ocupe todo el cauce, con graves consecuencias. En este trabajo se revisa si son las presas las que ocasionan las inundaciones que ponen en riesgo a la población.

Se presenta la revisión de dos presas pequeñas clasificadas con alto riesgo para la población, de acuerdo con la normatividad vigente, para lo cual se analiza su comportamiento hidrológico y su capacidad de descarga ante avenidas. También se evalúa si la eliminación de las presas es necesaria para evitar la amenaza que repre-



Figura 1. Vista general de la cortina desde la margen derecha; se aprecia la zona del vertedor, la caída escalonada y, al fondo, el dique de cierre del vaso.

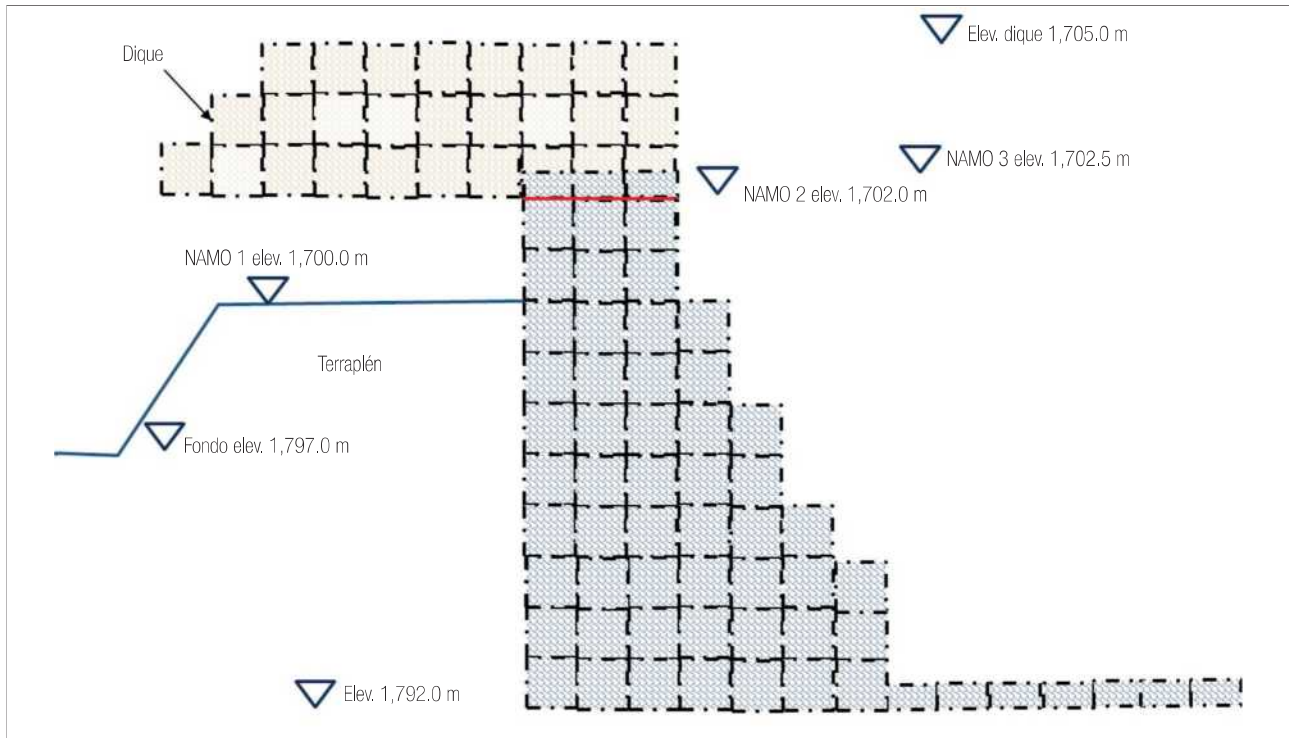


Figura 2. Sección transversal de la cortina, presa Nazario Ortiz Garza, Coahuila.

sentan. Se describen los casos revisados y se determina que los pequeños almacenamientos, contrariamente a la percepción generalizada, no son una amenaza. Los resultados son relevantes, porque clarifican la conveniencia de conservar o eliminar estos reducidos embalses.

Introducción

Debido al crecimiento urbano, la población ocupa superficies que eran cauces de ríos y arroyos, debido a que los caudales que comúnmente se observan tienen periodos de recurrencia (T_r) bajos, normalmente de 20 a 50 años –una a dos generaciones–; por ello la sociedad olvida los niveles históricos de las avenidas, y así ha ocurrido en núcleos urbanos como Pijijiapan, Chiapas, donde las avenidas de 1998 fueron similares a los registros históricos pero el crecimiento de las zonas habitacionales se había extendido a los cauces y sucedió una tragedia al presentarse escurrimientos importantes.

Al ocupar terrenos en los cuales ocurren inundaciones por avenidas con T_r de 20 o más años, la población se expone a que al menos cada generación sufra sus efectos. En parte esto se debe a que la normatividad establece como zona federal aquella que ocupa la avenida de 5 años más una zona de protección de 5 o 10 m en ambas márgenes (LAN, 2004), lo cual resulta escaso si consideramos que nuestro territorio está expuesto a



Figura 3. Detalle de la cortina de gaviones en la descarga del vertedor.

una amplia variabilidad en sus precipitaciones y escurrimientos por influencia de ciclones y ondas tropicales, que introducen humedad de los dos océanos, más los frentes fríos y otras variaciones atmosféricas combinadas con los múltiples cambios orográficos que concentran o distribuyen el flujo de las aguas superficiales en tiempo y espacio.

La solución para proteger a la población normalmente se ha enfocado en ejecutar medidas estructurales, como



Figura 4. Corona de la presa Los Burros; en el lado izquierdo se aprecia el vaso.



Figura 5. Sección de control del vertedor. Se observan los dos dentellones y el relleno intermedio. Al fondo, el crecimiento urbano cercano a la infraestructura.

el desvío de las corrientes y la construcción de presas y diques de control de avenidas en los cauces que cruzan zonas pobladas. Las avenidas a considerar en el diseño de obras de control de los escurrimientos dependen de la altura de la cortina, de la capacidad de almacenamiento y de posibles consecuencias por descargas (Conagua, 2017a), por lo cual las obras construidas para este fin comúnmente corresponden a vasos aguas arriba de los núcleos urbanos; en otros casos, presas antiguas cons-

truidas con fines de riego o abastecimiento son rodeadas por las manchas urbanas, y en ambas situaciones quedan inmersas dentro de las poblaciones. Se comentan aquí brevemente los casos de una presa de control de azolves y otra destinada inicialmente para irrigación, en las cuales se ha revisado la conveniencia de que continúen o no en funcionamiento.

Características de las presas

Una de las presas consignadas es la Nazario Ortiz Garza, construida por el gobierno estatal de Coahuila en 2001 para control de azolves y avenidas (Conagua, 2020). Consta de una cortina de gaviones de sección de gravedad escalonada aguas abajo y vertical aguas arriba de 13 m de altura desde el cauce y longitud de 89.0 m (véase figura 1) con los niveles y sección transversal máxima señalados en la figura 2.

Los gaviones del cuerpo principal y el dique de cierre en la margen izquierda son de un metro por lado, con algunos de $1 \times 1 \times 0.5$ m sobre la cresta vertedora y de tipo colchón en la zona de descarga. El material de relleno es caliza angulosa densa de banco de préstamo. Sus capacidades de almacenamiento al NAMO (1,702.0 msnm) y al NAME (1,704.0 msnm) son de 0.0957 y 0.1750 hm³, respectivamente.

Fue construida originalmente para que gran parte del gasto percolara a través de los gaviones (véase figura 3); esta condición fue modificada al colocar una membrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 1 mm de espesor sobre la parte inferior del paramento aguas arriba hasta el nivel 1,700.0 msnm (NAMO 1), y se colocó un terraplén compactado hasta ese mismo nivel, por lo cual la zona permeable de la cortina se restringió sólo a su parte superior. Por estar construida mediante cajas de alambre rellenas con piedras, resulta más deformable que una cortina de gravedad similar de mampostería, por lo cual después de una avenida provocada por el ciclón *Claudette* en 2003, fue clasificada preliminarmente con alto riesgo estructural e hidráulico, al observarse una deformación de su cresta vertedora de 60 cm hacia aguas abajo.

Su área de aportación es de 128.3 km² y se localiza sobre el arroyo La Encantada en Saltillo, Coahuila.



Figura 6. Sección transversal del vertedor de Los Burros.



Figura 7. Erosión regresiva en el canal de descarga del vertedor de Los Burros.

La segunda obra que se revisó es Los Burros, en Chihuahua; es una presa con fines de abrevadero construida por la extinta Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), con una pequeña cortina de material homogéneo que tiene una longitud de 540 m, con un ancho de corona de 7.5 m, casi el doble del normal en presas de tierra; taludes 3h:1v, altura máxima de 5.5 m, con enrocamiento de protección en el talud de aguas arriba (Conagua, 2020) (véase figura 4). Se encuentra actualmente abandonada y azolvada; las capacidades de su vaso son de sólo 0.25 hm³ y 0.30 hm³ al NAMO y al NAME, respectivamente.

En la margen izquierda dispone de un vertedor libre tipo lavadero, de cresta ancha y recta de 80 m de longitud, cuya sección de control está formada por dos dentellones de mampostería de 76.0 m de longitud con una separación de 8.0 m entre sí, rellena con enrocamiento (véase figura 5). Tiene muros de encauce para las descargas con diferente altura a lo largo de su trayectoria al cauce; el de la margen derecha varía desde 1.0 m hasta 1.90 m, y el de la margen izquierda, de 0.40 m a 1.50 m (véase figura 6); no cuenta con obra de toma, puesto que su finalidad era sólo para abrevadero.

El canal de descarga está revestido de mampostería y dispone de tres dentellones para reducir la erosión de terreno durante los desfuegos, pero se encuentran dislocados y rotos por

efecto de la erosión regresiva. Esta obra operó durante 44 años (1975-2019), por lo que poco a poco quedó dentro de la urbanización de Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, sobre el arroyo del cual toma su nombre, el cual tiene una cuenca de 87.4 km².

Ambas presas fueron catalogadas con alto riesgo estructural; la primera debido a las deformaciones de la cortina, y la segunda por erosión en el canal de descarga del vertedor que podría llegar a la cortina y afectarla (véase figura 7), además del riesgo hidrológico de ambas obras por existir población aguas abajo que podría sufrir inundaciones por sus descargas (FEMA, 2004).

Evaluación de las obras

Ambas presas fueron revisadas físicamente y comprobadas su dimensiones, así como sus características estructurales; en el caso de la Nazario Ortiz, se comprobó que la deformación reportada fue corregida por los responsables de su operación y está en buenas condiciones estructurales; se llevó a cabo también análisis de estabilidad estructural, del cual se obtuvo que para el nivel de la avenida de diseño, el factor de seguridad contra volteo resulta de 1.47, mientras que contra deslizamiento fue de 1.29, por lo cual es estable (CICM, 2016). Además, mediante el método de elementos finitos se estimó una posible deformación de 0.12 m para la condición de carga máxima.

En Los Burros no ha ocurrido mejora y sólo aumentó la erosión en el canal de descarga del vertedor en los últimos años. Cabe destacar que su cortina tiene una sección transversal muy robusta, por su ancho y corta altura, debido a lo cual se considera segura estructuralmente.

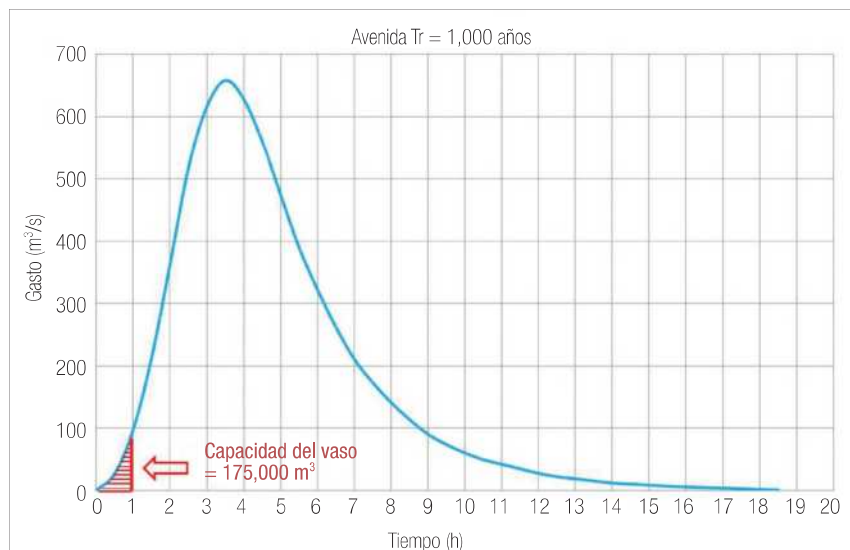


Figura 8. Avenida de diseño de la presa Nazario Ortiz, en Coahuila.

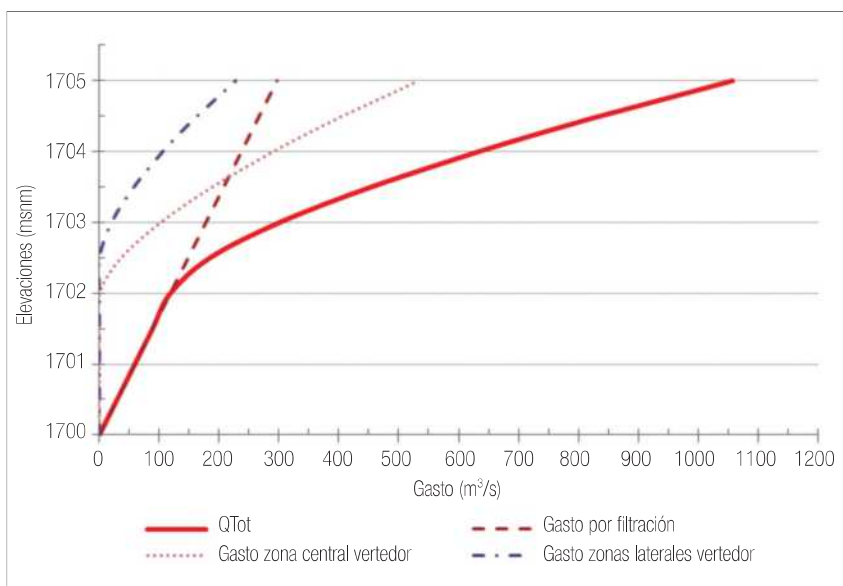


Figura 9. Gasto de descarga total del vertedor, por filtración y por el vertedor. Presa Nazario Ortiz.

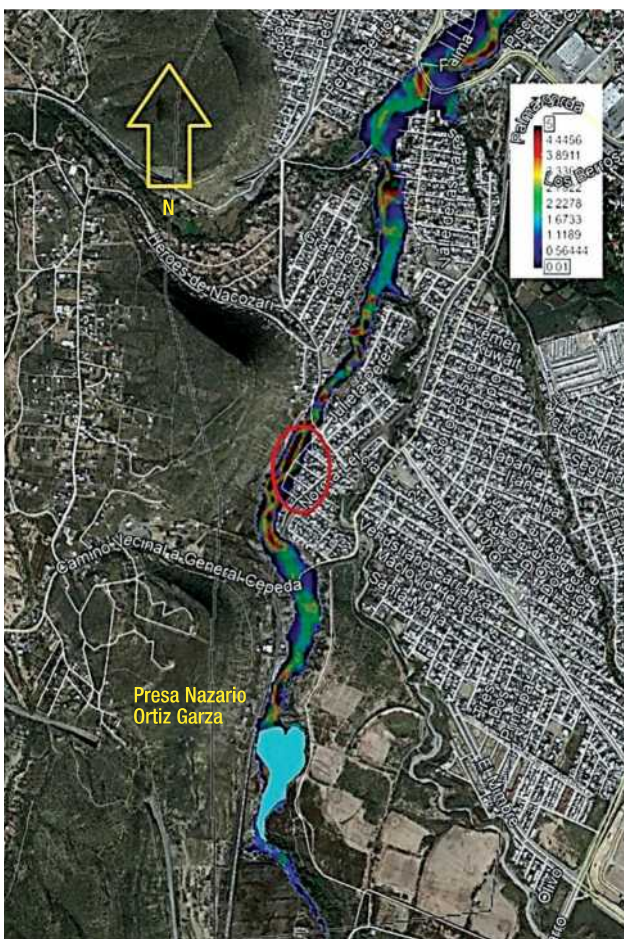


Figura 10. Zona de afectación por avenida con $T_r = 1,000$ años.

Fueron determinadas las avenidas de diseño por el método lluvia-escurrimiento mediante la selección de las estaciones climatológicas más cercanas; se modelaron diferentes funciones de distribución de probabilidad y se seleccionaron las poblaciones de datos con menores errores de ajuste para determinar la precipitación de diseño; en función de la composición edafológica y el uso del suelo en cada cuenca se determinó un número de escurrimiento, y mediante el simulador de flujos (Inegi, 2017) se determinaron las características geográficas de las cuencas; por el método del hidrograma unitario triangular (HUT) se obtuvieron los hidrogramas de diseño.

De acuerdo con la normatividad vigente (Conagua, 2017a) a la Nazario

Ortiz le corresponde una avenida de diseño con gasto máximo de $658.0 \text{ m}^3/\text{s}$ asociado a un periodo de retorno de 1,000 años, con volumen de avenida de 11.25 hm^3 , tiempo pico de 3.5 h y tiempo base de 7 h (véase figura 8) (Conagua, 2017b), mientras que a Los Burros le corresponde un periodo de retorno, T_r , de entre 500 y 1,000 años, por lo cual se utilizó este último periodo de recurrencia para estudiar su comportamiento hidráulico, con un gasto máximo de $200.4 \text{ m}^3/\text{s}$, tiempos pico de 4 h y base de 8 h, con un volumen de 2.887 hm^3 (Conagua, 2017c).

Se revisó la capacidad de descarga de sus vertedores. Para el caso de la cortina de gaviones, cuyo cuerpo es permeable, se consideró que existe un caudal de filtración definido como:

$$Q = k A i \tag{1}$$

donde:

- Q = gasto en m^3/s
- k = permeabilidad en cm/s
- A = área transversal al flujo en m^2
- i = gradiente hidráulico definido con $\Delta h/\Delta L$

Se consideró un coeficiente de permeabilidad $k = 2 \times 10^2 \text{ cm}/\text{s}$, ya que para gravas limpias la k es del orden de la mitad de este valor, con la superficie expuesta a filtración que inicia en NAMO 1 y un gradiente de la carga media entre la longitud de filtrado constante de 3 m para esta cortina; además, dado que el vertedor tiene dos niveles (NAMO 2 y NAMO 3), también se evaluó

la descarga con éstos y se determinó el gasto total como la suma del caudal infiltrado más el vertido, de $656.5 \text{ m}^3/\text{s}$ con el agua al NAME, que es un gasto similar al de $658 \text{ m}^3/\text{s}$ establecido por la normatividad, como se muestra en la figura 9, con un bordo libre (BL) de 0.94 m.

Para Los Burros, se realizó el tránsito de la avenida por el vaso y se obtuvo que el gasto regulado sería de $193.8 \text{ m}^3/\text{s}$, con un bordo libre de 0.68 m; así se satisface en ambos casos que sus obras de excedencias tengan capacidad mayor que el gasto de pico regulado y un BL mayor que 0.5 m, como aconseja la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2010) para pequeñas presas. La capacidad de descarga de los vertedores se determinó con la fórmula de Francis, con coeficientes de descarga $C_d = 1.8$ y 1.45 para Nazario Ortiz y Los Burros, respectivamente. Según a los periodos de retorno recomendados por la Conagua (2017a), ambas presas son hidrológicamente seguras. En ambas obras, la capacidad del vaso es muy pequeña comparada con el volumen de la avenida, y si bien los vertedores tienen capacidad para descargar el pico de las avenidas de diseño, los gastos de descarga son similares a éstos porque casi no tienen capacidad de regulación, ya que el volumen que almacenan resulta ser de sólo el 1.55 y 10.4% del volumen de las avenidas para Ortiz y Los Burros, respectivamente, como se aprecia en la figura 8 para el primer caso, por lo cual se ha discutido sobre si estos pequeños vasos resultan útiles para el control de avenidas o representan una amenaza para la población y deberían ser eliminados.

Análisis de riesgo

Las tres normas de Operación Segura de Presas NMX-AA-175 (SCFI, 2018) se elaboraron entre 2015 y 2017. La primera parte tiene vigencia desde 2016, por lo cual se inició su aplicación a partir de esa fecha. De conformidad con ella se obtuvieron las zonas de inundación para la avenida de diseño de cada obra y se aplicó el criterio de vulnerabilidad como la resistencia al vuelco con el producto tirante-velocidad (Paterson, 2007), recomendado en la parte 3 de la norma.

En la presa Nazario Ortiz, se realizó la evaluación mediante el método Iber (2014) y su correspondiente *software*

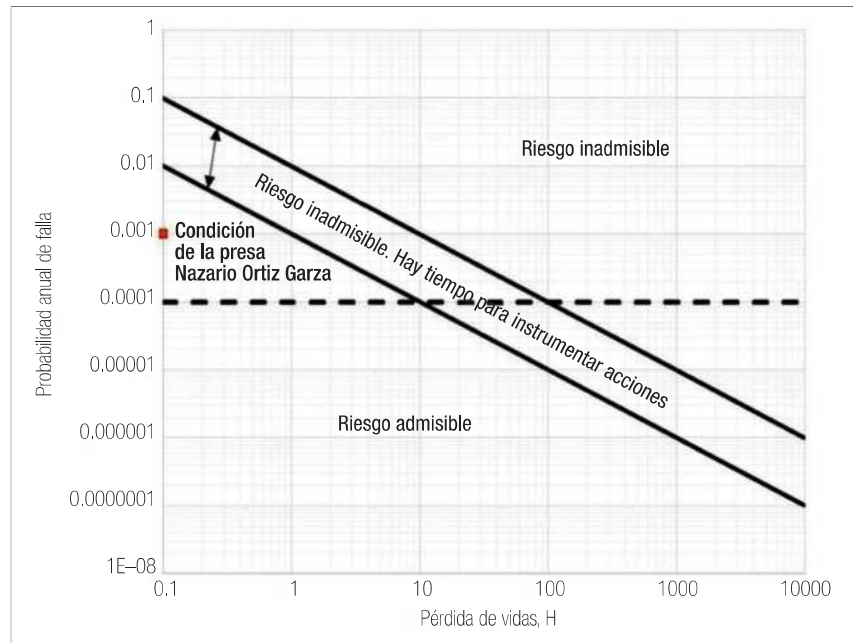


Figura 11. Resultado del análisis del riesgo de vertido o rotura de la cortina por avenida de diseño. Presa Nazario Ortiz Garza, Coahuila.

(2017); con tal propósito se transitó la avenida 25 km aguas abajo para revisar las posibles afectaciones a la ciudad de Saltillo, con la topografía digital disponible que tiene una resolución de 5 m. En la figura 10 se muestra un detalle del arroyo aguas abajo de la cortina obtenido con Google Earth Pro (2018), donde aparece una zona urbana afectada con tirante menor de 1 m, señalada con la elipse roja, en la cual hay cuatro casas; se considera que serían afectadas 3.8 personas por casa (Inegi, 2016), con un total de 15 personas, con vulnerabilidad de baja a muy baja. Para verificar los resultados se acudió a los sitios en los cuales el relieve del terreno mostraba reducciones del cauce, cruces u obstrucciones, y en particular el sitio mencionado, donde el terreno ha sido nivelado, por lo cual el mapa de inundación no es lo suficientemente exacto en cuanto a los cambios topográficos abruptos, además de su poca resolución, por lo cual se considera que no ocurriría esa inundación, y en caso de presentarse, el tirante sería uniforme y reducido por ser una zona nivelada por la urbanización. De conformidad con los resultados, ocurrirán inundaciones en zonas pobladas más alejadas de la presa, no por efecto de esta infraestructura, sino por el gran volumen y duración de la avenida; éstas serían ligeramente mayores si no existiera la presa. El vaso de ésta sólo puede controlar un volumen equivalente a la primera hora de la avenida de 1,000 años, puesto que, como era de esperarse, su regulación es prácticamente nula porque su finalidad es el control de azolves y su embalse es muy pequeño.



Figura 12. Zona de inundación por descarga de la avenida con $T_r = 1,000$ años.

La norma NMX-AA-175/1 indica establecer el riesgo de la presa Nazario Ortiz en función de daño y probabilidades, como se muestra en la figura 11.

En el caso de la presa Los Burros, se determinó la zona de inundación aguas abajo hasta la confluencia con el arroyo San Antonio, tanto para el caso de que la avenida fluya sin la presa como con la poca regulación que proporciona ésta (véase figura 12), con la misma metodología enunciada anteriormente. Se concluyó que con la operación de la presa los habitantes afectados serían 96, mientras que si la presa no existiera, habría 123 habitantes expuestos, ya que en ambos escenarios la inundación cubre una zona urbana. Los resultados del riesgo se muestran en la figura 13, donde puede apreciarse que la presa no es la causa de que la población de Cuauhtémoc sea afectada; la poca regulación que proporciona su vaso disminuye ligeramente el número de personas en peligro. Se recomendó la rehabilitación de la descarga del vertedor para conservar la obra en operación.

Conclusiones

Las presas Nazario Ortiz Garza y Los Burros fueron evaluadas de acuerdo con la actual normatividad. De conformidad con los resultados de los análisis hidrológicos, de funcionamiento hidráulico y estructural, estas estructuras, clasificadas inicialmente como de alto riesgo, no representan peligro de inundación para la población aguas abajo, puesto que a pesar de su escasa capacidad para controlarlas, disminuyen el peligro de daño por avenidas.

La verdadera razón de que la población se encuentre amenazada por inundaciones es que las cuencas en las que se ubican son grandes, y por el reducido tamaño de su embalse prácticamente carecen de regulación para las avenidas que se generan.

Es erróneo considerar que pequeños vasos dentro de zonas urbanas o aguas arriba de ellas son una amenaza, ya que incluso con su pequeña capacidad permiten regular las avenidas para los periodos de retorno menores, que son más comunes, y en caso de presentarse avenidas de diseño o cercanas a éste, estas cortinas y sus vertedores soportarán hidráulica y estructuralmente las solicitaciones, debido a que son seguras tanto hidrológica como estructuralmente.

Comentarios adicionales

En muchas grandes ciudades, los cauces que atraviesan han sido confinados y reducidos en su área hidráulica, normalmente considerando avenidas con T_r menor que

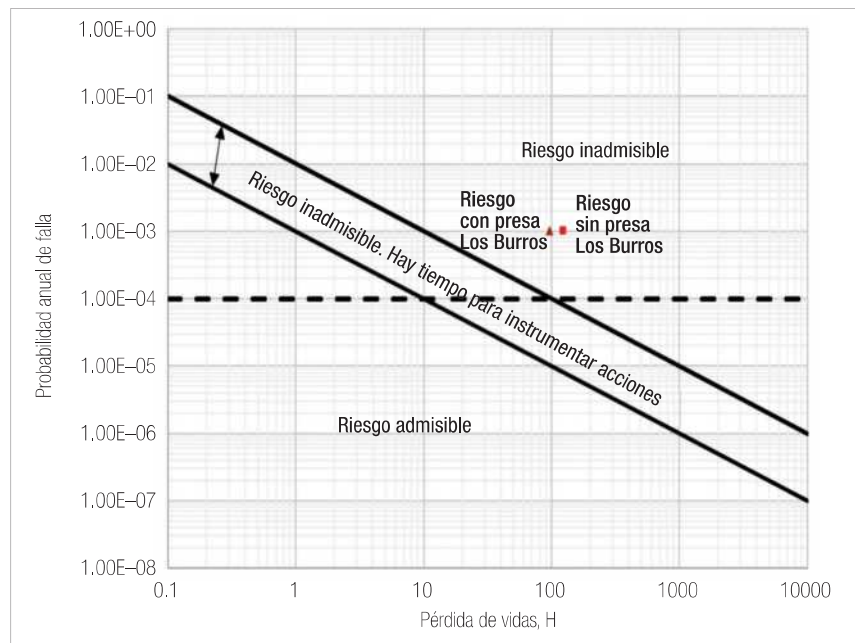


Figura 13. Resultado del análisis del riesgo con la probabilidad de afectación por la avenida $T_r = 1,000$ años, con y sin la regulación de la presa Los Burros, Chihuahua.



Figura 14. Presas de control de avenidas de Ciudad Juárez, Chihuahua (Conagua, 2020; Google Earth Pro, 2018).

500 años. Si las obras de control de avenidas sobre esas corrientes tienen T_r mayores o iguales que 1,000 años, el resultado es que, aunque las presas satisfagan los requisitos que se han mencionado, los cauces tendrán insuficiencia hidráulica y se desbordarán en zonas habitadas, con lo que afectarán a la población.

Entre los núcleos urbanos donde hay sistemas de control de avenidas destacan el poniente de la Ciudad de México, con el Sistema Interpresas que opera 28 vasos en serie, el cual ha funcionado adecuadamente a lo largo de 60 años; el Sistema Municipal de Ciudad Juárez (véase figura 14), con más de 50 pequeños vasos para control de avenidas, y los de otras importantes ciudades como León, Guanajuato, y la ciudad de Querétaro, cuya seguridad hidrológica depende de muchas pequeñas presas que deben satisfacer adecuadamente los requisitos hidráulicos, hidrológicos y estructurales actuales, además de tener una buena conservación que garantice un ade-

cuado comportamiento. En caso de no contar con un manejo adecuado, a pesar de cumplir con la normatividad, su deterioro progresivo o falta de atención pueden ocasionar una falla en cadena, con graves consecuencias. Por ello, es conveniente realizar el análisis de riesgo de estas presas de manera individual y en su conjunto, para realizar, en caso necesario, las medidas de mitigación correspondientes.

Adicionalmente, se requiere que dicha infraestructura cuente con programas de vigilancia que eviten la obstrucción de sus desfuegos y el relleno de sus vasos con basura, cascajo y otros materiales, ya que estas prácticas las vuelven inoperantes. Las autoridades municipales deben inhibir que los vasos sean receptores de materiales de desecho 💧

Referencias

- Bladé, E., et al. (2014). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* (30) 1.
- Colegio de Ingenieros Civiles de México, CICM (2016). *Diseño de sistemas de presas de gaviones*. México.
- Conagua (2017a). Memorando SGT B00.7.616 del 13 de septiembre de 2017. Periodos de retorno para la determinación del gasto de diseño de obras hidráulicas.
- Conagua (2017b). Determinación de la avenida de diseño. Presa Nazario Ortiz Garza, Coah. Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos.
- Conagua (2017c). Informe de inspección. Presa Los Burros, Chih. Gerencia del Consultivo Técnico.
- Conagua (2020). Sistema de Seguridad de Presas. <https://presas.conagua.gob.mx/inventario/>
- Federal Emergency Management Agency, FEMA (2004). Federal guidelines for dam safety, hazard potential classification system for dams.
- Google Earth Pro (2018). Versión 7.3.1.4507.
- Iber (2017). <http://iberaula.es/space/54/downloads>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2016). Boletín de prensa 270/16. Encuesta Nacional de los Hogares. Aguascalientes.
- Inegi (2017). Simulador de Flujos de Agua de Cuenas Hidrográficas (SiatlV3.2). http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#
- Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, LAN (2004). México.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2010). Manual on small earth dams. A guide to siting, design and construction.
- Paterson, K. W. (2007). Dorrigo Flood Study. Final Report. Grafton: Bellingen Shire Council.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SCFI (2018). <https://www.sinec.gob.mx/SINEC/Vista/Normalizacion/BusquedaNormas.xhtml>

Las presas en México

La operación de las presas es compleja y su manejo requiere modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos.

BLANCA JIMÉNEZ CISNEROS
Directora general de la Comisión Nacional del Agua.

En un país tan heterogéneo y extenso como México, las presas aseguran el abasto de agua a sectores importantes de la población, posibilitan actividades fundamentales como la agricultura, protegen a la gente ante eventos meteorológicos extremos y generan incluso energía eléctrica. En México existen un total de 6,325 presas y bordos de almacenamiento.

La mayoría son públicas: 3,618 son de la Comisión Nacional del Agua (Conagua); la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (incluida la Comisión Nacional de Zonas Áridas) tiene 995; diferentes gobiernos estatales y municipales controlan 275, y la Comisión Federal de Electricidad (CFE), 60. El resto es de otras dependencias federales, de la Comisión Internacional de Límites y Aguas o de particulares.

La función de las presas de la CFE es generar energía eléctrica aprovechando la caída de agua para hacer funcionar grandes turbinas que producen y conducen electricidad.

Las presas de la Conagua tienen varios objetivos. Aunque en algunas también se genera electricidad, la gran mayoría almacenan agua; controlan

inundaciones –protegiendo a la gente y su patrimonio– o ayudan a conducir el agua a sitios en donde se requiere. En este último caso se llaman presas derivadoras. El objetivo fundamental de las presas de la Conagua es suministrar agua a centros de población o a la agricultura. Esta actividad se mantiene durante la actual contingencia sanitaria para abastecer a la población y mantener la viabilidad del campo.

La comisión opera también presas para control de inundaciones, conocidas como “rompe picos”. Éstas mantienen un bajo nivel de agua o incluso permanecen vacías, como ocurre en varias que están al poniente de la Ciudad de México.

La operación de las presas es compleja y su manejo requiere modelos matemáticos, hidrológicos e hidráulicos que permiten tomar decisiones a partir de políticas de operación.

Se utiliza además una combinación de pronósticos de lluvia (con complejos modelos del Servicio Meteorológico Nacional) y modelaciones hidrológicas del área técnica de la Conagua.

Definir cuándo se desfoga, es decir, cuándo se permite la salida controlada del agua, es una decisión compleja

y con muchas variables que evalúan expertos, como la humedad del suelo en la zona y de aguas arriba de la presa, debido a que, al inicio de la época de lluvias y en especial si ha habido sequía, la mayor parte del agua la absorbe el suelo antes de dejarla escurrir.

Cuando hay lluvias extremas o fenómenos como huracanes, muchas acciones se realizan sin que la gente se entere, ya que los expertos trabajan las 24 horas del día.

La operación de estos embalses es posible por la capacidad del personal especializado y de la estrecha comunicación entre las diferentes áreas técnicas de la Conagua, pero también gracias a las sesiones semanales del Comité Nacional de Grandes Presas, donde se toman decisiones colegiadas entre diferentes dependencias de gobierno, académicos y expertos en diferentes materias.

Es un andamiaje institucional que ha llevado mucho tiempo construir, que opera las 24 horas, que reduce la vulnerabilidad ante los fenómenos naturales –en especial de las comunidades más desprotegidas– y responde oportunamente ante situaciones de emergencia 💧

Problemas estructurales de los organismos operadores ante el Covid-19

La velocidad de transmisión del virus SARS-CoV-2 y la imposibilidad de enfrentarlo con medidas biomédicas orilló a los gobiernos de todos los países a implementar medidas extremas de contención física. La reducción de la movilidad en espacios públicos, el confinamiento en casa y la paralización de las actividades económicas fueron impuestos de manera urgente.

En la estrategia de contención, los servicios de agua son fundamentales. No obstante, en escala global, sus capacidades son desiguales.

En países de ingreso medio y bajo, las debilidades estructurales de los organismos operadores de los sistemas de agua, alcantarillado y saneamiento (OO) son una realidad reconocida desde hace años. Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2006), “algunos de los problemas comúnmente asociados con el bajo rendimiento de las empresas públicas de servicios escapan en gran medida al control de dichas empresas: los organismos gubernamentales no pagan sus facturas del agua; los controles sobre los precios impuestos a los servicios no se corresponden con los subsi-

dios financieros requeridos; y falta un mandato para atender a los asentamientos más [...] la corrupción, la dependencia de la ayuda y de los programas de desarrollo, el clientelismo, la inestabilidad política y el autoritarismo”.

Todo ello genera preocupación e incertidumbre sobre la capacidad que tienen para proveer los servicios de agua de manera sostenida durante la emergencia sanitaria. Tal es el caso de nuestro país.

Lo estructural

Es difícil determinar cómo la emergencia sanitaria afectará a los OO, pero es razonable inferir que los impactos

FERNANDO C. REYNA GUZMÁN
Director general de Akvo, Gestión del Conocimiento de Agua.

a la economía del país repercutirán en su ya mermada capacidad de operación. Entre dichos impactos, la caída en la cobranza, que ya se observa, tendrá efectos adversos en su capacidad para hacer frente a erogaciones esenciales, como el pago de energía eléctrica y de salarios a sus trabajadores.

Resulta conveniente, por tanto, hacer una revisión rápida de la situación de estos servicios públicos esenciales, sugerir algunas vías para paliar la emergencia y, sobre todo, hacer un llamado urgente para diseñar e implementar una política nacional que atienda de fondo la problemática de los OO.

Gasto y factura eléctrica

Los OO son consumidores intensivos de energía (Inegi, 2016). Cualquier incremento en las tarifas de energía eléctrica provoca un aumento inmediato en los costos de operación. No obstante, por su naturaleza pública, los OO no pueden transferir de manera instantánea estos aumentos, ya que las tarifas que pagan los usuarios son fijadas fuera de las reglas de mercado –y “la tarifa no es la principal vía del financiamiento, ya que en muchos casos no cubre ni siquiera los costos operativos y administrativos” (Aguilar y Monforte, 2018)–. Por ello es frecuente que los flujos financieros de los OO sean insuficientes para cubrir los costos operativos.

Esta situación se ha recrudecido desde 2018. “La reforma energética de 2013 tuvo dentro de sus objetivos reducir las tarifas eléctricas, pues se consideraban elevadas y poco competitivas. El precio de la electricidad para los usuarios industriales era 25% más elevado al compararse con los aplicados en Estados Unidos aun después del subsidio que los favorecía. Si bien esta modificación normativa resultó económicamente benéfica para algunos usuarios y sectores, hubo usuarios severamente afectados. Los sistemas de agua potable y saneamiento fueron uno de estos grupos” (ANEAS, 2019). Éste, que constituye un verdadero problema, obliga a los OO a disminuir la operación de equipos electromecánicos, dejar de operar plantas de tratamiento (De la Vega, 2012) o posponer el pago de la factura eléctrica.

En 2019 el vocero del Organismo Intermunicipal Metropolitano de Agua Potable, Alcantarillado, Saneamiento y Servicios de San Luis Potosí señaló que “ante el incremento de más del 100% en el cobro de la energía eléctrica que se dio el año pasado, no se descarta que en algún momento el OO no tenga capacidad suficien-

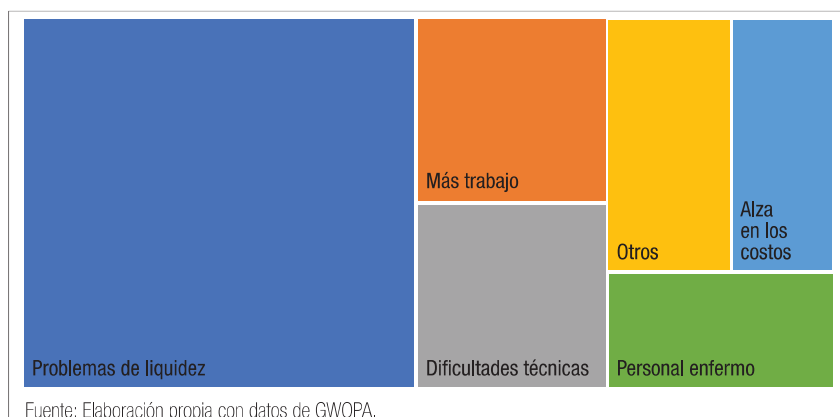


Figura 1. Principales problemas de los organismos operadores de agua ante el Covid-19.

te para soportar el gasto [...] lo que podría afectar la operatividad de los pozos” (Vázquez, 2019).

Facturación y cobranza

En promedio, los OO facturan 56 de cada 100 litros producidos (eficiencia física), y el cobro efectivo es del 68% de las facturas emitidas (eficiencia comercial). Esto significa que los ingresos por cobranza sólo cubren el 38% del costo de los servicios (eficiencia global) (IMTA-Banobras, 2018).

Pérdidas altas y baja cobranza constituyen una mezcla tóxica para la sostenibilidad de los OO. De ahí que una reducción en los ingresos por cobranza ponga en situación de alto riesgo la operación de los servicios, considerando que el suministro de agua representa el 69.3% de sus ingresos (Inegi, 2016).

Oferta y consumo de agua

La disponibilidad hídrica natural, la distribución demográfica y la situación socioeconómica del país es contrastante.

La mayor cantidad de agua disponible se concentra en los estados del sur-sureste (67%). En los estados del centro y norte, que son los más urbanizados, habita el 76% de la población, se concentra la mayor actividad económica (82% del PIB)

y únicamente disponen del 33% del agua susceptible de ser utilizada (Conagua, 2017).

Los OO deben trabajar en este contexto, al que se adicionan tres fenómenos: 1) el crecimiento demográfico: según el Inegi, en 1950 poco menos de 43% de la población en México vivía en localidades urbanas, en 1990 era de 71% y para 2010 esta cifra aumentó a casi 78%; 2) la falta de planeación urbana-territorial; 3) la variabilidad espacial y temporal de las lluvias: según el Inegi (2016), los OO extraen el 65% del agua de fuentes de agua subterráneas, y el restante, de fuentes superficiales; y 4) la sobreexplotación de los acuíferos: al 2017, 105 de los 653 identificados en el país presentaban algún grado de sobreexplotación, por lo que no se puede incrementar la oferta (Conagua, 2017). Se estima que alrededor de 60 millones de personas habitan en zonas con acuíferos sobreexplotados (Marín, 2017).

En estas condiciones, y con pérdidas de 40% en promedio en la red de distribución (OCDE, 2016), mantener la oferta actual de agua, que se estima entre 183 y 319 litros por habitante al día (l/h/d), es un reto ahora, y en el mediano y largo plazo será un problema monumental (Conagua, 2013; IMTA-Banobras, 2018).

Dejar de proveer a la población los servicios de agua y alcantarillado tendría impactos inmediatos en la salud y el bienestar de las personas, sumado a la tensión social; dejar de operar plantas de tratamiento de aguas residuales provocaría daños a los ecosistemas (sociales y biológicos) en proporciones que no podríamos ni siquiera cuantificar.

La coyuntura

La pandemia de SARS-CoV-2 ha desdibujado al mundo, que ha ido de la incredulidad a la subestimación, de la curiosidad a la intriga, de las acciones espectaculares al pasmo, de la preocupación al desconcierto. Y ahora, el llamado a la “nueva normalidad” parece más un eufemismo para denominar el terreno de la incertidumbre donde nos moveremos.

En uno de esos amaneceres iniciales del confinamiento nos enteramos de que los servicios básicos, como los de agua potable y saneamiento, no sólo eran esenciales para nuestra vida diaria, sino, literalmente, para nuestra supervivencia.

Pero su aparición en escena fue de golpe y porrazo. Si los servicios de salud tuvieron poco tiempo para prepararse, los servicios de agua no lo tuvieron. Y, sin embargo, han estado realizando sus actividades al máximo de sus capacidades.

De ahí que reflexionar de manera permanente sobre su situación no es ocioso. Su importancia en la salud pública es indudable; y ahora, el papel que desempeñan en la contención de la epidemia, central.

Lo global

El 19 de mayo pasado, la Global Water Operators' Partnerships Alliance (GWOPA, por sus siglas en inglés) realizó el seminario web “Slowing the spread in slums” (GWOPA, 2020), y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) efectuó otro denominado “Gestión y gobernanza en agua y

saneamiento durante la crisis” (BID, 2020). Ambos abordaron los problemáticas de los OO de distintos países y expusieron los impactos y las medidas que han tomado frente a la pandemia.

En la figura 1 se muestra que el 50% de los participantes en el seminario de GWOPA señalan a la caída en la cobranza como su principal problema.

A la pregunta sobre cuál es el apoyo más importante que requieren para continuar brindando los servicios durante la pandemia, el 59% refirió a los recursos financieros.

Por su parte, en el seminario del BID, el Stockholm International Water Institute (SIWI) mostró que los OO de la región de América Latina coinciden en señalar que necesitan apoyos financieros para continuar operando.

Es importante acotar que, en los OO de los países consultados, los gobiernos dispusieron medidas legales para realizar reconexiones por falta de pago y para suspender acciones coactivas de cobro, y elaboraron planes para diferir o incluso exentar el pago a consumidores domésticos hasta por tres meses.

En cuanto a la forma en que han venido operando en esta fase de la epidemia, los OO han implementado medidas generales de distanciamiento social y de protección para sus trabajadores; sin embargo, no tienen claro cómo, en las condiciones actuales de insuficiencia financiera, habrán de mantener el servicio; y una vez concluida la parte aguda, cómo

operarán en un entorno de recesión económica y desconocen cuáles serán los impactos en los proyectos de infraestructura planeados.

Lo local

En México, por ahora no se tiene información sistematizada que pueda orientar sobre los efectos que las medidas de contención tomadas están teniendo en la operación de los sistemas de agua.

El Consejo Consultivo del Agua (CCA) señaló que la caída en la recaudación rondaría el 50% (Martínez, 2020). Si bien no es posible corroborar esa estimación, es muy probable que la contracción económica impactará los ingresos de los gobiernos y, el caso de algunos servicios, como el del agua, no será la excepción. “La magnitud del *shock* económico no tiene precedentes; tampoco debería tenerlos la respuesta. Las previsiones ofrecen cifras mareantes, como una caída del PIB global de entre el 10 y el 15% y una pérdida del 50% de los ingresos fiscales” (Fanjul y Ramírez, 2020).

Como se señaló líneas arriba, con los niveles de cobranza regulares los OO cubren sólo el 38% de sus costos, por lo que una disminución en la recaudación es una señal de alarma en cuanto a si estos organismos podrán mantener en operación los servicios.

Otro fenómeno que se ha mencionado es el relativo al incremento en los consumos de agua. Al respecto, la Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento de México (ANEAS) y la Conagua han referido un aumento de entre el 25 y el 50% (Martínez, 2020; Jiménez, 2020).

De confirmarse el aumento en los consumos, éstos presionarán aun más el deterioro financiero de los OO, porque se incrementará el monto del pago de derechos que se pagan a la Conagua, mismos que constituyen el

tercer mayor costo de operación, con 16.1% en promedio (Inegi, 2016).

Lo comunal

Hasta donde se ha reseñado, las referencias a los OO han sido claramente orientadas a aquellos que proveen los servicios en zonas urbanas. Ello porque, como se señaló, la mayoría de las personas habita en ciudades y es factible observar una correlación entre número de habitantes de una población y los niveles de contagio. El gobierno de México tiene en su plataforma de datos abiertos la base de datos de los casos diarios por municipio. Haciendo un ejercicio de correlación entre la población y el número de casos confirmados, el coeficiente de correlación múltiple es 0.761, lo que confirma a primera instancia que a mayor población, más casos (Gobierno de México, 2020).

Esto no significa que las zonas rurales deban dejarse en segundo plano. Al contrario, tienen que ser una prioridad. Por tanto, es necesario reforzar el acceso a los servicios esenciales de salud y los de agua y alcantarillado. En tal sentido, es importante que las acciones emergentes que se han establecido para su atención continúen, en tanto que los programas normales se reanuden cuando la contingencia sanitaria lo

permita. No deben suspenderse estos programas aun en condiciones de precariedad presupuestal.

La nueva normalidad

En las próximas semanas habrán de instrumentarse medidas de desconfinamiento y se podrá tener más información sobre la magnitud del impacto de estas medidas en los OO.

Considerando que la mayoría de los usuarios pagan los servicios de manera presencial—según el Inegi sólo el 31% de usuarios de internet lo utiliza para “interactuar con el gobierno” y 15.4% para operaciones bancarias—, es probable que las oficinas recaudadoras pueden estar en condiciones de recibir a los usuarios, pero no hay certeza de que se regrese a los niveles de recaudación anteriores a la implantación de las medidas de contención. Se espera que la contingencia tendrá fuertes impactos sobre las economías locales (comercios, industrias, servicios), y por consiguiente habrá un aumento en la desocupación. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe estima un incremento en el desempleo del 11.5% para el año 2020 (Bárcena y Pinheiro, 2020); el presidente de México estimó que por la epidemia se perderán un millón de empleos (*El Financiero*, 2020), y más recientemente

el Banco de México calcula que por la contingencia se perderán 1.4 millones de empleos.

Quizá por ello, a diferencia de sus contrapartes en otros países del mundo, los gobiernos locales no han publicitado la implementación de medidas tendientes a apoyar a los usuarios de los servicios de agua para cubrir sus adeudos.

Respecto a las medidas de protección del personal de los OO, no se ha documentado alguna disposición específica. Para el caso de los trabajadores administrativos se estimaría que han seguido los protocolos establecidos por el gobierno federal de México en relación con espacios públicos cerrados (Gobierno de México, 2020), pero se desconocen las medidas de protección de los trabajadores operativos, ya que generalmente se conforman en cuadrillas.

Recomendaciones emergentes

La epidemia plantea retos formidables de corto plazo a los OO. El más importante es el referente a su situación financiera, que puede comprometer aun más la operación, al grado de llevar a colapsos en los sistemas.

Dejar de proveer a la población los servicios de agua y alcantarillado tendría impactos inmediatos en la salud y el bienestar de las personas, sumado a la tensión social; dejar de operar plantas de tratamiento de aguas residuales provocaría daños a los ecosistemas (sociales y biológicos) en proporciones que no podríamos ni siquiera cuantificar.

Por tanto, el llamado es a la urgente necesidad de encontrar alternativas inmediatas para impedir llegar a situaciones que se traduzcan en mayores penurias a la población y se conviertan en obstáculos para la reactivación económica.

En ese sentido, se debería considerar lo siguiente:

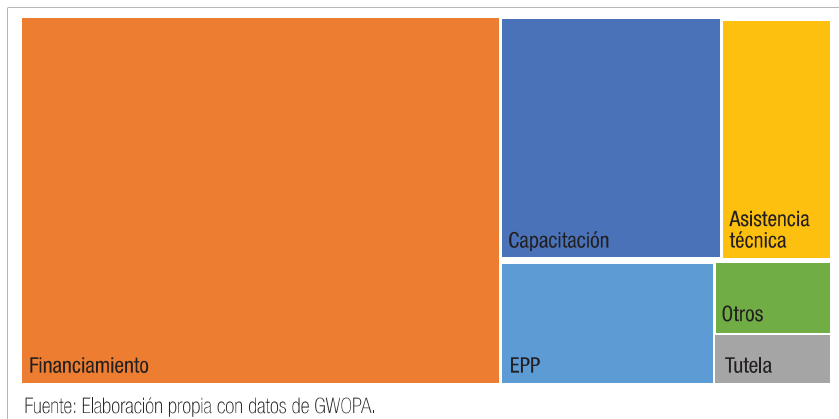


Figura 2. Necesidad de apoyo para continuar brindando los servicios durante la epidemia de Covid-19 (mayo de 2020).

A. Acciones emergentes de apoyo a la operación

El objetivo de estas acciones deberá ser asegurar la provisión de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento priorizando localidades que pudiesen presentar riesgos de suspensión derivados de los efectos de las medidas de contención epidémica.

• Apoyos federales

- Revisar, y en su caso modificar, las Reglas de Operación de los programas de la Conagua, a efecto de utilizar una parte de los recursos a pagos emergentes en áreas sustantivas para la operación de los servicios, en especial el Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento (Proagua) en sus apartados urbano (Apaur), Desarrollo Integral de Organismos Operadores de Agua y Saneamiento (Prodi), Agua Limpia (AAL) y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (APTAR) (DOF, 2019a).
- En el marco del artículo 14 transitorio de la Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2020, diseñar esquemas de pago con la Comisión Federal de Electricidad, para que los OO puedan incorporar los adeudos no cubiertos derivados de las medidas de contención sanitaria (DOF, 2019b).

• Apoyos estatales

- A los apoyos que se han otorgado a las empresas locales, sumar transferencias directas de recursos a los OO por un monto equiparable a la caída de la cobranza de los usuarios no domésticos derivada de las medidas de contención sanitaria.

• Apoyos municipales

- Implementar medidas para transferir recursos financieros a los OO por la caída en la cobranza

Se espera que la contingencia tendrá fuertes impactos sobre las economías locales (comercios, industrias, servicios), y por consiguiente habrá un aumento en la desocupación. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe estima un incremento en el desempleo del 11.5% para el año 2020; el presidente de México estimó que por la epidemia se perderán un millón de empleos, y más recientemente el Banco de México calcula que por la contingencia se perderán 1.4 millones de empleos.

de usuarios domésticos que se vieron afectados.

- Implementar, de conformidad con las normativas existentes, esquemas de exención, reducción o diferimiento de los pagos para apoyar a los usuarios domésticos que pudiesen estar en situación de impago derivada de la contingencia.

Es importante que los OO informen a la sociedad sobre las condiciones de los servicios, a efecto de activar mecanismos de solidaridad social respecto al uso racional del agua.

Además, las autoridades sanitarias y del trabajo (federales y estatales) deberán implementar a la mayor brevedad posible programas específicos para proteger la salud del personal de los OO, en particular de los que laboran en campo.

B. Diseño de una política nacional para la operación del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento

En nuestro país, los servicios públicos esenciales presentan alarmantes niveles de deterioro, situación que ha ido agravándose año con año.

Una de las lecciones que nos deja la pandemia es que ya no se puede considerar a la racionalidad económica como el mecanismo para distribuir el bienestar colectivo.

Transitar hacia la recomposición de las estructuras institucionales y organizativas que mandatan al Es-

tado proveer bienestar a la población demanda cambiar el foco: la equidad e igualdad deben estar en el centro del debate público administrativo.

En el tema de los servicios de agua, los municipios son el actor principal. Tienen la encomienda constitucional de su prestación, pero no se les puede regatear el acompañamiento institucional (federal y estatal) para que puedan gestionar, de manera adecuada, esos servicios esenciales para el bienestar social.

Sí, la operación de los servicios es local, pero la implementación de la política para lograrlo es una responsabilidad nacional 💧

Referencias

- Aguilar B., I., y G. Monforte (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: el caso del área metropolitana de Monterrey. *Gestión y política pública* (1) 27. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792018000100149&lng=es&tlng=es.
- Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento, ANEAS (2019). Las tarifas eléctricas y su impacto en los sistemas de agua potable y saneamiento de México. Disponible en: <https://aneas.com.mx/las-tarifas-electricas-y-su-impacto-en-los-sistemas-de-agua-potable-y-saneamiento-de-mexico/>
- Banco Interamericano de Desarrollo, BID (2020). Agua, saneamiento y residuos sólidos en tiempos de coronavirus: La gestión de los servicios durante la crisis. Disponible en: <https://events.iadb.org/calendar/event/22092/documents>
- Bárcena, A., y V. Pinheiro (2020) *El trabajo en tiempos de pandemia: Desafíos frente a la enfermedad por coronavirus (Covid-19)*. Comisión Económica para América Latina, CEPAL, y Organización Internacional del Trabajo, OIT Disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/ppt_version_final_oit-cepal-_covid-19_-_21-05-20.pdf

Conagua (2013). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Semarnat.

Conagua (2017). Estadísticas del Agua en México.

De la Vega, M. (2012). *Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales*. México: Sedesol-Refugia. Centro para la Conservación de la Ecobiodiversidad A. C.

Diario Oficial de la Federación, DOF (2019a). Decreto por el que se expide la Ley de Ingresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2020. Recuperado mayo de 2020, disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5579707&fecha=25/11/2019

DOF (2019b). Reglas de operación para el Programa de Agua Potable, Drenaje y Tratamiento a cargo de la Comisión Nacional del Agua, aplicables a partir de 2020. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5583232&fecha=31/12/2019

El Financiero (2020). Se perderán 1 millón de empleos: AMLO. Disponible en: <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/se-perderan-1-millon-de-empleos-por-covid-19-amlo>

Fanjul, G., y O. Ramírez (2020). Cinco reflexiones sobre la crisis de la Covid-19 y el impacto en países pobres. *El País*. Disponible en: <https://>

[elpais.com/elpais/2020/03/14/3500_millonos/1584201502_545688.html](https://www.elpais.com/elpais/2020/03/14/3500_millonos/1584201502_545688.html)

Global Water Operators' Partnerships Alliance, GWOPA (2020). Slowing the spread in slums. Disponible en: https://my.workplace.com/groups/2721618681401146/?multi_permalink=2733611423535205%2C2733545576875123¬if_id=1589875436730078¬if_t=work_group_activity

Gobierno de México (2020) Lineamiento general espacios públicos cerrados en Covid-19 Versión 2020.3.27. Disponible en: https://coronavirus.gob.mx/wp-content/uploads/2020/03/Lineamiento_Espacio_Cerrado_27032020.pdf

IMTA-Banobras (2018). Programa de Modernización de las Áreas Comerciales de Organismos Operadores de Agua.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi (2016). Panorama censal de los organismos operadores de agua en México 2014.

Inegi (2019). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Internet (17 de mayo) Comunicado de prensa 252/19. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/internet2019_Nal.pdf

Jiménez, B. (2020). Mesa de diálogo "El agua como principal aliado contra el Covid-19". Disponible en:

<https://www.facebook.com/pages/category/Cause/Agua-Capital-204472666810923/>

Marín, N. (2017). Crece sobreexplotación de mantos acuíferos en México; el agua está en riesgo. *El Sol de México*. Disponible en: <https://agua.org.mx/crece-sobreexplotacion-mantos-acuiferos-en-mexico-agua-esta-en-riesgo/>

Martínez, E. (2020). En plena emergencia, disminuyen 50% pagos de agua: CCA. *El Herado de México*. Disponible en: <https://heraldodemexico.com.mx/mer-k-2/pago-del-agua-durante-cuarentena-consejo-consultivo-del-agua-aneas/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (2016). *Water governance in cities*. OECD Studies on Water. París.

Vázquez, M. (2019). Tarifas de electricidad afectan a organismos de agua: Interapas. *El Universal*. Metrópoli. Disponible en: <https://sanluis.eluniversal.com.mx/metropoli/12-04-2019/tarifas-de-electricidad-afectan-operatividad-de-organismos-de-agua-interapas>

WorldWater Assessment Programme, WWAP (2006). *El agua: una responsabilidad compartida*. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000144409_spa

XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica



XXVI Congreso Nacional de Hidráulica

ARTÍCULOS TÉCNICOS

Las fechas clave para la entrega y recepción de trabajos se muestran en la siguiente tabla. Por la importancia y tiempos que requieren los procesos de gestión de las ponencias, les solicitamos de la manera más atenta que registren y respeten estas fechas, lo que permitirá, una vez pasado el proceso de evaluación, realizar y garantizar una adecuada coordinación y planeación de su participación durante el evento:

ETAPA	FECHA FINAL
I. Recepción de resúmenes extendidos.	30 de septiembre
II. Notificación de aceptación de resúmenes extendidos.	24 de octubre
III. Envíos de trabajos completos.	8 de enero 2021
IV. Notificación de trabajos.	01 de marzo 2021

www.openconf.org/CLH2020/openconf.php

amh.org.mx
congresolatamiahr.com

Nueva fecha



La ecuación original de Bernoulli y su interpretación moderna

Por más que busque el lector en el libro *Hydrodynamica*, de Daniel Bernoulli, la forma actual de la ecuación que se le atribuye, no la podrá encontrar; sin embargo, el análisis que él realizó entre la relación presión-velocidad fue de gran impacto, así como muchas otras relevantes aportaciones presentadas en su libro, que sin embargo no son asociadas a su nombre.

Hunter Rouse (1957), autor del hermoso libro *History of hydraulics*, consideraba que los estudiantes de doctorado debían conocer el origen de las ecuaciones que empleaban y solicitaba a sus alumnos que hicieran una monografía sobre los autores menos conocidos. Dado que es poco común que los investigadores dominen el latín, lengua en la que solían escribir los hombres de ciencia de siglos pasados, y reconociendo esta carencia, Rouse pidió a dos estudiantes que podían leer en latín que tradujeran los trabajos sobre el movimiento de fluidos: *Hydrodynamica* (1738) de Daniel Bernoulli (1700-1782) e *Hydraulica* (1732) de su padre Johann Bernoulli (1667-1748); y es así que Thomas Carmody (italiano) y Helmut Kobus (alemán) tradujeron al inglés ambos libros. Gracias a este gran trabajo, publicado en 1968, se puede conocer cómo y qué escribieron estos autores, miembros de una familia destacada por sus aportaciones a la ciencia.

En la figura 1 se muestra un recipiente de sección transversal muy grande con respecto a la del tubo horizontal conectado a este recipiente. Conforme a lo que presenta Daniel Bernoulli en su libro, la variable a , además de corresponder a un punto en el tubo horizontal, también es la distancia vertical desde la superficie libre hasta el centro del tubo. La variable c , además de corresponder al punto mostrado en la figura, también es la distancia entre los puntos E y c , dx es la distancia entre b y d , y dv es la variación de la velocidad entre estos puntos cuando el orificio O que se tiene al final del tubo es retirado.

Con base en su deducción, Daniel Bernoulli llegó a la siguiente relación:

$$\frac{v dv}{dx} = \frac{a - v^2}{2c} \quad (1)$$

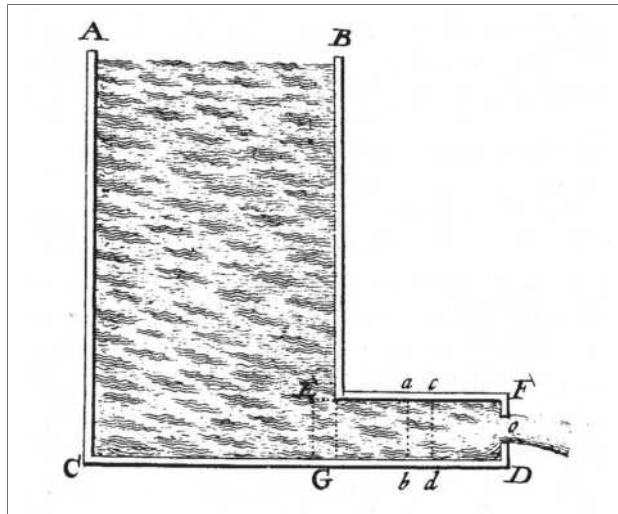


Figura 1. Dispositivo empleado para deducir la paradoja de Bernoulli.

donde la aceleración $v(dv/dx)$ es la que se requiere para aumentar la velocidad dentro del conducto cuando la pared FE es retirada; para lograr esta aceleración, Bernoulli concluyó que debía ser proporcional a la presión p e hizo una serie de razonamientos para concluir que la presión es proporcional a la carga a . Como se puede observar, la ecuación 1 no es parecida a la que ahora se conoce como ecuación de Bernoulli, por lo que es necesario seguir paso a paso su deducción y conocer cómo se interpretó en su tiempo.

En la forma actual del llamado “principio de Bernoulli”, la relación presión-velocidad dentro de un tubo horizontal con cambios de sección transversal y en cuyo movimiento no se consideran pérdidas de energía es:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = cte \quad (2a)$$

siendo ρ la densidad del líquido; al dividir entre el peso específico $\gamma = \rho g$ resulta:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = cte2 \quad (2b)$$

donde p/γ es la carga de presión, y $v^2/2g$ es la carga de velocidad.

La figura 2 muestra la variación de las cargas de velocidad y de presión cuando en un conducto éste disminuye su diámetro.

San Petersburgo

En 1725, cuando Daniel tenía 25 años y era un médico con extensa formación matemática y ya reconocido por

publicaciones como *Ejercitaciones matemáticas* y sus artículos en la revista *Acta Eruditorum*, entre otras, fue contratado como profesor de fisiología en la sección de física de la Academia de Ciencias de San Petersburgo. Ahí fue el precursor de una escuela de fisiología mecánico-matemática que pronto alcanzó fama internacional. Con el deseo de que esta escuela fuera capaz de competir con las existentes en la Europa occidental, Daniel invitó a la academia a su amigo y compañero de estudios en Basilea, Leonhard Euler, quien, al igual que él, había sido discípulo de Johan Bernoulli, su padre.

En los años siguientes, Bernoulli y Euler trabajarían en muchos problemas comunes, tanto por separado como en conjunto; ambos harían descubrimientos relativos a los sólidos y a los fluidos. Mientras que a Daniel, además de los modelos matemáticos, le gustaba experimentar en el laboratorio, Euler, uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos, se centraba más en el modelo matemático y así realizó importantes aportaciones a la mecánica de fluidos.

Uno de los problemas a los que se dedicó Bernoulli fue el de determinar la presión del agua que se desplazaba por una tubería; inicialmente hizo varios intentos pero no lo pudo conseguir hasta que se inspiró en William Harvey (1578-1657), un médico inglés al que se le atribuye haber descrito correctamente, por primera vez, la circulación y las propiedades de la sangre al ser distribuida por todo el cuerpo a través del bombeo del corazón. En uno de sus escritos describió cómo cuando se pincha una arteria la sangre brota con violencia. Durante el curso de un latido completo, el chorro de sangre sale proyectado primero a mayor distancia, luego a menor; el caso del chorro más grande se da cuando el corazón se contrae.

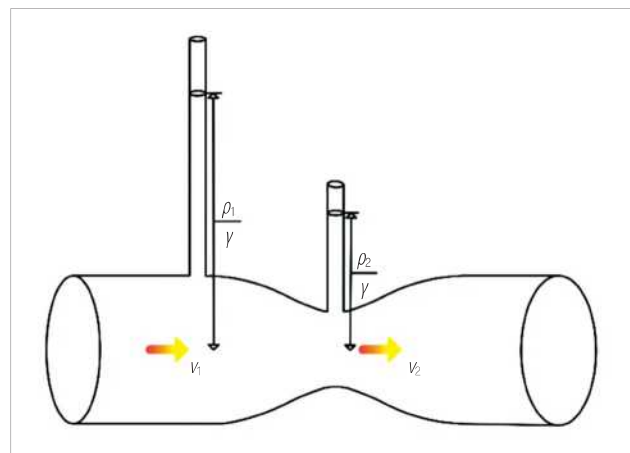


Figura 2. Variación de la presión debida a la variación en la velocidad.

Con base en el descubrimiento de Harvey, Bernoulli razonó que la altura de la sangre que brotaba era una medida directa de la presión en el interior de la arteria; a mayor presión arterial, mayor altura del chorro. Conforme el corazón se contrae y se relaja, aumenta o decrece la presión sanguínea; las elevaciones y las depresiones corresponden a lo que los médicos llaman presión sistólica y presión diastólica, respectivamente.

Bernoulli perforó la pared de una tubería y a ese orificio le aplicó el extremo de un tubo de vidrio de mucho menor diámetro (véase figura 3). Al dejar que el agua circulara por la tubería observó que el agua subía por el tubo de pequeño diámetro y constató que a mayor presión dentro del tubo grande, mayor era la altura dentro del tubo de diámetro pequeño, que ahora es conocido como piezómetro.

El descubrimiento de Bernoulli, además de tener aplicación en los conductos de suministro de agua, la tuvo en la fisiología, pues los médicos aplicaron pequeños tubos capilares a sus pacientes para conocer su presión sanguínea; esta técnica se empleó hasta 1896, cuando fue sustituida por el uso del esfigmomanómetro para medir la presión arterial.

A todos los científicos de San Petersburgo se les exigía escribir un tratado científico. Daniel propuso un tratado sobre fisiología, pero la primera parte sería dedicada a los problemas de la mecánica de fluidos y la segunda a sus aplicaciones en la fisiología. La idea de construir una teoría rigurosa de la hidráulica que apoyaría a la investigación sobre fisiología justificó su pase a la cátedra de matemáticas en 1730. El proyecto de investigación sobre fisiología mecánico-matemática concebido por Daniel era demasiado ambicioso para la época, sobre todo porque la mecánica de fluidos estaba insuficientemente desarrollada.

Al término de su contrato, Bernoulli no había concluido su tratado de mecánica de fluidos; no obstante, dejó una gran cantidad de artículos que ilustran cómo fueron desarrollándose sus ideas fundamentales para la conformación de su obra maestra sobre hidrodinámica. Daniel dejó en San Petersburgo un ejemplar de una primera versión manuscrita del tratado sobre hidrodinámica que posteriormente tendría el nombre de *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii* (Hidrodinámica o nota sobre las fuerzas y movimientos de los

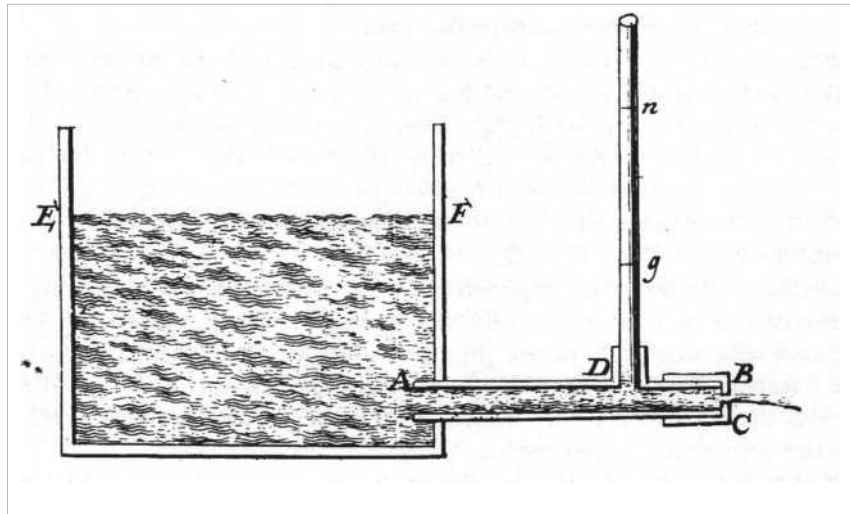


Figura 3. Piezómetro, dibujo original del libro *Hydrodynamica*.

líquidos). La segunda parte sobre las aplicaciones de la hidrodinámica a la fisiología nunca fue escrita.

Regreso a Basilea

En 1732 Daniel regresa a Basilea, donde es contratado como profesor de anatomía y botánica y además continúa y culmina su trabajo sobre hidrodinámica. Por las constantes correcciones a su obra y el largo trabajo de edición, su libro no fue publicado hasta 1738 en Estrasburgo. En la figura 4 se muestra la portada original.

En este libro, Bernoulli relaciona la hidrostática con la hidráulica y la llama hidrodinámica. Los nombres resumidos de los capítulos del libro son:

1. Introducción
2. Equilibrio de fluidos estáticos
3. Velocidad de los flujos
4. Problemas no permanentes
5. Flujo bajo carga constante
6. Oscilaciones de líquidos
7. Conservación de las fuerzas vivas
8. Pérdidas de fuerzas vivas
9. Movimiento de fluidos empujados no sólo por su propio peso, sino por una fuerza externa, particularmente por maquinaria hidráulica
10. Movimiento del aire y otros fluidos elásticos
11. Vórtices
12. Hidráulica-estática
13. Fluidos saliendo de recipientes y su ímpetu en las paredes sobre las cuales chocan

En la figura 5 se muestran algunas reproducciones de las figuras originales del libro. Es en el capítulo 12 en el que deduce la paradoja que lleva su nombre.

La paradoja de Bernoulli

La *vis viva* (fuerza viva) es el nombre que Leibniz asignó a las fuerzas que producen movimiento. Este concepto sólo se empleaba para sólidos. Según el principio de lo que ahora se llama energía, cuando se arroja un objeto hacia arriba siempre hay una compensación entre su *vis viva* y la altura a la que se encuentra.

La fórmula de Leibniz para la *vis viva* es:

$$vis\ viva = mv^2 \quad (3)$$

Como se puede observar, si en la expresión (3) mv^2 se divide entre 2, resulta ser la energía cinética:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (4)$$

El nombre completo del capítulo 12 es “Que muestra la estática del movimiento de fluidos, la cual yo llamo hidrostática”. En la sección 5 de este capítulo se incluye la figura 1 ya mostrada, que ahora se vuelve a presentar como figura 6 para incluir acotaciones que no se muestran en el texto original pero que sí son definidas. En esta sección se tiene el siguiente enunciado: “El recipiente muy ancho ACEB con un tubo cilíndrico y horizontal ED está constantemente lleno de agua; en el extremo del tubo se tiene un orificio O del cual sale agua con velocidad constante. Se desea encontrar la presión del agua sobre las paredes del tubo ED.”

Para seguir la deducción de Bernoulli hay que considerar que tanto la aceleración de la gravedad como la densidad son igual a 1. Las ecuaciones no fueron numeradas y la mayor parte están incluidas dentro de

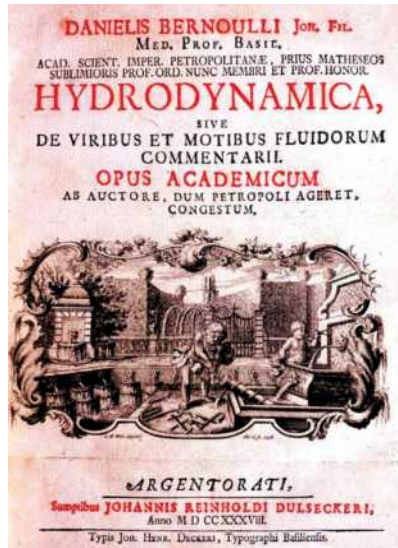


Figura 4. Portada del libro *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii*, de Daniel Bernoulli.

los párrafos, es decir, no se destacan; sin embargo, para facilidad en la lectura, en lo que sigue se presentarán algunas expresiones fuera de sus párrafos. La deducción presentada en *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum commentarii* es la siguiente:

a es la altura desde la superficie AB hasta el centro del orificio O ; la velocidad del flujo a través del orificio una vez que el flujo se establece y es constante es:

$$v_o = \sqrt{a}$$

La relación entre las áreas del tubo y la del orificio es:

$$n = \frac{A_{tubo}}{A_{orificio}}$$

Por tanto, la velocidad del agua dentro del tubo resulta:

$$v = \frac{\sqrt{a}}{n}$$

Si desaparece la pared FD , entonces la velocidad dentro del tubo sería $v = \sqrt{a}$, la cual es mayor que $v = \sqrt{a}/n$. Por tanto, el agua dentro del tubo tiende a incrementar su velocidad, la cual es obstruida por la pared FD . Por lo tanto, el agua en el tubo tiende a aumentar su movimiento, pero su presión es impedida por la pared FD . Así resulta una sobrepresión, la cual es transmitida a las paredes. En consecuencia, parece que la presión en éstas es proporcional a la aceleración o al aumento de velocidad que el agua recibiría si el obstáculo al movimiento desaparece instantáneamente y deja al fluido escapar hacia la atmósfera.

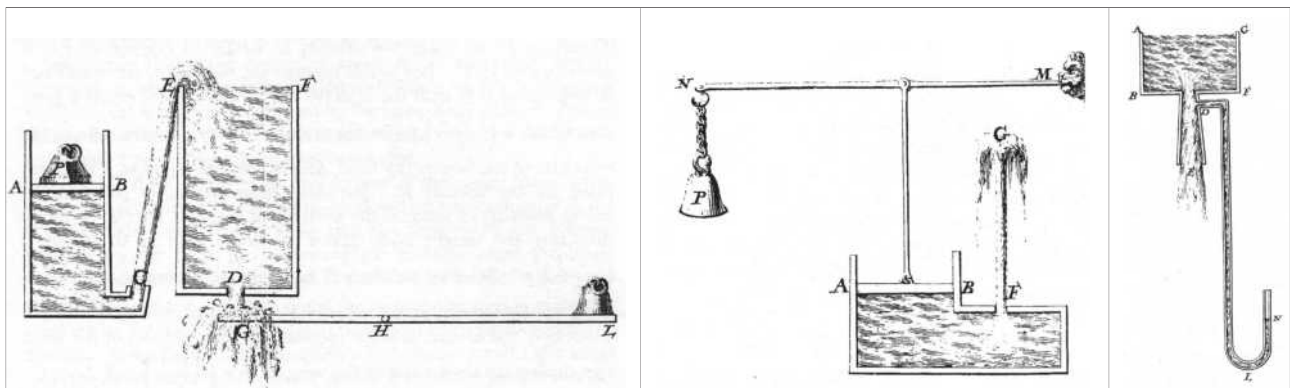


Figura 5. Figuras originales del libro *Hydrodynamica*.

El problema ahora se cambia a éste: si durante el flujo hacia el orificio O el tubo ED fuera cortado en cd instantáneamente, hay que determinar la aceleración que el volumen elemental $abcd$ debería recibir. Entonces se debe considerar el recipiente $ABEcaC$ y encontrar con su ayuda la aceleración que la partícula que tiene la velocidad $v = \sqrt{a}/n$ recibiría al escapar.

Sea v la velocidad variable del agua en el tubo ED , n el área del tubo, c la distancia E_c , el tamaño de la partícula en ac es infinitamente pequeño e indicado como dx . En el mismo instante siempre se tiene un volumen elemental entrando en E igual al otro que es expulsado por $abcd$.

Por otra parte, el volumen elemental en E , que tiene una masa ndx , al entrar al tubo adquiere una velocidad v , por lo que su fuerza viva es $nv^2 dx$, la cual es generada en su totalidad. Debido al gran tamaño del recipiente AE , antes de entrar a E la partícula no posee velocidad. A la fuerza viva $nv^2 dx$ se le suma el incremento de fuerza viva que el agua recibe en Eb , mientras que el volumen elemental ad fluye hacia fuera, la cual es $2ncv dv$. La suma de fuerza viva es igual al descenso real del volumen elemental ndx desde la altura BE , esto es, a . Por lo tanto se obtiene:

$$nv^2 dx + 2ncv dv = nadx$$

o

$$\frac{v dv}{dx} = \frac{a - v^2}{2c} \quad (5)$$

Por otra parte, en todo el movimiento el incremento dv de la velocidad es proporcional a la presión producida en el tiempo diferencial, el cual aquí es dx/v . Por ello, en este caso la presión que es ejercida en el volumen elemental ad es proporcional a $v dv/dx$, esto es, también proporcional a $(a - v^2)/2c$.

En el momento en el que el tubo se corta, $v = \sqrt{a}/n$ o $v^2 = a/n^2$, esta expresión es sustituida en $(a - v^2)/2c$, por lo que:

$$(a - v^2)/2c = (n^2 - 1) a/2n^2c$$

y esta es la cantidad en la cual la presión del agua sobre la porción ac es proporcional, cualquiera que sea el área del tubo y del orificio.

Si el orificio es infinitamente pequeño o n es infinitamente grande comparada con la unidad, es evidente que el agua ejerce totalmente la presión que corresponde a la altura a , una presión que designaremos como a . Pero entonces 1 desaparece en comparación con n^2

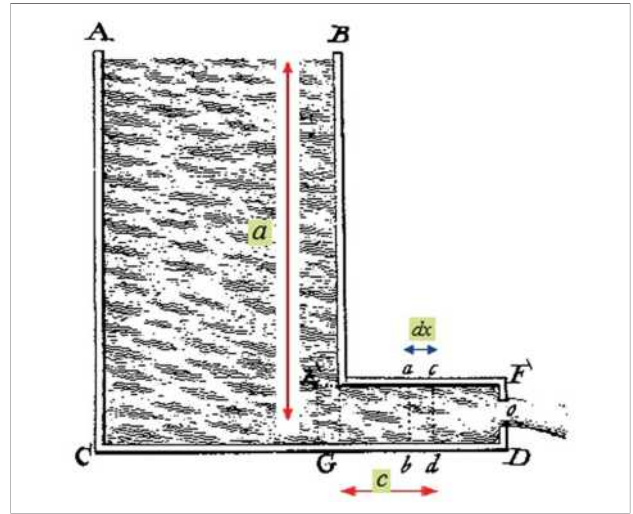


Figura 6. Figura original a la cual se le incluyen acotaciones.

y la presión es proporcional a $a/2c$. Si la cantidad $a/2c$ corresponde a la presión a , la presión correspondiente a la cantidad $(n^2 - 1) a/2n^2c$ será $(n^2 - 1) a/n^2$, la cual es una cantidad independiente de c .

Lo anterior es la base analítica de lo que se llamó el teorema de Bernoulli. A pesar del uso de cantidades que eran proporcionales en vez de iguales a las variables involucradas, las proporcionalidades en sí eran correctas. Sin embargo, Bernoulli en ningún sentido predijo la suma de los tres términos que ahora se asocian a su nombre.

La solución aquí presentada respeta la notación utilizada originalmente, en la cual se observa que se emplea la misma variable para diferentes conceptos, además de que no se utilizan acotaciones ni se numeran las ecuaciones. A diferencia del artículo original, aquí sólo se numeró la ecuación (5), que es a partir de la cual se explica la paradoja de Bernoulli.

Con base en el trabajo de Bernoulli y las posteriores aportaciones de Clairault y D'Alambert, es Leonhard Euler, en las memorias de la Academia de Ciencias de Berlín en 1755, quien presenta la ecuación que es atribuida a Bernoulli:

$$z \frac{\rho}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = cte \quad (6)$$

donde z es la carga de posición, ρ/γ es la carga de presión, y $v^2/2g$ es la carga de velocidad.

Interpretación moderna con base en el procedimiento de Bernoulli

Para el lector actual es difícil seguir las deducciones del escrito original, debido a la práctica común de tratar masa, peso y volumen en los mismos términos, así como

el hecho de que se hacía igual a 1 el valor de la densidad y de la masa; además, en vez del término de energía cinética se tenía el de la *vis viva*. Sin embargo, con base en el análisis de Bernoulli se puede llegar a una expresión que equilibra carga de presión y carga de velocidad.

Con un procedimiento similar al que presenta Levi (1989), en el que emplea energía cinética en vez de *vis viva*, y siguiendo el razonamiento de Bernoulli y respetando su notación, pero con los conceptos actuales, se tiene:

a es la altura desde la superficie AB hasta el centro del orificio O . Sin considerar pérdidas de energía, la velocidad del flujo a través del orificio una vez que el flujo se establece y es constante es igual a:

$$v_o = \sqrt{2g a} \quad (7)$$

La relación entre las áreas del tubo y la del orificio es:

$$n = \frac{A_{tubo}}{A_{orificio}} > 1 \quad (8)$$

Por el principio de continuidad se tiene que la velocidad en el tubo es:

$$v = \frac{\sqrt{2g a}}{n} \quad (9)$$

Si desaparece la pared FD , entonces la velocidad dentro del tubo sería $v = \sqrt{2g a}$, la cual es mayor que $v = \sqrt{2g a}/n$. Por tanto, el agua dentro del tubo tiende a incrementar su velocidad, la cual es obstruida por la pared FD . Así resulta una sobrepresión que es transmitida a las paredes. En consecuencia, parece que la presión en las paredes es proporcional a la aceleración con la cual el fluido se somete si el obstáculo al movimiento desaparece instantáneamente, dejando al fluido escapar hacia la atmósfera.

El problema ahora se cambia a éste: si durante el flujo hacia el orificio O el tubo ED fuera cortado instantáneamente en cd , hay que determinar la aceleración que el volumen elemental $abcd$ debería recibir. Entonces se debe considerar el recipiente $ABEcaC$ y encontrar con su ayuda la aceleración que la partícula que tiene la velocidad $v = \sqrt{2g a}/n$ recibiría al escapar.

Considérese un elemento de fluido de ancho dx , y sea $v = dx/dt$ su velocidad, la cual, al destaparse el conducto, crecería con el tiempo t con una aceleración:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v dv}{dx} \quad (10)$$

Sea v la velocidad variable del agua en el tubo ED , n el área del tubo, c la distancia E_c , dx la distancia ac . En el

mismo instante siempre se tiene un elemento de volumen entrando en E igual al otro que es expulsado por $abcd$.

Debido al gran tamaño del recipiente AE , en la superficie libre la velocidad no es significativa, por lo que se considera que antes de entrar a E la partícula no posee velocidad. La gota en E tiene una masa $m = \rho n dx$ y velocidad v , por lo que su energía cinética es:

$$E_c = \rho n dx v^2 / 2 \quad (11)$$

la cual es generada en su totalidad. A esta energía se le suma el incremento de energía cinética que la gota recibe en Eb mientras se mueve, la cual es:

$$c = \frac{dE_c}{dx} = c \rho n v dv \quad (12)$$

Al sumar (11) + (12), la energía cinética acumulada resulta:

$$\rho n \left(\frac{v^2}{2} dx + c v dv \right) \quad (13)$$

El trabajo realizado por el peso $W = \rho g n dx$ del elemento al bajar de AB a la tubería es:

$$a \rho g n dx \quad (14)$$

La energía cinética acumulada es igual al trabajo, por lo que se tiene:

$$\rho n \left(\frac{v^2}{2} dx + c v dv \right) = a \rho g n dx$$

$$\frac{v^2}{2} + c v \frac{dv}{dx} = ag \quad (15)$$

Se despeja $\frac{v dv}{dx}$ y resulta:

$$\frac{v dv}{dx} = \frac{ag}{c} - \frac{v^2}{2c} \quad (16)$$

Hasta aquí se tiene un razonamiento análogo al de Daniel Bernoulli. Si se compara la ecuación (10) con la ecuación (16) se observa que ésta es una nueva expresión de la aceleración dv/dt , a la cual la presión dinámica sería proporcional, es decir:

$$\rho a \left(\frac{ag}{c} - \frac{v^2}{2c} \right) \quad (17)$$

Ahora bien, si se cierra el orificio O , el flujo cesa y la presión se vuelve igual a la estática p_o , por lo que, con $v = 0$ en la expresión (17) se tiene:

$$p_o a \frac{ag}{c} \quad (18)$$

Al hacer p/p_0 y sustituir el símbolo de proporcionalidad por el de igualdad, resulta:

$$\frac{p}{p_0} = 1 - \frac{v^2}{2ga} \quad (19)$$

de donde, recordando que $p_0 = \rho ga$:

$$p = p_0 - \frac{\rho v^2}{2} \quad (20)$$

La expresión (20) indica que al destaparse una tubería horizontal inicialmente cerrada y producirse así una corriente de velocidad v , la presión original en la tubería disminuye en $\rho v^2/2$. En términos de carga de presión, la ecuación (20) es:

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} \quad (21)$$

Dado que $p_0 = \rho ga$ y reacomodando términos, se tiene:

$$a = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (22)$$

A este mismo resultado se llega al plantear la ecuación de la energía, sin considerar pérdidas, entre el almacenamiento y el tubo.

Comentarios

De acuerdo con D'Alambert en *L'Encyclopédie o Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, hidrodinámica no difiere de hidráulica. También comenta que Daniel fue el primero en haber reducido las leyes del movimiento a principios seguros y no arbitrarios, algo que ningún autor había hecho antes.

La experimentación de Daniel Bernoulli iba acompañada de un análisis matemático apoyado en los conceptos físicos de su época (como la *vis viva*). Fue el primero en conectar piezómetros en las paredes de los conductos así como en considerar que el flujo se establece dentro de ellos. Trató de relacionar la presión en términos de la velocidad, y si bien la expresión que él encontró no fue la que ahora se emplea, sí explicó acertadamente la interacción presión-velocidad. Tan relevante fue su razonamiento, que a la fecha se le da el mérito de haber sido el primero en haberlo descubierto, y se acostumbra denominar a la relación correcta presión-velocidad en un conducto "ecuación de Bernoulli".

En este artículo sólo se trató un pequeño aspecto de la obra de Daniel Bernoulli, si bien para algunos es el más conocido. Él destacó en matemáticas puras, en campos como la teoría de las ecuaciones diferenciales, el cálculo de probabilidades, la suma de series infinitas, pero sobre todo se apasionó por las matemáticas mixtas en temas

Uno de los problemas a los que se dedicó Bernoulli fue el de determinar la presión del agua que se desplazaba por una tubería; inicialmente hizo varios intentos pero no lo pudo conseguir hasta que se inspiró en William Harvey (1578-1657), un médico inglés al que se le atribuye haber descrito correctamente, por primera vez, la circulación y las propiedades de la sangre al ser distribuida por todo el cuerpo a través del bombeo del corazón. En uno de sus escritos describió cómo cuando se pincha una arteria la sangre brota con violencia. Durante el curso de un latido completo, el chorro de sangre sale proyectado primero a mayor distancia, luego a menor; el caso del chorro más grande se da cuando el corazón se contrae.

tales como hidromecánica, náutica, mecánica, teoría de gases, teoría de la elasticidad y teoría de la música. Aunó su saber teórico al práctico. Fue creativo en la teoría y en ingeniosas aplicaciones prácticas. Ganó 10 veces el premio de la Academia de Ciencias de París. También tuvo una destacada vida académica: fue rector dos veces de la Universidad de Basilea, en 1744 y 1756, y profesor desde 1748 hasta prácticamente su muerte en 1782. Realizó en varias ocasiones donaciones de sumas considerables de dinero para equipamiento de laboratorios y adquisición de nuevos títulos de la biblioteca.

Ya en el ocaso de su vida, se encargó de varias obras de beneficencia. En particular, ordenó construir con su financiación un pequeño hostel que servía de refugio a los estudiantes temporales que no tenían suficientes recursos.

Sánchez (2001) aborda varios aspectos de la vida y obra de los más destacados miembros de la familia Bernoulli: Jacob, Johan y Daniel 💧

Referencias

- Bernoulli, D. (1738). Hydrodynamics. En D. Bernoulli y J. Bernoulli (1968). *Hydrodynamics and hydraulics*. (Trad. de T. Carmody y H. Kobus). Nueva York: Dover.
- Levi, E. (1989). *El agua según la ciencia*. México: Castell Mexicana y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Rouse, H., e I. Simon (1957). *History of hydraulics*. Iowa Institute of Hydraulic Research. State University of Iowa.
- Sánchez F., C., y C. Valdés C. (2001). *Los Bernoulli. Geómetras y viajeros*. Madrid: Nivola.

Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica por municipio en organismos de cuenca de México

Es sustancial contar con metodologías adecuadas para determinar la probabilidad de ocurrencia de una sequía y lograr la gestión integrada del riesgo. En ese sentido, se vuelve de primera importancia disponer de información valiosa y útil para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas que conduzcan a una gestión apropiada del riesgo.

DAVID ORTEGA-GAUCIN

Investigador del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA).

JESÚS DE LA CRUZ BARTOLÓN

Investigador del IMTA.

HEIDY V. CASTELLANO BAHENA

Estudiante de doctorado en Ciencias y tecnología del agua.

ALEJANDRO ORDÓÑEZ SÁNCHEZ

Consultor independiente.

En México existen regiones que se caracterizan por ser eminentemente áridas y, por lo tanto, están en condiciones permanentes de vulnerabilidad hídrica que provocan que los sectores urbano, industrial y agrícola presenten un alto riesgo de sequía. No obstante, la sequía puede ocurrir –y de hecho ocurre– en cualquier tipo de clima, incluso en las zonas típicamente lluviosas como el sureste de la República mexicana. Entonces, esta realidad justifica que la sequía deba ser estudiada en diferentes regiones de México para poder estimar su probabilidad de ocurrencia.

Para realizar una estimación cuantitativa de este fenómeno, es necesario determinar el déficit de la principal variable meteorológica afectada por este fenómeno, es decir, la precipitación pluvial. La probabilidad de que ocurra una sequía con cierto grado de intensidad es lo que se conoce como “peligro por sequía”. El peligro climático, en general, es una condición de tiempo o clima que puede provocar efectos negativos en un sistema vulnerable. Generalmente el peligro se estima con información meteorológica o climática histórica y se representa por la probabilidad de ocurrencia. Los valores del peligro varían de una región a otra y dependen de las características específicas del fenómeno estudiado. Sin embargo, establecer el significado de peligro climático requiere analizar la condición meteorológica que lleva a un desastre. Por ello, no es suficiente con decir, por ejemplo, cuál es el grado de reducción de la lluvia, sino que es necesario especificar cuánto es mucho o poco para un sistema determinado (Magaña, 2013).

En este trabajo se determina la probabilidad de ocurrencia de la sequía meteorológica con diferentes grados de duración e intensidad, para lo cual se hace un análisis a escala municipal en dos organismos de cuenca (OC)

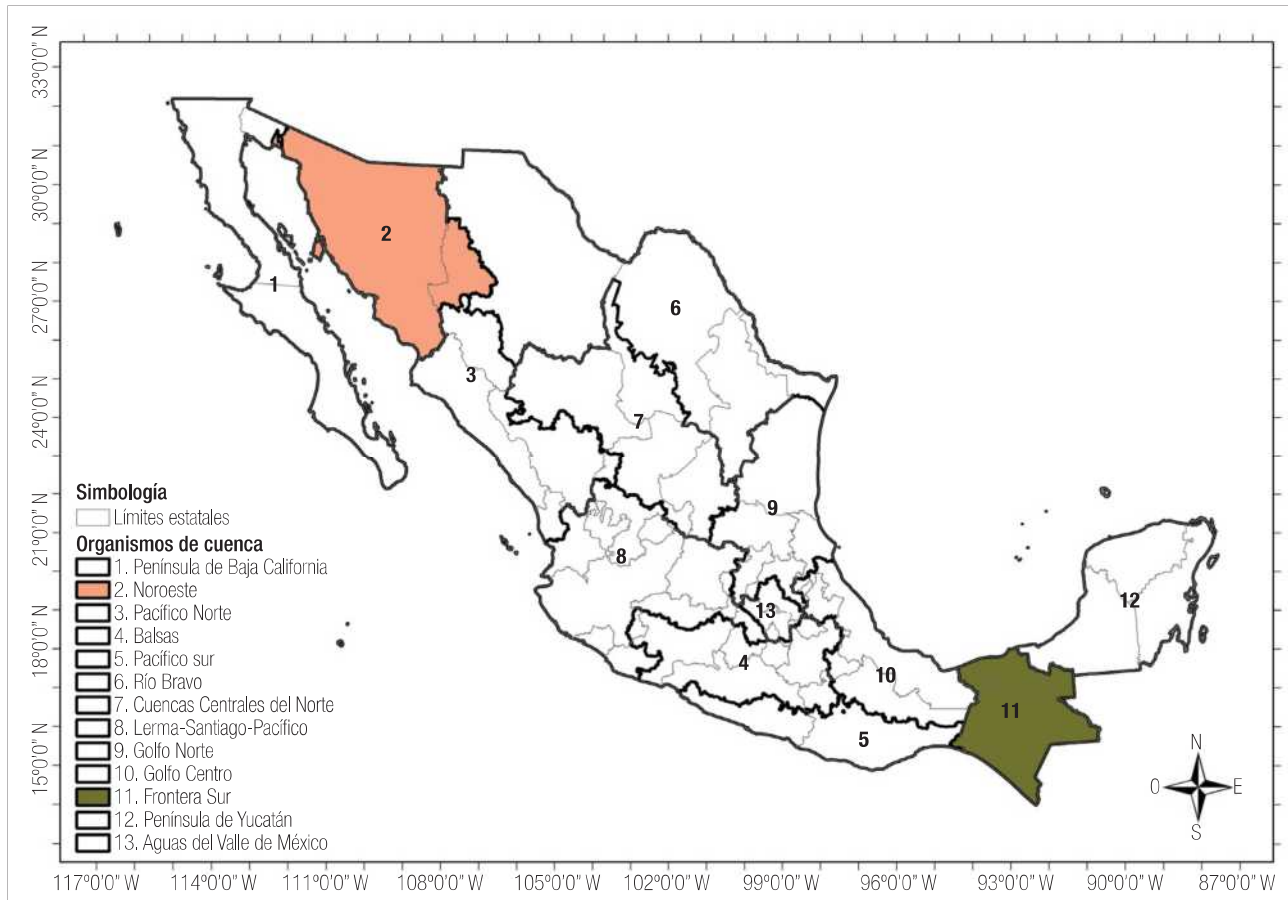


Figura 1. Delimitación de los 13 organismos de cuenca en México y ubicación de los OC Noroeste y Frontera Sur.

que presentan características climáticas disímiles: el OC Noroeste, que se caracteriza por ser particularmente árido, y el OC Frontera Sur, que es uno de los más lluviosos del país. El propósito de la investigación es presentar, evaluar y contrastar dos metodologías que son de amplio uso en la hidrología y la climatología debido a que tienen múltiples aplicaciones: los polígonos de Thiessen y las isoyetas, los cuales se describen en los apartados siguientes.

Materiales y métodos

Áreas de estudio

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (Conagua), los organismos de cuenca son los responsables de administrar y preservar las aguas nacionales en cada una de las 13 regiones hidrológico-administrativas en que se ha dividido el país. En este trabajo, con el propósito de evaluar las dos metodologías mencionadas (polígonos de Thiessen e isoyetas) para determinar la probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal, se eligieron los OC Noroeste y Frontera Sur (cuya

Tabla 1. Estados que conforman el OC Noroeste

Estado	Municipios	Localidades	Población	Área (km ²)
Chihuahua	7	1,330	99,610	25,661
Sonora	71	6,897	2,484,100	171,925
Total	78	8,227	2,583,710	197,586

ubicación geográfica se ilustra en la figura 1), debido a que tienen características climáticas contrastantes entre sí, pues el primero es uno de los más secos del país y el segundo es uno de los más húmedos.

El OC Noroeste, como su nombre lo indica, se ubica en el noroeste de la República mexicana, en una región semidesértica; tiene una superficie aproximada de 197,000 km² (10% del total nacional) y está conformado por 78 municipios, de los cuales 71 pertenecen al estado de Sonora y siete al estado de Chihuahua, con una población total de 2.5 millones de habitantes (véase tabla 1).

Por su parte, el OC Frontera Sur se ubica en el sureste del país, en la región más lluviosa de México; abarca una

Tabla 2. Estados que conforman el OC Frontera Sur

Estado	Municipios	Localidades	Población	Área (km ²)
Chiapas	118	20,047	5,217,908	73,570
Oaxaca	2	133	26,565	1,072
Tabasco	17	2,499	2,395,272	24,701
Total	137	22,679	7,639,745	99,344

superficie aproximada de 99,000 km² (5% del total nacional) y está integrado por 137 municipios, de los cuales 118 pertenecen al estado de Chiapas, 17 a Tabasco y dos a Oaxaca, con una población total de 7.6 millones de habitantes (véase tabla 2).

Determinación del peligro por sequía meteorológica

La determinación del peligro por sequía meteorológica (probabilidad de ocurrencia) en escala municipal se rea-

lizó a través del análisis estadístico de precipitación y la ponderación de áreas derivadas de los polígonos de Thiessen e isoyetas. Para ello, se llevaron a cabo las actividades enumeradas en los siguientes apartados:

Revisión de la base de datos de precipitación de Clicom y selección de las estaciones climatológicas representativas

A partir de la base de datos de estaciones climatológicas de la herramienta Clicom (Clima Computarizado), se seleccionaron las estaciones representativas de los OC Noroeste y Frontera Sur. Los principales criterios que se consideraron para seleccionar las estaciones climatológicas fueron: a) su ubicación geográfica (dentro o alrededor del OC); b) incluir aquellas estaciones que son utilizadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para elaborar los mapas quincenales del Monitor de Sequía de México (MSM); c) que tuvieran al menos el 80% de datos registrados durante el periodo considerado (1980-2009); y c) incluir las estaciones que superaron los

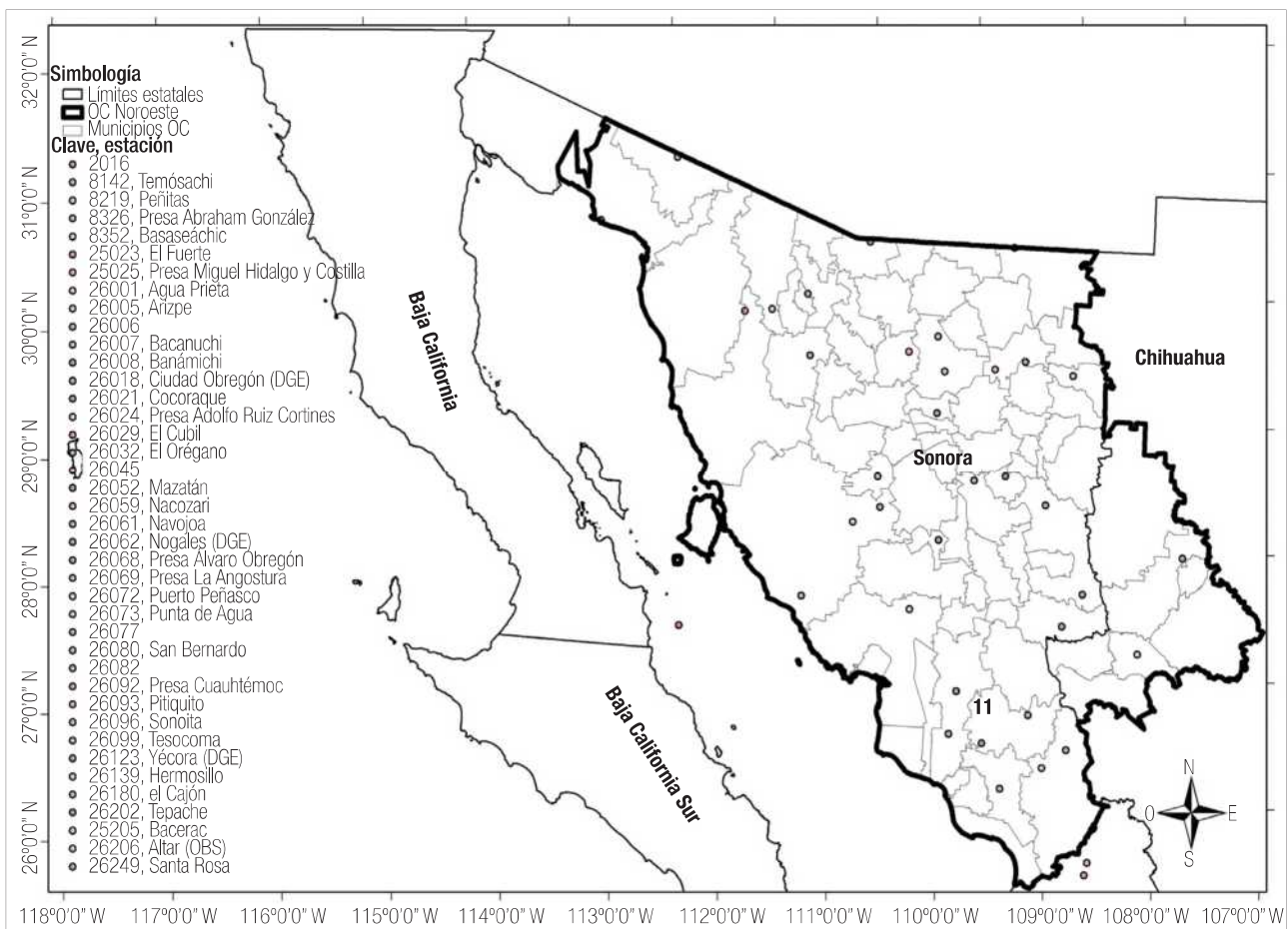


Figura 2. Ubicación de las estaciones climatológicas representativas del OC Noroeste.

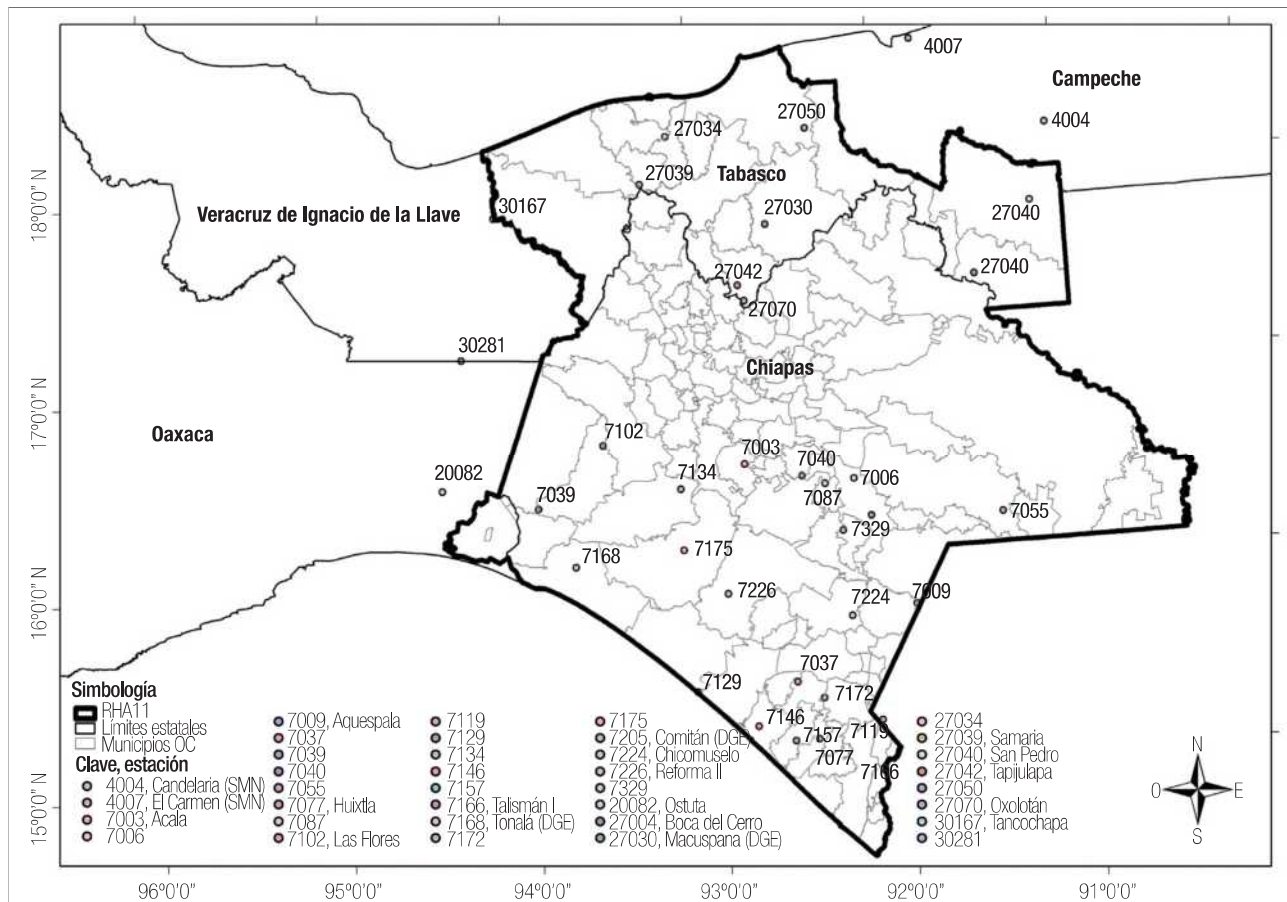


Figura 3. Ubicación de las estaciones climatológicas representativas del OC Frontera Sur.

controles de calidad de la información y que son factibles de incorporarse para mejorar la estimación del MSM, según el estudio realizado por el IMTA (Lobato, 2015). A partir de estos criterios se identificaron 39 estaciones climatológicas en el OC Noroeste (véase figura 2) y 36 estaciones en el OC Frontera Sur (véase figura 3).

Generación de series de datos de precipitación mensual y anual para cada estación climatológica

Una serie histórica de precipitación es un conjunto de datos temporales que pueden presentar periodicidad anual, semestral, mensual, semanal, etc., mediante los cuales es posible hallar periodos secos y húmedos, desgregar los registros en una serie de oscilaciones o movimientos recurrentes llamados ciclos (Naranjo, 2012). Así, para cada una de las estaciones climatológicas seleccionadas se recopilaron las series mensuales de precipitación correspondientes al periodo 1980-2009, es decir, con un total de 30 años de registro. Estas series de datos sirvieron de base para calcular la probabilidad de ocurrencia de la sequía meteorológica.

Estimación de periodos secos en escala municipal mediante polígonos de Thiessen

La precipitación, como serie univariada, se describe a través de un conjunto de parámetros estadísticos; en el caso de México, aunque no es una generalidad, se ha encontrado una relación directa entre un valor alto del coeficiente de variación y las regiones áridas y semiáridas. La técnica de análisis de esta metodología consiste en la técnica de secuencia de una serie de tiempo, cuya estructura se presenta en los siguientes pasos (adaptados de Escalante y Reyes, 2005):

- Paso 1. Recopilación de la información de los eventos de precipitación mensual de las series de tiempo p_i , $i = 0, 1, 2, \dots, n$. En este paso se verificó la calidad estadística y longitud de las series de datos. Al final se definieron, para el propósito de este trabajo, los valores de la lluvia anual acumulada durante el periodo de registro.
- Paso 2. Obtención de los estadísticos muestrales de la serie p_i : media (\bar{x}) mediana, moda, desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV). Se prefieren

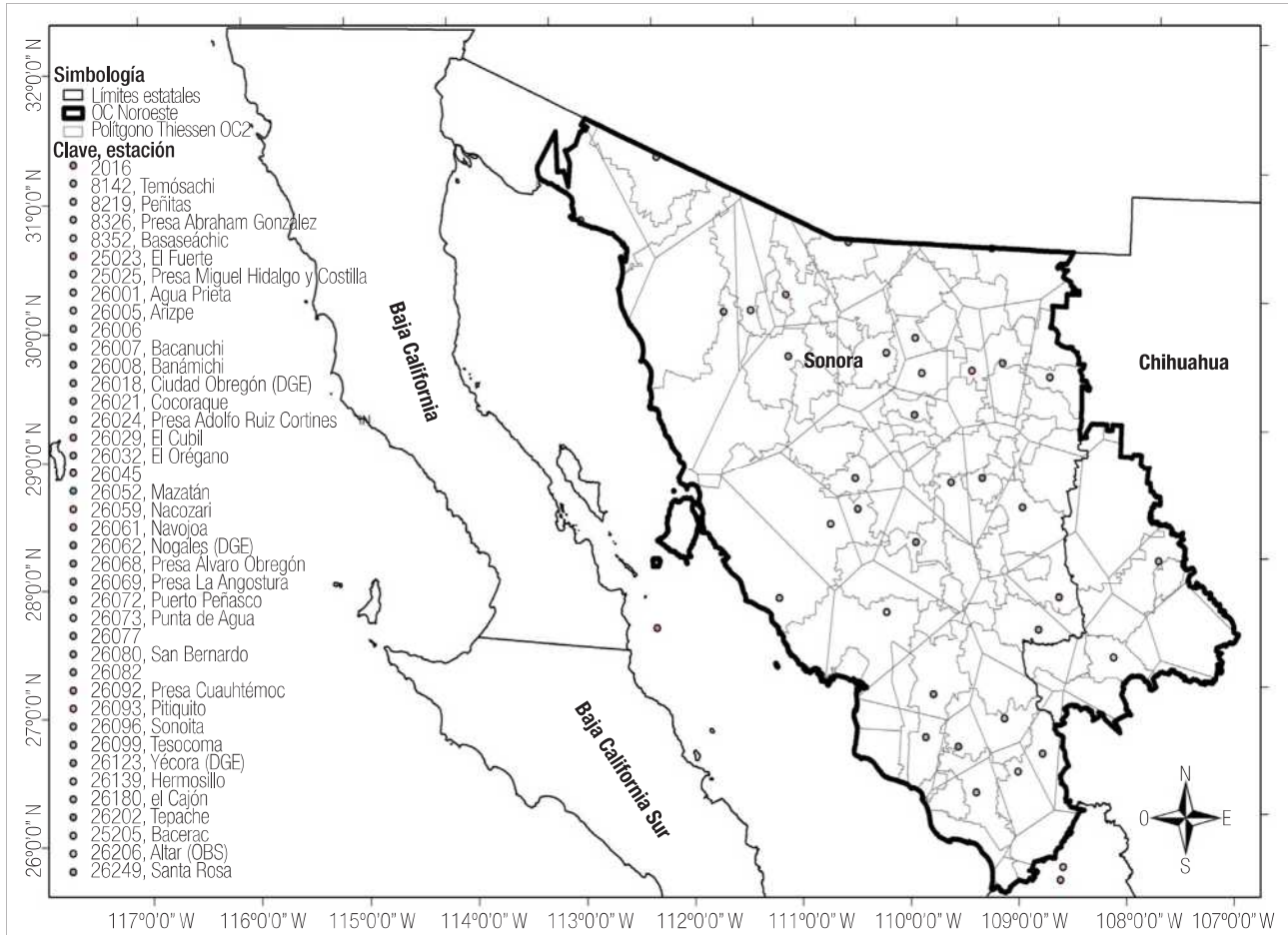


Figura 4. Delimitación espacial del área de influencia de las estaciones climatológicas por el método de polígonos de Thiessen dentro del OC Noroeste.

Tabla 3. Ejemplo de cálculo de las características de los periodos secos en la estación Santa Rosa (Clave 26249) del OC Noroeste

Periodo seco	Duración (años)	Periodo	Periodicidad (años)	Déficit acumulado (mm)	Intensidad (mm/año)
1	3	1980-1982	1	134.25	44.75
2	3	1986-1988	6	116.55	38.85
3	1	1993	7	38.05	38.05
4	2	1995-1996	2	110.90	55.45
5	2	2001-2002	3	82.40	41.20
6	4	2004-2007	3	145.43	36.36

los no sesgados debido a que en la mayoría de las variables de la hidrología se manejan series de tiempo con muestras pequeñas.

- Paso 3. Estimación de la serie de datos de precipitación ponderada municipal. Se usó el método de los polígonos de Thiessen para obtener la serie de datos de precipitación, ponderando el área de influencia que ejercen todas las estaciones pluviométricas al interior y

exterior de la zona de estudio (véase figura 4).

Es así como se calculó la precipitación observada ponderada para cada mes; se obtuvo el cociente de la suma del producto de la lámina de lluvia por su respectiva área de dominio y se dividió ésta entre las áreas de influencia que participan:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

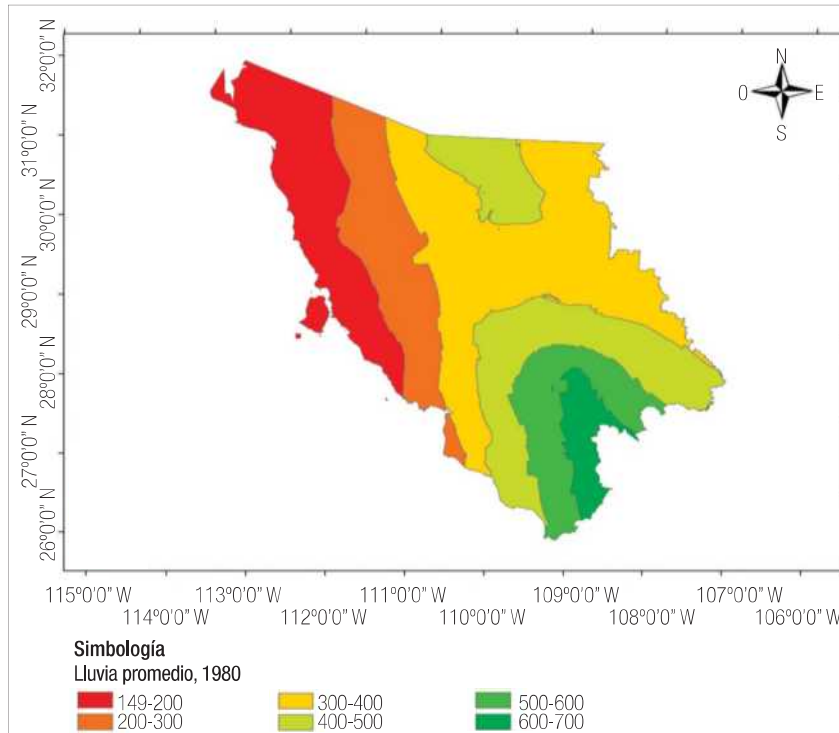


Figura 5. Ráster obtenido de la interpolación de la precipitación anual en el OC Noroeste para 1980 por el método de Kriging.

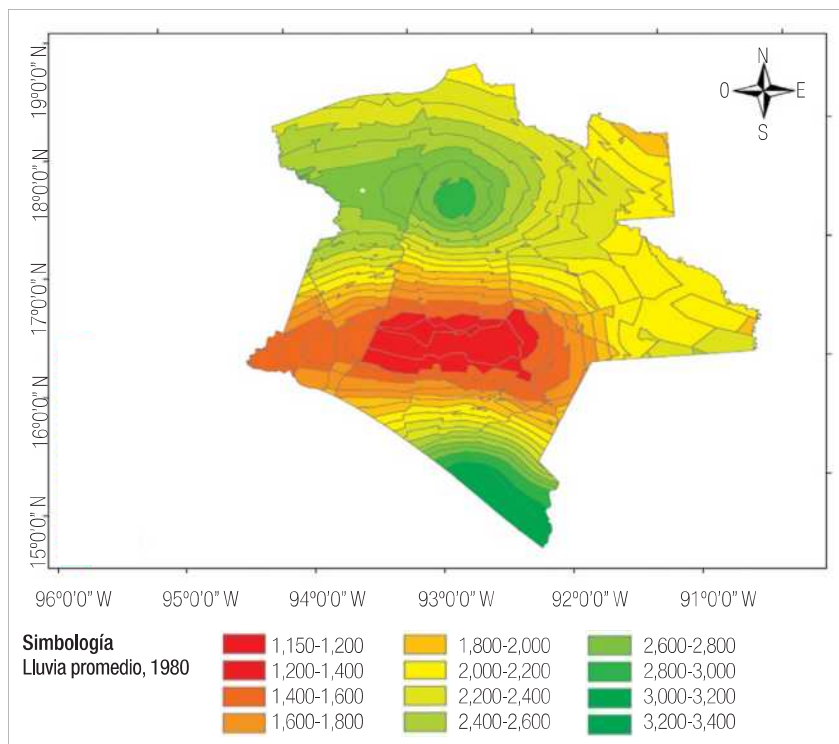


Figura 6. Ráster obtenido de la interpolación de la precipitación anual en el OC Frontera Sur para 1980 por el método de Kriging.

donde

p_i es la precipitación observada en mm

A_i es el área delimitada por el polígono de Thiessen en km^2

- Paso 4. Establecimiento del umbral o nivel de truncamiento, denominado X_0 , para separar los eventos potenciales de sequía y excedencias (periodos secos y húmedos). Los estadísticos como la media y mediana de las series de tiempo se usan para definir el umbral; la mediana resulta útil para el análisis de las duraciones y la media lo es para las severidades. Sin embargo, hay que considerar que la media aritmética generalmente es un estadígrafo robusto en tanto represente bien la probabilidad de ocurrencia de dicho valor, por lo que cuando se utiliza este estadígrafo para definir la condición de sequía puede conducir a error, especialmente en zonas áridas, puesto que la ocurrencia del valor medio es poco probable. Por ese motivo, dado que la mediana es considerada un estadígrafo más robusto que la media (Lehmann y Romano, 1986), en este trabajo se utilizó la mediana (cuya probabilidad de ocurrencia es de 50%) para determinar el umbral de sequía meteorológica.

Para ello se calculó la serie de diferencias (D_t) de los datos de lluvia (p) respecto a la mediana anual (\bar{p}):

$$D_t = p - \bar{p} \quad (2)$$

- Paso 5. Determinación de las características intrínsecas de la sequía: el número de periodos secos, la duración, la periodicidad, el déficit acumulado anual y la intensidad (valor promedio del déficit). En la tabla 3 se presenta un ejemplo de cálculo de las características de la sequía para una estación climatológica.
- Paso 6. Las probabilidades de ocurrencia de un periodo de sequía

Tabla 4. Características de los períodos de sequía meteorológica para el municipio de Simojovel, Chiapas

Estadísticos de la serie anual		Características de los periodos secos identificados en el municipio				
Máximo (mm)	4,330.10	Núm. sequía	Duración (años)	Periodicidad (años)	Déficit acumulado (mm)	Intensidad (mm/año)
Mínimo (mm)	2,107.40	1	4	3	351.3	87.8
Media (mm)	3,195.60	2	1	5	507.8	507.8
Mediana (mm)	3,138.50	3	3	3	557.9	186
Desv. estándar (mm)	511.5	4	1	4	516.2	516.2
Coef. asimetría (CA)	0.22	5	3	2	895.8	298.6
Coef. Kurtosis (CK)	0.1	6	2	5	246.4	123.2
Coef. variación (CV)	0.16	7	2	3	1817.9	908.9
Umbral = mediana	3,138.50	8	1	5	727.1	727.1
		Media	2.13	3.75	702.54	419.45
		Desv. est.	1.13	1.16	493.81	297.19
		CV	0.53	0.31	0.70	0.71

Resumen	
Número de periodos secos	8
Periodos con déficit promedio (años)	3.8
Duración promedio esperada (años)	2.1
Déficit máximo registrada (mm)	1,817.90
Intensidad correspondiente al déficit máximo (mm/año)	87.8
Desviación respecto a la lluvia media anual (%)	2.7
Lámina disponible promedio anual ante el déficit (mm)	3,107.80
Intensidad máxima registrada (mm/año)	908.9
Lámina disponible promedio anual (mm)	2,286.70
Desviación respecto a la lluvia media anual	71.6
Déficit acumulado promedio (mm)	702.5
Intensidad para la duración promedio (mm/año)	419.5
Lámina disponible promedio anual (mm)	2,776.10
% lámina disponible por debajo de la media anual	13.1

Probabilidad de ocurrencia		
Duración (años)	Frecuencia	Probabilidad
1	3	37.5
2	2	25.0
3	2	25.0
4	1	12.0
Suma	8	100.0

(seco) con cierta duración de años, se determinaron con las magnitudes de las frecuencias absolutas observadas de las duraciones.

Estimación de probabilidad de ocurrencia de la sequía a escala municipal mediante isoyetas

Este método es considerado más preciso que el de los polígonos de Thiessen, ya que permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre un área en específica. Consiste en trazar curvas de igual precipitación (isoyetas) para un periodo determinado en el área de estudio. Una vez trazadas las isoyetas, se calculan las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplica por el promedio de precipitación del área correspondiente.

Para aplicar este método, se siguió exactamente el mismo procedimiento descrito antes (polígonos de Thiessen), con excepción del paso 3, pues en este caso se utilizaron las isoyetas para obtener la lluvia promedio ponderada en escala municipal. Así, el paso 3 consistió en trazar isoyetas o líneas curvas que unen los puntos que tienen igual valor de precipitación, las cuales se asemejan al trazo de las curvas de nivel. Para ello se utilizó el *software* ArcGis mediante el cual se realizó una interpolación de los datos de lluvia a través del método Kriging, de tal manera que se obtuvieron valores para las celdas de un ráster a partir de una cantidad limitada de puntos de datos de muestra. Dado que se está manejando la precipitación promedio anual de 1980 a 2009, se realizaron 30 rásteres. Como ejemplo, en las figuras

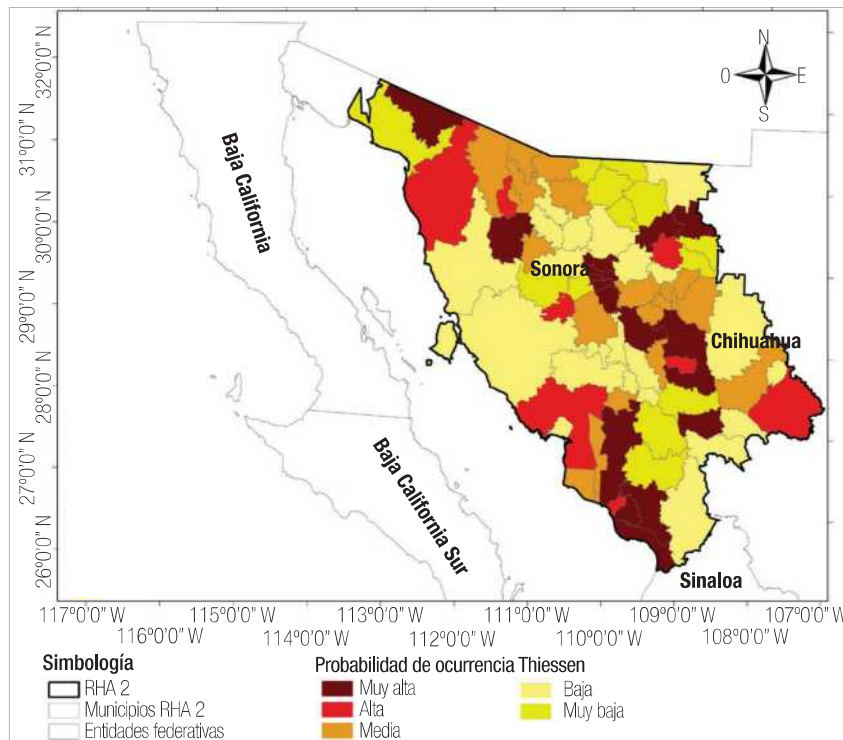


Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Noroeste por el método de polígonos de Thiessen.

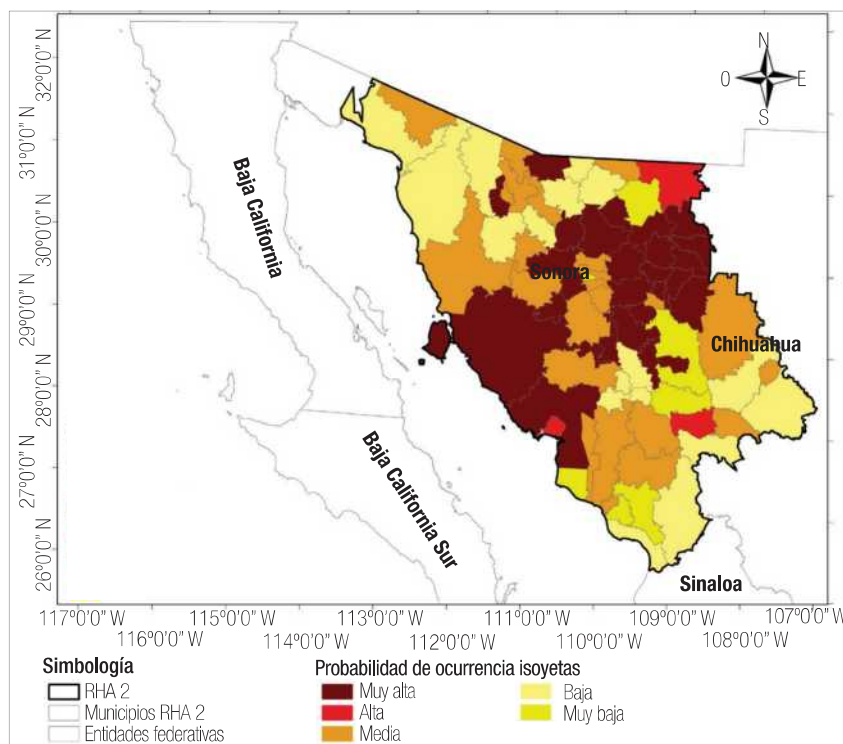


Figura 8. Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Noroeste por el método de las isoyetas.

5 y 6 se presenta el ráster correspondiente a 1980 para los OC Noroeste y Frontera Sur, respectivamente.

Una vez realizado el trazo de las isoyetas, se calculó el valor promedio de las magnitudes de las curvas que delimitan una subárea, y es así como la precipitación ponderada (p) de un área específica para cada año quedó establecida como el cociente de la suma del producto de las láminas promedio por su respectiva subárea que delimita la isoyeta entre el total de las subáreas delimitadas:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{p}_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3)$$

donde:

p es la precipitación ponderada del municipio en cuestión, en mm

\bar{p}_i es la precipitación promedio entre dos isoyetas, en mm

A_i es el área delimitada por las isoyetas, en km^2

Identificación de las características de inicio, duración, terminación y severidad de los periodos de sequía meteorológica a escala municipal

Después de obtener la precipitación promedio en escala municipal, se utilizó esta información para obtener el inicio, duración, terminación y severidad de los periodos de sequía para cada uno de los municipios que integran los OC Noroeste y Frontera Sur. En la tabla 4 se presenta un ejemplo de cálculo de la probabilidad de ocurrencia de sequía para un municipio en particular.

Mapeo de la probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en los OC analizados

Finalmente, para observar la representación espacial de los resultados obtenidos en los procesos anteriores, se elaboraron los mapas de probabilidad de ocurrencia de sequía

Tabla 5. Probabilidad de ocurrencia de sequía para los municipios del OC Noroeste, por los métodos de los polígonos de Thiessen e isoyetas

Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas	Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas
26026	Etchojoa	Muy alta	Muy baja	26009	Bacanora	Media	Muy alta
26042	Navojoa	Muy alta	Muy baja	26008	Bacadéhuachi	Media	Muy alta
26012	Bácum	Media	Media	26007	Atil	Media	Media
26033	Huatabampo	Muy alta	Baja	26006	Arizpe	Baja	Muy alta
26032	Huásabas	Baja	Muy alta	26005	Arivechi	Alta	Muy alta
26048	Puerto Peñasco	Muy baja	Baja	26004	Altar	Media	Baja
26017	Caborca	Alta	Baja	26003	Alamos	Baja	Baja
26050	Rayón	Muy baja	Muy alta	26002	Agua Prieta	Baja	Alta
26049	Quiriego	Muy baja	Media	26001	Aconchi	Muy alta	Media
26047	Pitiquito	Baja	Media	26072	San Ignacio Río Muerto	Media	Muy baja
26046	Oquitoa	Alta	Muy alta	26071	Benito Juárez	Alta	Media
26045	Opodepe	Baja	Muy alta	26070	General Plutarco E. Calles	Muy alta	Media
26044	Onavas	Baja	Baja	26069	Yécora	Muy baja	Muy baja
26043	Nogales	Media	Muy alta	26067	Villa Hidalgo	Alta	Muy alta
26041	Nacozari de García	Muy alta	Muy alta	26066	Ures	Media	Media
26040	Nácori Chico	Media	Muy alta	26065	Tubutama	Media	Media
26039	Naco	Muy baja	Media	26064	Trincheras	Muy alta	Baja
26038	Moctezuma	Media	Muy alta	26063	Tepache	Media	Muy alta
26037	Mazatán	Baja	Muy alta	26062	Suaqui Grande	Media	Baja
26036	Magdalena	Baja	Media	26061	Soyopa	Baja	Baja
26035	Imuris	Media	Baja	26060	Sáric	Media	Media
26034	Huépac	Muy alta	Media	26059	Santa Cruz	Muy baja	Baja
26031	Huachinera	Muy baja	Muy alta	26058	Santa Ana	Baja	Baja
26068	Villa Pesqueira	Baja	Muy alta	26057	San Pedro de la Cueva	Muy alta	Muy alta
26028	Granados	Media	Muy alta	26056	San Miguel de Horcasitas	Alta	Muy alta
26027	Fronteras	Muy baja	Muy baja	26054	San Javier	Baja	Baja
26025	Empalme	Baja	Alta	26053	San Felipe de Jesús	Muy alta	Muy baja
26024	Divisaderos	Media	Media	26052	Sahuaripa	Muy alta	Muy baja
26023	Cumpas	Baja	Muy alta	26051	Rosario	Muy baja	Media
26022	Cucurpe	Baja	Muy alta	26029	Guaymas	Alta	Muy alta
26021	La Colorada	Baja	Media	26030	Hermosillo	Baja	Muy alta
26020	Carbó	Muy baja	Media	8040	Madera	Baja	Media
26019	Cananea	Muy baja	Baja	8043	Matachí	Baja	Media
26018	Cajeme	Muy alta	Media	8051	Ocampo	Baja	Media
26016	Benjamín Hill	Media	Media	8063	Temósachic	Media	Baja
26015	Bavispe	Muy alta	Muy alta	8066	Uruachi	Baja	Baja
26014	Baviácora	Muy alta	Media	8047	Moris	Muy alta	Alta
26013	Banámichi	Muy alta	Media	8031	Guerrero	Alta	Baja
26011	Bacoachi	Muy baja	Muy alta				
26010	Bacerac	Muy baja	Muy alta				

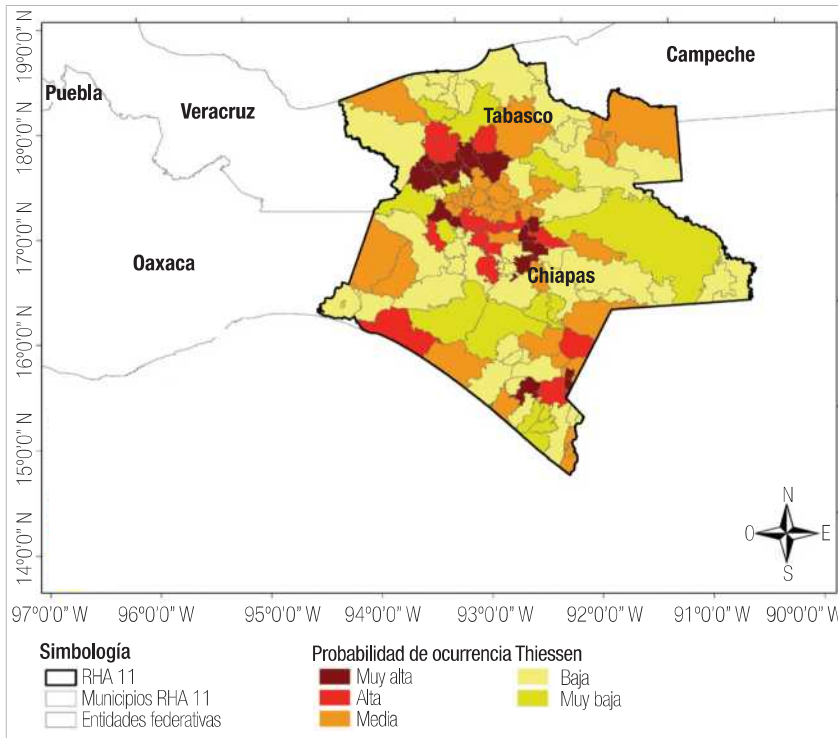


Figura 9. Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Frontera Sur por el método de polígonos de Thiessen.

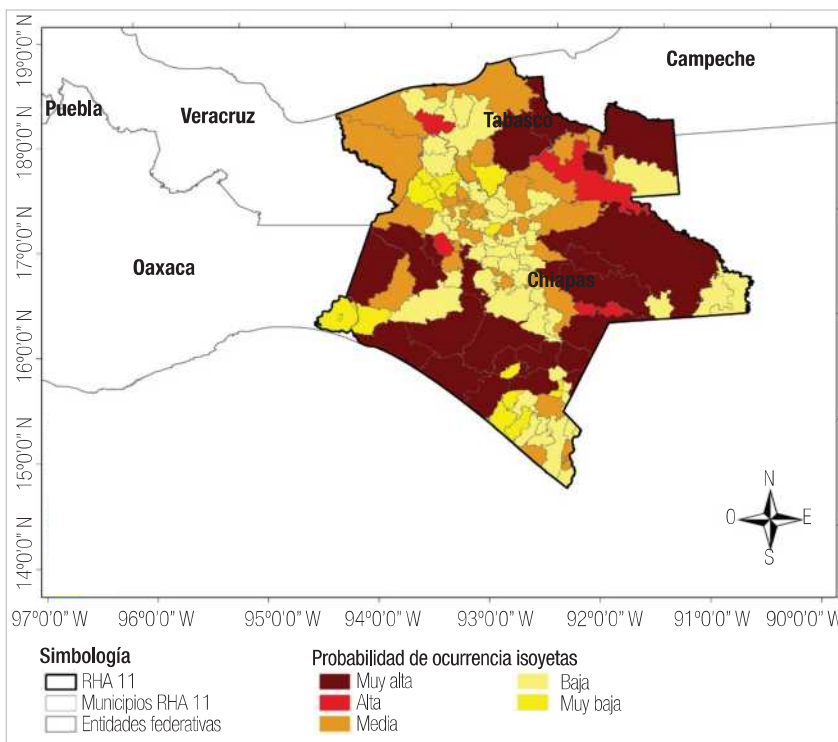


Figura 10. Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Frontera Sur por el método de las isoyetas.

meteorológica a escala municipal correspondiente a los OC bajo estudio, mediante el uso del software ArcGIS.

Resultados

Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Noroeste

En el OC Noroeste se observa que, con el método de los polígonos de Thiessen, 16 de los 78 municipios (20.5% del total) presentan una probabilidad muy alta de ocurrencia de sequía, mientras que con el método de las isoyetas, son 27 municipios (34.6%) los que presentan una probabilidad de este tipo (véanse figuras 7 y 8, respectivamente).

En la tabla 5 se presenta un comparativo de la probabilidad de ocurrencia de sequía para cada municipio de este OC; se contrastan los resultados obtenidos con los métodos de los polígonos de Thiessen e isoyetas. En esta tabla se puede observar que solamente hay coincidencia con respecto al grado obtenido de probabilidad de sequía en 18 de los 78 municipios (23.0%) que conforman el OC; en el resto de ellos hay diferencias notables pues, por ejemplo, algunos municipios que resultaron con probabilidad muy alta por el método de los polígonos de Thiessen, presentan probabilidad muy baja por el método de las isoyetas, y viceversa.

Probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en escala municipal en el OC Frontera Sur

En el OC Frontera Sur se observa que, con el método de los polígonos de Thiessen, 17 de los 137 municipios (12.4% del total) presentan una probabilidad muy alta de ocurrencia de sequía, mientras que con el método de las isoyetas, son 23 munic-

Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia de sequía para los municipios del OC Frontera Sur por los métodos de los polígonos de Thiessen e isoyetas

Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas	Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas
7099	La Trinitaria	Media	Muy alta	7034	Frontera Comalapa	Alta	Muy alta
7102	Tuxtla Chico	Media	Media	7031	Chilón	Baja	Media
7055	Metapa	Media	Media	7030	Chicomuselo	Media	Muy alta
7115	Maravilla Tenejapa	Baja	Baja	7029	Chicoasén	Muy alta	Baja
7059	Ocosingo	Muy baja	Muy alta	7028	Chiapilla	Baja	Baja
7089	Tapachula	Baja	Baja	7026	Chenalhó	Alta	Baja
7101	Tuxtla Gutiérrez	Baja	Media	7024	Chanal	Baja	Muy alta
7027	Chiapa de Corzo	Baja	Muy alta	7023	Chamula	Media	Baja
7012	Berriozábal	Alta	Muy alta	7022	Chalchihuitán	Media	Media
7041	La Independencia	Baja	Alta	7020	La Concordia	Muy baja	Muy alta
7003	Acapetahua	Media	Muy baja	7019	Comitán de Domínguez	Baja	Media
7032	Escuintla	Muy alta	Baja	7018	Coapilla	Media	Baja
7050	La Libertad	Media	Muy alta	7016	Catazajá	Baja	Media
7097	Tonalá	Alta	Muy alta	7015	Cacahoatán	Baja	Baja
7092	Tecpatán	Muy baja	Media	7014	El Bosque	Media	Muy baja
7090	Tapalapa	Media	Media	7013	Bochil	Alta	Media
7088	Sunuapa	Muy alta	Muy baja	7010	Bejucal de Ocampo	Muy alta	Baja
7079	San Fernando	Muy baja	Alta	7008	Angel Albino Corzo	Baja	Muy alta
7074	Reforma	Alta	Baja	7007	Amatenango del Valle	Media	Media
7062	Ostuacán	Muy alta	Muy baja	7006	Amatenango de la Frontera	Media	Muy alta
7061	Ocozacoautla de Espinosa	Baja	Muy alta	7005	Amatán	Media	Baja
7060	Ocotepec	Media	Baja	7004	Altamirano	Media	Muy alta
7048	Juárez	Alta	Baja	7002	Acala	Alta	Baja
7043	Ixtacomitán	Muy alta	Muy baja	7001	Acacoyagua	Baja	Muy baja
7033	Francisco León	Baja	Muy baja	7119	Santiago el Pinar	Alta	Media
7025	Chapultenango	Muy baja	Media	7118	San Andrés Duraznal	Media	Media
7021	Copainalá	Muy alta	Baja	7117	Montecristo de Guerrero	Baja	Muy baja
7009	Arriaga	Baja	Muy baja	7116	Marqués de Comillas	Baja	Baja
7042	Ixhuatán	Media	Media	7114	Benem. de las Américas	Baja	Baja
7040	Huixtla	Muy baja	Baja	7113	Aldama	Alta	Baja
7039	Huitiupán	Media	Baja	7112	San Juan Cancuc	Muy alta	Baja
7038	Huixtán	Muy alta	Baja	7111	Zinacantán	Alta	Baja
7037	Huehuetán	Muy baja	Baja	7110	San Lucas	Baja	Media
7035	Frontera Hidalgo	Media	Media	7109	Yajalón	Media	Baja

Tabla 6. Probabilidad de ocurrencia de sequía para los municipios del OC Frontera Sur por los métodos de los polígonos de Thiessen e isoyetas (continuación)

Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas	Clave del municipio	Nombre del municipio	Probabilidad por el método de Thiessen	Probabilidad por el método de isoyetas
7108	Villaflores	Baja	Baja	7054	Mazatán	Muy baja	Media
7107	Villa Corzo	Muy baja	Muy alta	7053	Mazapa de Madero	Muy alta	Baja
7106	Venustiano Carranza	Baja	Baja	7052	Las Margaritas	Baja	Muy alta
7105	Unión Juárez	Baja	Baja	7051	Mapastepec	Baja	Muy alta
7104	Tzimol	Muy baja	Baja	7049	Larráinzar	Alta	Baja
7103	Tuzantán	Muy baja	Baja	7047	Jitotol	Media	Baja
7100	Tumbalá	Media	Baja	7045	Ixtapangajoya	Muy alta	Baja
7098	Totolapa	Baja	Media	7044	Ixtapa	Alta	Baja
7094	Teopisca	Muy alta	Baja	7096	Tila	Baja	Media
7093	Tenejapa	Muy alta	Baja	7085	Soyaló	Alta	Baja
7091	Tapilula	Media	Baja	7046	Jiquipilas	Media	Media
7087	Suchiate	Media	Baja	7017	Cintalapa	Media	Muy alta
7086	Suchiapa	Baja	Baja	7036	La Grandeza	Media	Muy baja
7084	Solosuchiapa	Baja	Media	7011	Bella Vista	Media	Baja
7083	Socoltenango	Muy baja	Baja	7078	San Cristóbal de las Casas	Baja	Baja
7082	Sitalá	Media	Baja	27004	Centro	Muy baja	Baja
7081	Simojovel	Media	Baja	27013	Nacajuca	Baja	Baja
7080	Siltepec	Baja	Muy alta	27008	Huimanguillo	Baja	Media
7077	Salto de Agua	Muy baja	Media	27007	Emiliano Zapata	Media	Media
7076	Sabanilla	Media	Baja	27011	Jonuta	Baja	Muy alta
7075	Las Rosas	Media	Baja	27014	Paraíso	Baja	Media
7073	Rayón	Media	Media	27002	Cárdenas	Media	Media
7072	Pueblo Nvo Solistahuacán	Media	Media	27006	Cunduacán	Muy baja	Alta
7071	Villa Comaltitán	Baja	Muy baja	27010	Jalpa de Méndez	Baja	Baja
7070	El Porvenir	Alta	Muy baja	27005	Comalcalco	Baja	Baja
7069	Pijijiapan	Media	Muy alta	27017	Tenosique	Baja	Baja
7068	Pichucalco	Muy alta	Muy baja	27016	Teapa	Muy alta	Media
7067	Pantepec	Media	Baja	27009	Jalapa	Alta	Media
7066	Pantelhó	Media	Media	27003	Centla	Baja	Media
7065	Palenque	Baja	Alta	27001	Balancán	Media	Muy alta
7064	Oxchuc	Alta	Media	27015	Tacotalpa	Muy alta	Muy baja
7063	Osumacinta	Baja	Media	27012	Macuspana	Media	Muy alta
7058	Nicolás Ruíz	Muy alta	Baja	20025	Chahuites	Muy baja	Muy baja
7057	Motuzintla	Alta	Media	20327	San Pedro Tapanatepec	Baja	Muy baja
7056	Mitontic	Baja	Baja				

prios (16.7%) los que muestran una probabilidad de este tipo (véanse figuras 9 y 10, respectivamente). Como se observa, los porcentajes obtenidos de municipios con muy alta probabilidad de sequía tienen un comportamiento similar a los del OC Noroeste, es decir, en ambos casos resultan ser mayores por el método de las isoyetas que por el método de los polígonos de Thiessen.

En la tabla 6 se presenta un comparativo de la probabilidad de ocurrencia de sequía para cada municipio del OC Frontera Sur; se contrastan los resultados obtenidos con los métodos de los polígonos de Thiessen e isoyetas. Se puede observar que sólo hay coincidencia con respecto al grado obtenido de probabilidad de sequía en 30 de los 137 municipios (21.9%) que conforman el OC; en el resto de ellos hay diferencias notables pues, por ejemplo, algunos municipios que resultaron con probabilidad muy alta por el método de los polígonos de Thiessen, presentan probabilidad muy baja por el método de las isoyetas, y viceversa. Este porcentaje de coincidencia en el grado de probabilidad por ambos métodos es muy similar al obtenido en el caso del OC Noroeste, que fue de 23.0%, lo que demuestra la consistencia en los procedimientos de ambas metodologías, independientemente de la región de estudio donde se apliquen.


Conclusiones

Es sustancial contar con metodologías adecuadas para determinar el grado de peligro de sequía en escala municipal; se debe disponer de información valiosa que sirva para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas que conduzcan a una gestión integrada del riesgo en cada uno de los organismos de cuenca del país.

El presente trabajo ha tenido como propósito contribuir a ese objetivo mediante la evaluación y contraste de dos métodos que son útiles para determinar índices de peligro por sequía meteorológica: los polígonos de Thiessen y las isoyetas, los cuales han sido aplicados para realizar el análisis espaciotemporal de la precipitación pluvial y caracterizar los periodos de sequía en escala municipal en dos organismos de cuenca con características climáticas disímiles: Noroeste y Frontera Sur.

Con respecto a los resultados obtenidos, se observa que los porcentajes de municipios con muy alta probabilidad de sequía por ambos métodos (polígonos de Thiessen e isoyetas) tienen un comportamiento similar en los dos OC analizados, es decir, en ambos casos los porcentajes de municipios con muy alta probabilidad de sequía resultan ser mayores por el método de las isoyetas que por el método de los polígonos de Thiessen. Sin embargo, solamente hay coincidencia en el grado de probabilidad de sequía por ambos métodos en alrededor

Generalmente el peligro se estima con información meteorológica o climática histórica y se representa por la probabilidad de ocurrencia. Los valores del peligro varían de una región a otra y dependen de las características específicas del fenómeno estudiado. Sin embargo, establecer el significado de peligro climático requiere analizar la condición meteorológica que lleva a un desastre.

del 22% de los municipios; en el resto de ellos hay diferencias notables, pues, por ejemplo, algunos municipios que resultaron con probabilidad muy alta por el método de los polígonos de Thiessen presentan probabilidad muy baja por el método de las isoyetas, y viceversa. Esto se debe al efecto espacial que tienen los polígonos de Thiessen con respecto a las isoyetas: en el primer caso, las áreas de influencia de cada estación climatológica son fijas año con año, pues están delimitadas por los polígonos de Thiessen, mientras que en el caso de las isoyetas las áreas de influencia de cada estación climatológica varían cada año en función de la lluvia registrada durante el mismo. Por ello, se concluye que las isoyetas arrojan resultados más precisos que los polígonos de Thiessen; se recomienda la aplicación de las primeras para evaluar la probabilidad de ocurrencia de sequía. Sin embargo, sería importante verificar estos resultados mediante la aplicación de otros métodos estadísticos que permitan contrastar las evidencias obtenidas en este trabajo 

Agradecimientos

Al Fondo de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico del IMTA por el apoyo brindado a través del proyecto TH1705.F para la realización de este trabajo.

Referencias

- Escalante S., C. A., y L. Reyes Ch. (2005). Análisis de sequías. México: Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lehmann, E. L., y J. P. Romano (1986). Testing statistical hypotheses. Nueva York: Springer.
- Lobato, R. (2015). Propuesta de ampliación de estaciones climatológicas e incorporación de nuevas variables para mejorar la estimación del monitor de sequía en México. En: Ortega-Gaucin, D. (Coord.). Informe técnico del proyecto de coordinación, seguimiento, supervisión, integración y análisis del Programa de Medidas para Prevenir y Enfrentar la Sequía. Etapa 3 de 6. Convenio de Colaboración No. SGT-GIABA-DF-15-04-RF-AD. Jiutepec: Conagua-IMTA.
- Magaña, V. (2013). Guía metodológica para la evaluación de vulnerabilidad ante el cambio climático. México: INEC/PNUD.
- Naranjo P. de L., M. F. (2012). Estimación de periodos húmedos y secos en hidrología. ContactoS 85: 56-72.

Mejores pronósticos con base en datos firmes*

Una de las iniciativas que promueve la Conagua, a través de la Subdirección General Técnica, es poner en práctica un plan para el cual este año estamos formulando dos proyectos muy ambiciosos con horizonte de 10 años. Los dos tienen que ver con la medición del agua en el ciclo hidrológico, porque evidentemente no es posible afrontar fenómenos como el cambio climático sin tener mediciones.



VÍCTOR ALCOCER YAMANAKA
Subdirector general de Infraestructura
Hidroagrícola de la Conagua*

¿Cuál es la incumbencia de la Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua (Conagua)?

Básicamente, todo lo relacionado con la medición y seguimiento del ciclo hidrológico, que está organizado en distintas áreas de la Subdirección General Técnica (SGT); desde la Gerencia de Aguas Subterráneas, que atiende el tema de los acuíferos en cuanto a su disponibilidad de agua, hasta la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Agua de Ríos, que contempla, además de los asuntos de disponibilidad, la problemática de los ríos y el manejo y operación de presas, la delimitación de zonas federales y los permisos de obra en cauces o zonas federales. También la Gerencia de Ingeniería y Asuntos Binacionales, que atiende la cuestión de

la sequía, los programas de medidas preventivas y la relación de México con Estados Unidos, con Guatemala y Belice en asuntos de agua. El tema del Tratado de 1944, que es muy delicado e importante, lo lleva esa gerencia, así como todos los proyectos binacionales, especialmente con Estados Unidos en la frontera, no sólo sobre la cantidad de agua sino también en cuanto al saneamiento. Hay colaboraciones con el Banco de Desarrollo de América del Norte y con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA, por sus siglas en inglés). En la Gerencia de Calidad del Agua se realizan mediciones de la calidad de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, y la Gerencia del Consultivo Técnico tiene a su cargo la inspección del estado que guardan las presas y obras de infraestructura hidráulica mayor a cargo de la Conagua.

¿Sólo las de la Conagua?

Es un buen punto. Principalmente las de la Conagua, pero también las de la Comisión

*Este diálogo se realizó cuando el entrevistado era el titular de la Subdirección General Técnica de la Conagua.



La Conagua debe atender el riesgo, la seguridad alimentaria y la seguridad del suministro de agua para la población.

Federal de Electricidad (CFE) o de privados. Cuando la sociedad mexicana piensa en las presas, supone que solamente son de la Conagua o de la CFE, pero hay muchas presas que son de particulares, o también de la ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader) a través de la Comisión Nacional de Zonas Áridas (Conaza), que hace bordos, presas y represas, algunas de las cuales son inspeccionadas por la Conagua. Finalmente, hoy en día en un proceso de reestructura se adhiere como parte de la Subdirección General Técnica la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional, con sus dos gerencias: la de Redes de Observación y Telemática y la de Meteorología y Climatología. De esta forma, la SGT coordinará los esfuerzos de siete gerencias y la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

Mencionaba al comienzo el tema de que la Conagua debe autorizar la ubicación de obras de infraestructura carretera, de desarrollo urbano que estén vinculadas con el agua. Recordé dos fenómenos climáticos históricos muy importantes: los huracanes *Ingrid* y *Manuel*, y que muchos asentamientos se ubican en lugares técnicamente inconvenientes. ¿Qué nivel de control tiene la Conagua para que no se den estas situaciones?

Después de *Manuel*, el gobierno federal creó el Plan Nuevo Guerrero y destinó una cantidad

extraordinaria de recursos, más de mil millones de pesos. Se hicieron obras de dragado en canales, de reconstrucción de taludes en los márgenes de los ríos, obras de protección en general, para poblaciones.

Sobre el control que menciona, la Conagua tiene la obligación de hacer valer la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y es a través de estas acciones que se busca regular el aprovechamiento de los bienes nacionales con niveles aceptables de riesgo.

Hay una disputa, que entiendo es histórica, entre la Conagua y la SCT respecto a la intersección entre las vías terrestres y los cursos de agua.

Ya se ha llegado a un acuerdo desde el sexenio anterior. Ahora, con este nuevo gobierno, la Conagua tiene esa encomienda del presidente de la República de ponernos de acuerdo, y de hecho la directora general de la Conagua ha tenido comunicación al respecto con el titular de la SCT. Sabemos que es un asunto muy importante y que incluso la Conagua ha hecho en materia hidráulica e hidrológica, específicamente en la definición del periodo de retorno, es decir, el evento de diseño, una revisión y compilación de diversos documentos que quedaron integrados en uno solo; se puso en blanco y negro para cada tipo de estructura hidráulica, lo que permite que un camino cruce un cuerpo de agua. Representantes de la Conagua se han reunido y comuni-

“ Cuando la sociedad mexicana piensa en las presas, supone que solamente son de la Conagua o de la CFE, pero hay muchas presas que son de particulares, o también de la ahora Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural a través de la Comisión Nacional de Zonas Áridas, que hace bordos, presas y represas, algunas de las cuales son inspeccionadas por la Conagua. Finalmente, hoy en día en un proceso de reestructura se adhiere como parte de la Subdirección General Técnica la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional.

cado oficialmente con diversas autoridades de la SCT, entre otros con la Subsecretaría de Infraestructura, responsable de estos temas. Hoy en día se está retomando esta información para poder aplicarla a los nuevos proyectos.

En el tema del manejo de las presas, la pregunta tiene que ver con cómo encontrar o de qué forma lograr el punto de equilibrio entre tener almacenada la suficiente cantidad de agua que se pueda requerir en distintas circunstancias a futuro y al mismo tiempo no correr riesgos de que la presa se desborde.

La Conagua debe atender esas variables: el riesgo, la seguridad alimentaria y la seguridad del suministro de agua para la población, porque cada presa puede tener un propósito o varios propósitos. Sobre las presas, cada martes se reúne un comité donde se revisan las 210 más importantes de México. De esas 210 prácticamente todas tienen algo que se denomina “política de operación”, ya sea que tengan compuertas o no: de acuerdo con el nivel que tenga el vaso de la presa, se establece qué cantidad de agua debe desfogarse ante los caudales de ingreso que se registran. Evidentemente, las políticas de operación pueden sufrir cambios en el tiempo, pueden irse mejorando y actualizando, pero desfogar una presa no es una ocurrencia que tenga alguien; ya existe un protocolo, una política bien establecida para cada una de ellas, y con base en eso se operan. Ante eventos atípicos hidrometeorológicos, la Conagua prioriza la seguridad de las personas y la seguridad de la infraestructura. También suministra ese recurso para dar la suficiente seguridad alimentaria, que en parte es responsabilidad de la Conagua.

Respecto de los usos del agua, los más importantes, entiendo, son el agropecuario, el urbano, el industrial, el energético y, aunque no es extractivo, el de la naturaleza. ¿Cómo los atiende la Conagua? ¿Cuáles los desafíos que presenta cada uno?

La ley establece el uso público urbano, que es básicamente el de las zonas urbanas y los que están conferidos por el artículo 115 a los organismos operadores de agua y juntas de agua; el uso doméstico, que se tiene cuando un ciudadano solicita una asignación de un volumen



Se realizan mediciones de la calidad de las aguas nacionales superficiales y subterráneas.

de agua para su uso propio y el de su familia; el uso agrícola, que es el principal consumidor de agua y que, por cierto, ocupa alrededor de 77% del agua en términos generales del total de todos los usos; el uso industrial y también otros como la acuicultura, la silvicultura...

Los diversos usos presentan distintos tipos de desafíos. ¿A lo largo del tiempo se ha llegado a alguna conclusión o se ha avanzado en la forma de enfrentar esos desafíos? Parece que los mayores se presentan en el caso del uso humano, por darle valor al servicio del recurso agua, porque gran parte de los usuarios la consideran poco menos que gratuita, no reconociendo que es necesario construir infraestructura para que llegue a la llave del hogar, desde su captación hasta su tratamiento y disposición posterior. No se asume que es un derecho humano pero también una mercancía, y no es lo mismo tener agua para lavar las verduras que para un jacuzzi o una alberca en el jardín. Por otro lado, para uso agropecuario se utiliza de forma desmedida, con alto nivel de ineficiencia. ¿Qué políticas está desarrollando o debería desarrollar la Conagua para hacer mucho más eficiente el uso del agua en el ámbito agropecuario e industrial, generar conciencia en el uso humano y atender las necesidades de la naturaleza?

Hoy, por ejemplo, el de la contaminación es un tema de enorme relevancia y existe una norma, la NOM-001-SEMARNAT-1996, que tiene más de 20 años; se está discutiendo para reno-

Evidentemente, las políticas de operación pueden sufrir cambios en el tiempo, pueden irse mejorando y actualizando, pero desfogar una presa no es una ocurrencia que tenga alguien; ya existe un protocolo, una política bien establecida para cada una de ellas, y con base en eso se operan. Ante eventos atípicos hidrometeorológicos, la Conagua prioriza la seguridad de las personas y la seguridad de la infraestructura. También suministra ese recurso para dar la suficiente seguridad alimentaria, que en parte es responsabilidad de la Conagua.

varla y agregar parámetros que la hagan más rigurosa, con la pretensión de que se atienda el tema de la contaminación.

En el caso de la agricultura, el sector es por mucho el que más agua consume. Evidentemente, tanto para la Conagua como para la Sader no hay otro camino que la tecnificación del riego. Hay casos de éxito, distritos y unidades de riego que tienen altos grados de tecnificación con resultados muy buenos en producción y un consumo mucho menor de agua. Yo considero que el riego por aspersión y el riego por goteo son muy buenas opciones, de probada eficiencia y eficacia.

Parece tratarse de un cambio radical y no de sencilla aplicación masiva, ¿verdad?

Efectivamente. Se trata de una inversión muy grande, hay que decirlo, aunque la tecnología existe y la intención de los productores por aplicarla también. Es realmente un tema de recursos hacer realidad la tecnificación.

Respecto al uso humano del agua, especialmente en los centros urbanos, los programas de manejo integral de pérdidas de agua por fugas, que representan un porcentaje muy alto del vital líquido distribuido —cerca al 40% en algunos casos—, implican el uso de tecnologías y metodologías. En este último caso, por ejemplo, la sectorización de la red de distribución, detectar tomas clandestinas, aumentar la macro y micromedición, etcétera, son temas a los cuales se les ha dado mucha importancia, pero hasta el día de hoy los resultados no han sido los esperados.

¿Por falta de recursos, falta de eficacia en la aplicación de políticas, ausencia de legislación adecuada, una combinación de variables...?

En general, por la falta de un seguimiento apropiado, porque se destinan recursos y se realizan estudios, pero una situación común específicamente en el subsector de agua potable y alcantarillado y tratamiento es que existe mucha rotación del personal. Puede ser que alguien logre un avance, y por cambios de personal esa institución o el organismo operador o la junta de agua, o la comisión estatal de agua, etcétera, después retroceda. Falta establecer y practicar una política, una cultura de continuidad institucional que sea independiente del personal en

turno. Podrá contarse con el mejor estudio del mundo, podrá tenerse la disposición necesaria, podrán haberse logrado los resultados esperados, pero si existe esta situación de mucha rotación del personal, al final del día el ciclo se interrumpe y el nivel de eficacia se reduce.

¿Esta problemática se da en todos los niveles de gobierno, en todos los organismos relacionados con la gestión del agua?

El cambio del personal se da fundamentalmente en los municipios, porque el artículo 115 constitucional otorga a los municipios la responsabilidad de todos los servicios, entre ellos el del agua potable. Una de iniciativas en curso es que estas condiciones se modifiquen.

¿Y cuándo se espera que se concrete?

No soy el adecuado para hablar de ese tema de la nueva ley, pero está en los planes.

¿Qué opinión tiene del ejercicio que se hizo de explorar acuíferos profundos en el Valle de México, desarrollado por el ingeniero geólogo Federico Mooser para abastecer agua a la capital de nuestro país?

Considero que el principal objetivo de esos pozos es la exploración, es conocer la geología del valle y del acuífero, más allá de establecer la hipótesis de que existe otra fuente. En lo personal, creo que el principal logro actualmente es tener un mayor conocimiento de la geología y la estratigrafía del acuífero del Valle de México.

¿No considera que pueda resultar en una fuente sustantiva de agua?

No hay hasta el momento datos que confirmen tal posibilidad; se requieren muchos más estudios para poder establecer una conclusión de ese tipo, y uno de ellos de forma coordinada con el Sistema de Aguas del Valle de México es continuar con más trabajos de exploración.

Se sabe que en algún momento el recurso va a escasear mucho más de lo que hoy escasea en el Valle de México. Se ha manejado alguna vez una hipótesis, aunque suene lejana o utópica, de llegar hasta el mar para recurrir a agua que alimente al Valle de México —me refiero al Golfo de México.

“Existen programas permanentes y programas especiales, de acuerdo con la demanda. Esta SGT, por ejemplo, tiene una relación directa con la CFE para la operación de presas; es una relación estrecha de intercambio de información, diariamente y en tiempo real. Otro programa permanente es el relacionado con la SCT, con la que tenemos una relación sobre los permisos de obra, la ocupación de zona federal y de caminos, etcétera.

Tanto la titular de la Conagua, Blanca Jiménez, como la jefa de Gobierno, Claudia Sheinbaum, se han reunido con los equipos técnicos del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (Sacmex) y de la Conagua, donde participo, para establecer la detección de posibles nuevas fuentes de abastecimiento de agua para la Ciudad de México. Es un trabajo que se ha estado haciendo desde hace seis meses, y se han detectado algunas fuentes. El Sacmex en paralelo dedica esfuerzos a la corrección de fugas. Ambas iniciativas, la identificación de nuevas fuentes y la reducción de fugas en las redes de agua potable, son imprescindibles y urgentes. Se han manejado varias opciones, proyectos como el de Temascaltepec, el Tecolutla-Necaxa, y en su momento se planteó la alternativa del Valle del Mezquital.

¿De qué manera está enfrentando la Conagua, desde lo técnico y lo operativo, los desafíos que implica el cambio climático?

Una de las iniciativas que está promoviendo la Conagua, a través de la Subdirección General Técnica, es poner en práctica un plan para el cual este año se formularon dos proyectos muy ambiciosos con horizonte de 10 años. Los dos tienen que ver con la medición del agua en el ciclo hidrológico, porque evidentemente no es posible afrontar fenómenos como el cambio climático sin tener mediciones. Entonces, la primera respuesta a su pregunta es que la Conagua lo afronta midiendo, estableciendo una estrategia nacional para medir mejor.

¿En qué consisten esos dos grandes proyectos? El primero es la reestructuración y modernización del Servicio Meteorológico Nacional; ahí se tiene considerada una reestructura no solamente del organismo, sino de los centros meteorológicos y los observatorios en el país: mejorarlos, equiparlos, adquirir nuevos radares (de ocho a 10 para todo el país), ejecutar más radiosondeos y disponer de una mayor cantidad de estaciones meteorológicas automáticas.

En el caso del otro proyecto, la Red Nacional de Medición del Agua (Renama), se contará con piezometría en todos los acuíferos del país para garantizar la medición eficiente de los 653 que existen; se va a tener medición de hidrometría en los principales ríos de todo

el territorio nacional; se van a tener instrumentadas todas las presas principales de Conagua, las tipificadas como grandes presas, y se va a continuar con el programa de medición de calidad del agua. Dicho sea de paso, esta administración desde el día 1 abrió todos los datos de medición de calidad del agua históricos que tenía la Conagua, y también los de presas en el portal web de la comisión, así como los atlas de riesgo por inundación.

Resumiendo, la respuesta a la pregunta de qué está haciendo Conagua con respecto al cambio climático es, primero, la medición, para con base en datos firmes poder hacer mejores pronósticos.

Finalmente, existen muchas instituciones académicas, del sector empresarial y públicas vinculadas al agua que se ocupan del sector. ¿Con cuáles la Conagua y particularmente la subdirección a su cargo tienen relación y cómo opera ésta?

Existen programas permanentes y programas especiales, de acuerdo con la demanda. Esta SGT, por ejemplo, tiene una relación directa con la CFE para la operación de presas; es una relación estrecha de intercambio de información, diariamente y en tiempo real. Otro programa permanente es el relacionado con la SCT, con la que tenemos una relación sobre los permisos de obra, la ocupación de zona federal y de caminos, etcétera.

La Conagua tiene una relación estrecha, continua y permanente con la Comisión Internacional de Límites de Aguas de la Secretaría de Relaciones Exteriores, por el tema de compartir aguas con Estados Unidos y Guatemala. Man-



El riego por aspersión y el riego por goteo son muy buenas opciones, de probada eficiencia y eficacia.

La Subdirección General Técnica tiene entre sus atribuciones calcular si existe agua disponible o no. Se tiene una buena relación con instituciones académicas públicas como el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional, y con privadas como el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Universidad de las Américas en Puebla, entre otras.



Ante eventos atípicos hidrometeorológicos, la Conagua prioriza la seguridad de las personas y de la infraestructura.

tenemos una relación directa con la Secretaría de Gobernación, porque muchas veces existen demandas sociales que hay que atender, y a menudo esas demandas tienen un componente técnico muy importante para poder solucionar los conflictos posibles o existentes. Estamos vinculados con los gobiernos de los estados; la Subdirección General Técnica de la Conagua en específico, en proyectos emblemáticos que muchos gobernadores quieren impulsar, por ejemplo proyectos como la presa El Zapotillo, donde se está intentando comenzar un diálogo con los pobladores afectados, a fin de iniciar por resolver un conflicto entre los habitantes de los poblados que serán inundados al llenar el vaso de almacenamiento y las necesidades de mayor suministro de agua potable para las ciudades de León, Guanajuato, la zona metropolitana de Guadalajara y los Altos de Jalisco. El gobierno de Durango tiene un proyecto muy importante a mediano plazo, la Presa del Tunal II. Otro ejemplo es la presa La Libertad, del gobierno de Nuevo León, que servirá para abastecer a una parte de la población de dicho estado.

En Monterrey está detenido el proyecto del acueducto del mismo nombre, ¿cierto?

Sí. Por el momento, el gobierno del estado tomó esa decisión. Parte del programa del propio gobierno estatal para atender la necesidad de suministro es la presa La Libertad, y la subdirección a mi cargo participa en la revisión del diseño, es decir, de cómo debe construirse la presa.

¿Cuál es la relación de la Conagua con los organismos operadores y las instituciones académicas?

En el caso de los organismos operadores, tenemos relación cuando solicitan algún título de asignación de agua, pero solamente participamos diciendo si existe la posibilidad, si existe agua o no. La subdirección general técnica tiene entre sus atribuciones calcular si existe agua disponible o no. Se tiene una buena relación con instituciones académicas públicas como el Instituto de Ingeniería de la UNAM, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Instituto Politécnico Nacional, y con privadas como el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey y la Universidad de las Américas en Puebla, entre otras.

¿Algún tema sobre el que no le haya preguntado y con el cual quiera cerrar este diálogo?

Simplemente deseo comentar y difundir a través de su medio que la Subdirección General Técnica organiza todos los martes el Comité Nacional de Grandes Presas, el cual puede ser observado en vivo a través de las diferentes plataformas digitales como Twitter o Facebook en la cuenta de la Comisión Nacional del Agua. Allí podrán tener la información más relevante de la semana en temas hidrometeorológicos 💧

Fotografías proporcionadas por la Conagua.

Entrevista realizada por Daniel N. Moser

Tránsito de avenidas en el vaso de almacenamiento de un modelo físico con HEC-HMS

Hoy en día, para dar solución a los problemas de ingeniería de los recursos hídricos, como el diseño de las obras hidráulicas y la modelación de los procesos hidrológicos más comunes que intervienen en estas estructuras, se emplean los programas computacionales; por ello, es necesario que los alumnos que se gradúan de la carrera de Ingeniería civil, además de dominar los conceptos teóricos, conozcan y sepan manejar *softwares* especializados para dar solución a este tipo de problemas ingenieriles.

ALEXIS LÓPEZ MONTES
Profesor de asignatura y técnico académico asociado C de tiempo completo definitivo en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (DHFI) de la UNAM.

JOSÉ LUIS ARAGÓN HERNÁNDEZ
Profesor de carrera asociado C de tiempo completo en el DHFI UNAM.

ALEJANDRO MAYA FRANCO
Profesor de asignatura y técnico académico asociado C de tiempo completo en el DHFI UNAM.

En el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM se elaboró una práctica para modelar el tránsito de avenidas en el vaso de un modelo físico, empleando el programa HEC-HMS, un *software* libre diseñado con el fin de que lo utilicen el sector público, académicos y estudiantes.

Antecedentes

El tránsito de avenidas en vasos es un procedimiento que sirve para determinar el hidrograma de salida de una presa dado el hidrograma de entrada (Chow, 1964).



Figura 1. Modelo físico de la presa Tecate.

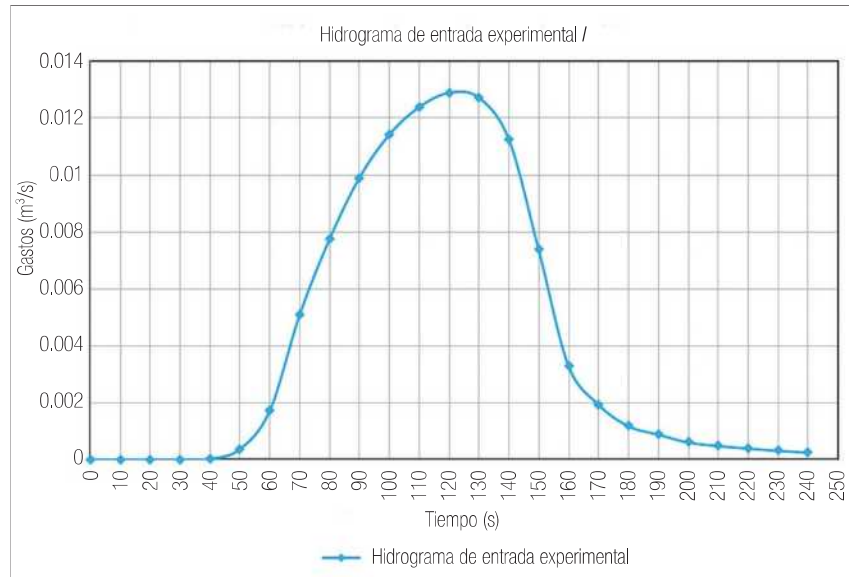
Tabla 1. Cargas y gastos de entrada al vaso

Δt (s)	h_e (m)	I (m ³ /s)
0	0.000	0
10	0.010	0.00000
20	0.020	0.00000
30	0.040	0.00000
40	0.170	0.00003
50	0.046	0.00037
60	0.085	0.00172
70	0.131	0.00508
80	0.155	0.00774
90	0.171	0.00990
100	0.181	0.01141
110	0.187	0.01238
120	0.190	0.01288
130	0.189	0.01271
140	0.180	0.01125
150	0.152	0.00737
160	0.110	0.00328
170	0.089	0.00193
180	0.073	0.00118
190	0.065	0.00088
200	0.056	0.00061
210	0.051	0.00048
220	0.047	0.00039
230	0.043	0.00031
240	0.039	0.00025

La ecuación fundamental para la simulación del funcionamiento de vasos es la de continuidad, más una relación de almacenamiento (Fuentes, 1999; Aparicio, 1987; Martínez, 2011); la primera es expresada de la siguiente manera:

$$\frac{dV}{dt} = I - O \quad (1)$$

donde:
 dV/dt es la variación del almacenamiento V en el tiempo t

**Figura 2.** Hidrograma experimental de entrada al vaso.

I , gasto de entrada al vaso

O , gasto de salida del vaso; incluye el gasto de salida por la obra de excedencias y de toma

En la práctica, el tránsito de avenidas en un vaso de almacenamiento se realizó con el programa HEC-HMS, el cual está diseñado para simular procesos hidrológicos completos en sistemas de cuencas; además, incluye procedimientos tradicionales de análisis hidrológico como el tránsito de avenidas en vasos, y considera evapotranspiración, fusión de la nieve y cuantificación de la humedad del suelo. En particular, este *software* usa para la simulación de entradas y salidas en un embalse (tránsito de avenidas en un vaso) la ecuación 1, y métodos como la curva de gastos de salida, estructuras de aforo para gastos de salida y especificaciones particulares de salida, mientras que para los métodos de almacenamiento utiliza la curva elevaciones áreas, y elevaciones capacidades.

HEC-HMS fue elaborado por el US Army Corps of Engineers, en el Institute For Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC-HMS, 2013).

Metodología

El experimento de la práctica se realizó en el modelo físico de la presa Tecate con el que cuenta el laboratorio; el modelo (véase figura 1) está formado por un vertedor triangular con el que se aforan los gastos de entrada al embalse y que se establecen con la válvula de alimentación; la carga hidráulica sobre el vertedor se determina con el limnómetro de gancho, mientras que el nivel en el embalse se calcula con el limnómetro de punta. Además, el modelo cuenta con una cortina, un embalse y una obra de excedencias cuya estructura de control es un vertedor de cimacio.

Procedimiento

A continuación se presenta el experimento que conforma la práctica de hidrología "Tránsito de avenidas en un vaso de almacenamiento", diseñada en el modelo físico de la presa Tecate.

Experimentación

El ensayo en el modelo físico consiste en lo siguiente:

1. Se midió la longitud efectiva de cresta L_e del vertedor de cimacio

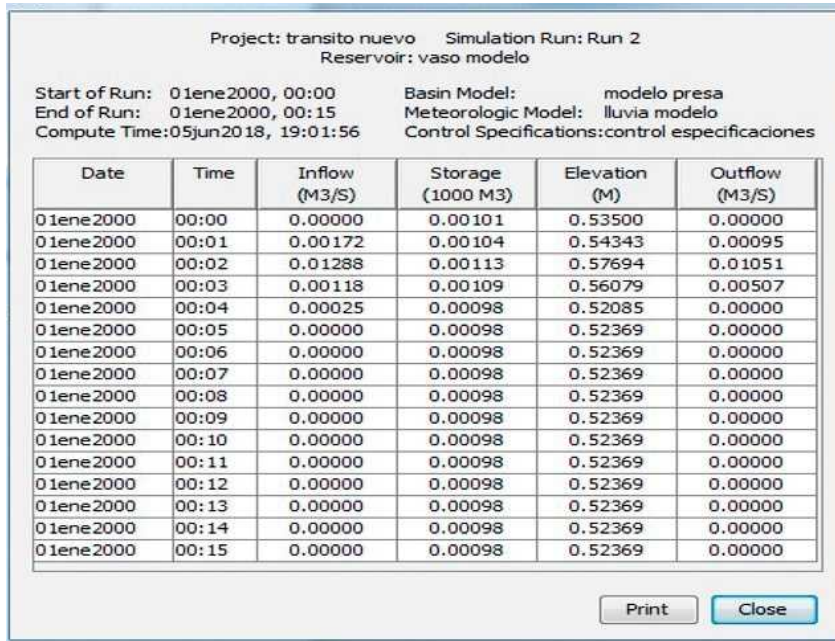


Figura 3. Resultados de la simulación con HEC-HMS.

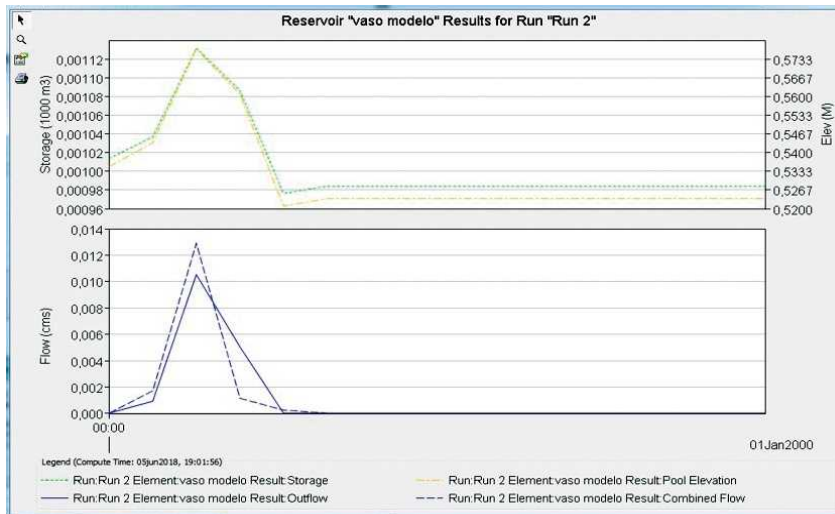


Figura 4. Resultados gráficos de la simulación con HEC-HMS.

El experimento de la práctica se realizó en el modelo físico de la presa Tecate con el que cuenta el laboratorio; el modelo está formado por un vertedor triangular con el que se aforan los gastos de entrada al embalse y que se establecen con la válvula de alimentación; la carga hidráulica sobre el vertedor se determina con el limnómetro de gancho, mientras que el nivel en el embalse, con el limnómetro de punta.

con el que cuenta la obra de excedencia, $L_e = 1.2$ m.

2. Se generó el hidrograma experimental de entrada al vaso, con el procedimiento siguiente:

- Se abrió la válvula de alimentación en forma gradual, en un tiempo de 120 s, e inmediatamente se cerró lentamente hasta completar 240 s; para esta apertura de válvula se consiguió generar la rama ascendente y ubicar el gasto pico del hidrograma en un tiempo pico de 120 s, mientras que con el cierre de la válvula se obtuvo la curva de recesión del hidrograma.
- Al mismo tiempo que se abrió la válvula de alimentación, se registraron cada 10 s las cargas sobre la cresta del vertedor triangular h_e (véase tabla 1), hasta llegar a un tiempo de 240 s.
- Durante el tránsito del hidrograma experimental en el vaso, se midieron el NAME y el NAMO experimental, que dieron 0.563 m y 0.535 m, respectivamente.
- Cabe mencionar que este procedimiento se realizó en varias ocasiones, hasta que se llegó a operar correctamente la válvula de alimentación y obtener un hidrograma experimental de entrada al vaso con una forma estilizada (véase figura 2).

Con las cargas de entrada h_e obtenidas durante la experimentación se determinaron los gastos de entrada / del hidrograma experimental de entrada al vaso (véanse tabla 1 y figura 2); para ello se recurrió a la ecuación 2, que corresponde a la del vertedor triangular (Aparicio, 1987), considerando un coeficiente de gasto C igual a $0.8183 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$.

$$I = Ch_e^{5/2} \quad (2)$$

La curva de elevaciones-capacidades del vaso del modelo que se

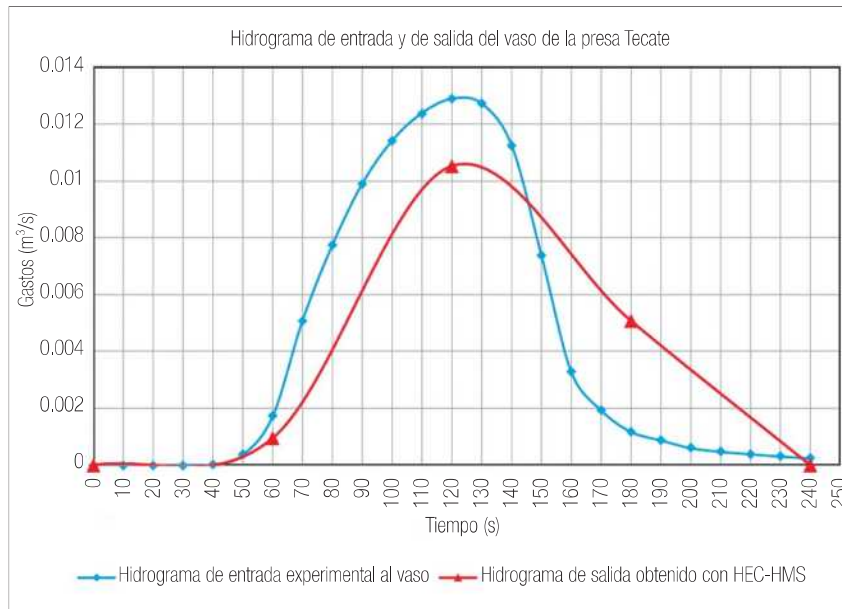


Figura 5. Hidrogramas de entrada y salida durante la simulación con HEC-HMS.

Los alumnos de la carrera de Ingeniería civil que cursen en los próximos semestres el Laboratorio de Hidrología contarán con una práctica que les permitirá adentrarse en el uso de herramientas computacionales aplicadas a la solución de problemas de ingeniería hidráulica. Esto contribuirá a mantener actualizados a los alumnos de la facultad.

empleó para la modelación con HEC-HMS (López, 2017) se muestra a continuación:

$$V = 2.49866Elev^{1.44143} \quad (3)$$

Resultados

Para la simulación del tránsito de avenidas en el vaso de la presa Tecate, se alimentó el programa HEC-HMS con los gastos de entrada I (véase tabla 1), la elevación del NAMO, así como la longitud efectiva de cresta, obtenidas en el apartado anterior; además, se consideró un coeficiente de descarga del vertedor de cimacio igual a $1.02 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$, y también se empleó la ecuación 3.

Los gastos de salida (*outflow*), elevaciones sobre la cresta del ver-

tedor de cimacio (*elevation*) y los volúmenes almacenados en el vaso (*storage*) obtenidos durante la simulación se presentan en las figuras 3 y 4.

La representación gráfica del hidrograma de entrada experimental, junto con el hidrograma de salida del vaso obtenido durante la simulación con HEC-HMS se presentan en las figuras 3, 4 y 5.

Los NAME y volúmenes al NAME, experimentales y calculados con HEC-HMS se muestran en la tabla 2. El volumen al NAME experimental se determinó con la ecuación 3.

También se determinaron los errores relativos (tabla 2), entre los valores experimentales y los obtenidos con HEC-HMS, para comparar la experimentación con la simulación.

Tabla 2. Valores experimentales, calculados y porcentajes de error

	NAME	Volumen al NAME
Experimental	0.563 m	1.0916 m ³
HEC-HMS	0.576 m	1.1308 m ³
% error	2.48	3.59

Conclusiones

Al revisar los errores mostrados en la tabla 2, se puede observar que éstos no rebasan el 5%, por lo cual es posible concluir que la simulación con HEC-HMS y el experimento en el modelo físico se realizaron correctamente.

Por lo anterior, se puede asegurar que los alumnos de la carrera de Ingeniería civil que cursen en los próximos semestres el Laboratorio de Hidrología contarán con una práctica que les permitirá adentrarse en el uso de herramientas computacionales aplicadas a la solución de problemas de ingeniería hidráulica. Esto contribuirá a mantener actualizados a los alumnos de la facultad 💧

Referencias

- Aparicio M., F. J. (1987). *Hidrología de superficie*. México: Limusa.
- Chow, V. T. (1964). *Hidrología aplicada*. México: Mc Graw Hill.
- Fuentes M., O., y V. Franco (1999). Estudio hidrológico para obras de protección. En: *Manual de ingeniería de ríos*. Cap. 3. México: Series del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- López M., A., y A. Maya F. (2017). Aplicación de métodos y procedimientos para el diseño de un vaso empleando un modelo físico. *Memorias del XXIV Congreso Nacional de Hidráulica*.
- Martínez M., S. I. (2011). *Introducción a la hidrología superficial*. Textos universitarios. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- US Army Corps of Engineers (2013). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Version 4.0*. Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.

Pascal y las paradojas hidráulicas

El término “paradoja” viene del latín *paradoxus* (lo contrario a la opinión pública), el cual, a su vez, proviene del griego *para* y *doxos* que significa “más allá o al lado de lo creíble”. Aunque la palabra es más o menos de uso común, el significado no está tan bien entendido.

En general pensamos que una paradoja está relacionada con alguna contradicción o contradicción respecto a lo esperado. En realidad, el término se utiliza en muchos contextos, por ejemplo en leyes o economía; sin embargo, en esta ocasión nos centraremos en las paradojas en el ámbito de la lógica. Así, en forma muy simplificada podemos clasificarlas en dos tipos: las afirmaciones que parecen falsas al sentido común, aunque en realidad son verdaderas, y las declaraciones que parecen verdaderas, pero en realidad son falsas, conocidas éstas como falacias. Este último tipo también incluye a las cadenas de razonamiento, en apariencia impecable, pero que conducen a una contradicción lógica. El selecto grupo de estos conceptos lo completan los dilemas, que son argumentos en los que se afirman dos ideas a menudo contra-

puestas, y las proposiciones indecidibles, que constituyen algo que no podemos ni refutar ni demostrar en forma concluyente. Para quien desee abundar en este apasionante tema, recomiendo los trabajos de Bertrand Russel (1872-1970) y Alfred Whitehead (1861-1947), considerados los padres de la lógica matemática, y por supuesto las contribuciones de Kurt Gödel (1906-1978), a quien debemos el célebre teorema de “incompletitud”.

Así como un buen acto de magia, una paradoja causa tanto asombro que inmediatamente se quiere saber cuál es el truco detrás de ella. Lo bueno es que, a diferencia de los magos, los físicos y matemáticos sí revelan su “secreto”. Con esta temática quiero compartir con ustedes al menos un par de paradojas derivadas de la hidráulica, ambas asociadas con los trabajos de un gran físico, matemáti-

ALDO IVÁN RAMÍREZ OROZCO
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores
de Monterrey.

co, inventor, teólogo y filósofo nacido en la región centro-sur de Francia: Blaise Pascal (1623-1662), conocido también por el desarrollo de una de las primeras (si no la primera) máquinas calculadoras, recordada como la pascalina, por sus investigaciones de la presión atmosférica y el vacío, el triángulo que lleva su nombre y el desarrollo de la teoría de la probabilidad. Quiero referirme a sus hallazgos en el campo de la hidráulica, particularmente en la hidrostática, la rama que estudia el equilibrio de los líquidos y gases.

A pesar de pertenecer a una familia acomodada, la niñez de Blaise no fue fácil. Cuando apenas tenía tres años de edad, su madre murió por las complicaciones del parto al nacer su hermana Jacqueline. Pascal fue más bien enfermizo durante toda su vida, además de correr con algo de mala suerte. En una ocasión, el carruaje donde viajaba perdió el control en un

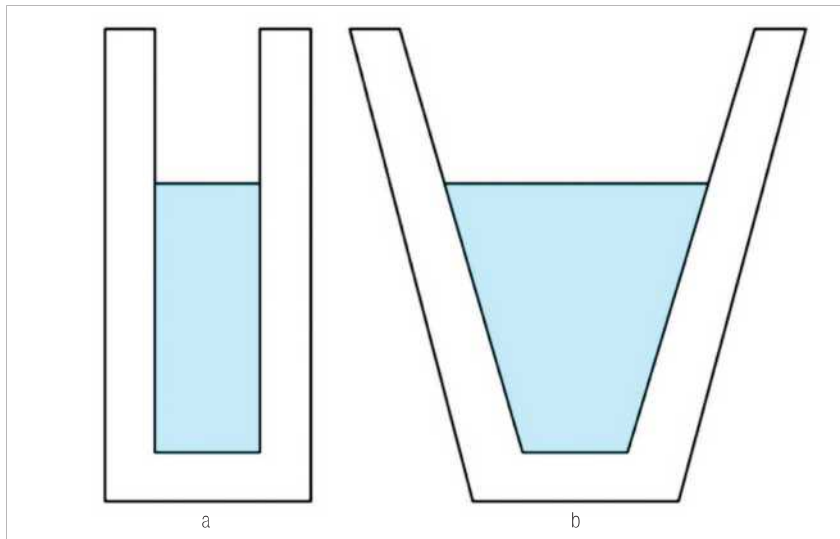


Figura 1. Esquema de la primera paradoja.

puente y quedó colgando, a punto de caer sobre el río Sena. ¡Qué pena que uno de los mejores hidráulicos hubiera fallecido precisamente ahogado! Blaise Pascal fue un niño prodigio que descubrió las leyes de las matemáticas por sí solo. Ello puesto que, al recibir su educación elemental en casa, su padre había dispuesto no enseñarle matemáticas hasta que tuviera 15 años.

Sin embargo, y en vista de que a los 12 años Blaise había ya descubierto que la suma de los tres ángulos internos de un triángulo suma dos ángulos rectos, no tuvo más remedio que involucrarlo en círculos más inte-

lectuales. Ahí empezó a desarrollarse plenamente en muchos campos.

En 1663 se publicó, póstumamente, el libro *Traité de l'équilibre des liqueurs*, en el cual Pascal describe muchos experimentos que lo llevaron a establecer lo que hoy llamamos las leyes de Pascal, referentes al concepto de presión en los líquidos. La primera de ellas expone que la presión que ejerce un líquido sin movimiento depende únicamente de su altura. Es decir, todos los puntos que están a la misma profundidad están sujetos a la misma presión. La segunda de ellas, propiamente la conocida como el principio que lle-

va su nombre, indica que la presión ejercida en un punto cualquiera de un líquido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa también sobre superficies en dirección perpendicular a éstas.

En su libro, ya Pascal sugiere la posibilidad de construir una máquina con dos recipientes conectados que contengan el mismo líquido y sean de diferente tamaño. Indica que, ejerciendo una presión en el líquido mediante un émbolo en el vaso de menor tamaño, se producirá una fuerza mayor que actúe sobre el segundo recipiente. Esto es lo que conocemos como prensa hidráulica o multiplicador de fuerzas. Prácticamente todos los dispositivos que en su nombre tengan el apellido “hidráulico” funcionan con base en las leyes de Pascal: el sistema de frenos de los coches, los gatos hidráulicos, las plataformas de elevación, la maquinaria con brazos móviles, etcétera.

Por cierto, mientras trabajaba con su prensa hidráulica, alrededor del año 1650, Pascal inventó una jeringa, y no fue hasta 1844 que el médico irlandés Francis Rynd le acopló una aguja hueca y la usó para aplicar sustancias de manera subcutánea en primer lugar, aunque merece la pena decir que hay algunas referencias de jeringas de succión hacia el siglo IX en Egipto.

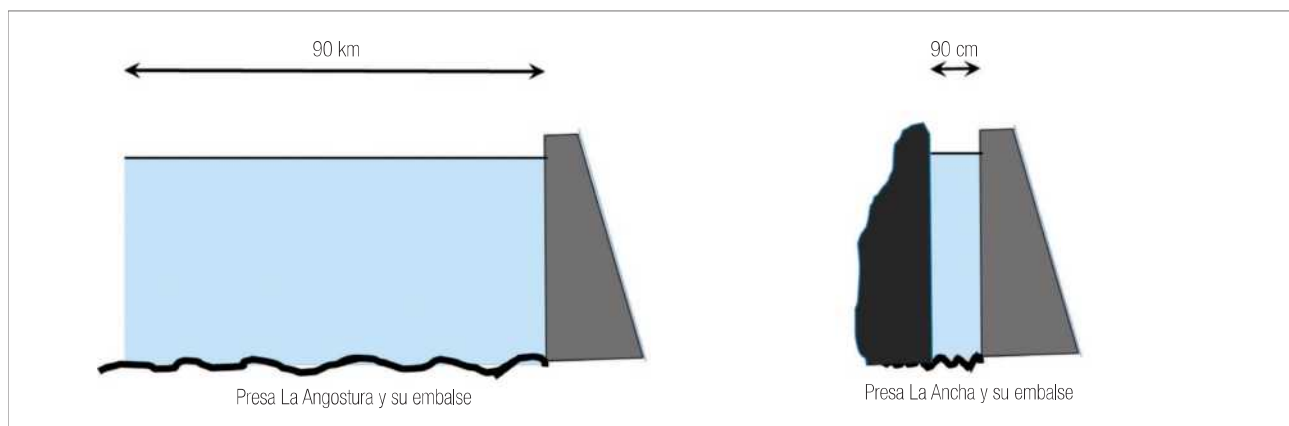


Figura 2. Cortinas de dos presas.

public.wmo.int/en

Las instancias decisorias responsables del desarrollo sostenible de los recursos de agua dulce han de tener acceso a datos hidrológicos exactos y fiables. Con el Sistema Mundial de Observación del Ciclo Hidrológico de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) se presta apoyo a los servicios nacionales para que adquieran y divulguen información hidrológica exacta y oportuna, esencial para formular estrategias de gestión integrada de los recursos hídricos. Por otra parte, a través del Programa de Hidrología y Recursos Hídricos de la OMM se promueve la evaluación de éstos y se facilitan las predicciones necesarias para planificar el almacenamiento de agua, las actividades agrícolas y el desarrollo urbano.

Las inundaciones constituyen un grave problema en muchas partes del mundo. Las llanuras inundables suelen ser zonas atractivas para el desarrollo humano, pero no hay que olvidar que las crecidas forman parte del régimen natural de un río. Como consecuencia, las prácticas de gestión de las crecidas son fundamentales para proteger a las personas y su desarrollo socioeconómico. Con el programa asociado de gestión de crecidas, una iniciativa conjunta de la OMM y la Asociación Mundial para el Agua, se promueve el enfoque de la gestión integrada de crecidas como una alternativa para afrontarlas y soportarlas.

www.gwp.org

La Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GWP) es una red global de acción que integra a más de 3,000 organizaciones socias de 179 países, y cuenta con 68 acuerdos nacionales y 13 regionales en torno al recurso hídrico. Está abierta a la colaboración con instituciones de investigación y de gobierno, agencias de la ONU, bancos de desarrollo, asociaciones de profesionales, organizaciones no gubernamentales y el sector privado.

La GWP pretende abonar a la seguridad hídrica en el plano internacional. Para ello se ha constituido como una entidad de gran alcance, diversa, inclusiva y de múltiples tipos de participantes, con más de 20 años de experiencia y acumulación de conocimientos. Un referente central para su labor es la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible.

En 1663 se publicó, póstumamente, el libro *Traité de l'équilibre des liqueurs*, en el cual Pascal describe muchos experimentos que lo llevaron a establecer lo que hoy llamamos las leyes de Pascal, referentes al concepto de presión en los líquidos.

La primera de ellas expone que la presión que ejerce un líquido sin movimiento depende únicamente de su altura. Es decir, todos los puntos que están a la misma profundidad están sujetos a la misma presión. La segunda de ellas, propiamente la conocida como el principio que lleva su nombre, indica que la presión ejercida en un punto cualquiera de un líquido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones.

Justamente la ecuación general de la hidrostática es de la que se deriva nuestra primera paradoja. Considérense dos recipientes con la misma área de base, como en la figura 1. Sin embargo, el primero de ellos tiene paredes verticales, mientras en el segundo las paredes son inclinadas partiendo de la base y ampliando la boca del recipiente. Si los dos recipientes están llenos hasta el mismo nivel con el mismo líquido, la fuerza de presión en el fondo será la misma. La lógica nos indica que el segundo recipiente contiene más líquido, por lo cual su peso es mayor y debería ejercer una presión más grande que en el caso del recipiente inicial. La explicación de la paradoja estriba en que a igual profundidad la presión es la misma, y si el área es la misma, las fuerzas serán iguales. En el segundo recipiente, las paredes inclinadas también están soportando parte del peso.

Derivada de la misma ley de la hidrostática de Pascal tenemos la segunda paradoja. Consideremos dos cortinas de presa, como en la figura 2. Ambas tienen la misma altura, pero la primera de ellas está embalsando un gran volumen de agua, de tal forma que el vaso de almacenamiento se extiende, digamos, unos 90 km, que corresponde aproximadamente a la presa Belisario Domínguez, La

Angostura, en Chiapas. La segunda, por su parte, posee un embalse que se extiende tan sólo 90 centímetros. Esta última, por supuesto, es completamente hipotética. La pregunta es: ¿cuál de las dos deberá construirse en forma más robusta, estructuralmente hablando? La lógica nos orienta a pensar que la del vaso más grande está reteniendo más agua y por lo tanto debería ser más fuerte. La verdad es que, por la ecuación básica de la hidrostática (de Pascal, por supuesto), al ser ambas de la misma altura, la presión en el fondo es exactamente igual, y las fuerzas hidrostáticas que tratan de desplazar o voltear a la cortina serán iguales. Esta paradoja se conoce en ocasiones como la paradoja de la presa.

Pascal murió el 19 de agosto de 1662, cuando todavía no cumplía los 39 años. La delicada salud que tuvo en su vida le cobró factura. La autopsia reveló daño importante en el estómago. Quizás tuberculosis o quizás cáncer con metástasis hasta el cerebro. A pesar de su muerte, sus trabajos siguieron siendo publicados de acuerdo con una lista que él mismo preparó. Su último trabajo, *Pensées* (*Pensamientos*), una especie de apología del cristianismo, es considerada una de las obras maestras de la literatura especulativa francesa 💧

CALENDARIO

FEBRERO 2021

21 al 26

The 17th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies

International Water Association
Reno, EUA
iwa-let.org

MAYO

16 al 20

Desalination for the Environment: Clean Water and Energy

European Desalination Society
Las Palmas, España
itccanarias.org

ABRIL

12 al 16

**XXVI Congreso Nacional de Hidráulica
XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica**

Asociación Mexicana de Hidráulica
y Asociación Internacional de Ingeniería
e Investigación Hidro-ambiental (IAHR)
Acapulco, México
congresolatamiahr.com
openconf.org/clh2020

JULIO

6 al 12

24th ICID Congress & 72nd IEC Meeting

International Commission
on Irrigation and Drainage
Sydney, Australia
icid2021.com.au

AGOSTO

9 al 11

8th International Conference on Flood Management (ICFM 8)

Universidad de Iowa
Iowa, EUA
icfm.world

9 al 14

IWA World Water Congress & Exhibition

Water for smart liveable cities
International Water Association
Copenhague, Dinamarca
worldwatercongress.org

XXIX Congreso Latinoamericano y XXVI Congreso Nacional de Hidráulica

La Asociación Mexicana de Hidráulica (AMH), el gobierno del estado de Guerrero y las instituciones más importantes del sector hídrico en el país organizan el XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica y XXVI Congreso Nacional de Hidráulica, que tendrá como sede el puerto de Acapulco, Guerrero, México.

XXIX Congreso
Latinoamericano de Hidráulica

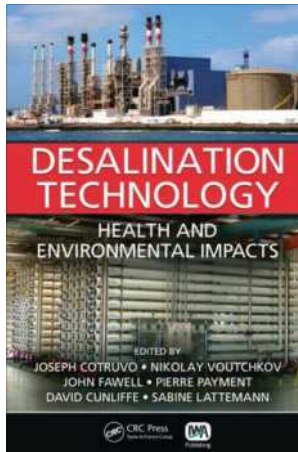


XXVI Congreso
Nacional de Hidráulica

Los foros técnicos más importantes que se organizan en el ámbito latinoamericano en materia de agua se desarrollarán simultáneamente y se tendrá la posibilidad de participar en ambos congresos con

un mismo artículo. Un espacio ideal para intercambiar experiencias y conocimientos, a la vez analizar los grandes problemas, retos y oportunidades del campo de la ingeniería hidráulica y ramas afines.

PUBLICACIONES



Desalination technology: Health and environmental impacts

JOSEPH COTRUVO ET AL. (EDS.)
CRC Press, 2010

El desarrollo de tecnologías de desalinización nuevas y mejoradas, con una gran reducción de costos en el proceso, ha ampliado las oportunidades de acceso a enormes cantidades de agua segura en muchas partes del mundo. Tal situación hace necesario para los operadores de servicios de agua contar con orientación basada en experiencias prácticas de científicos e ingenieros.

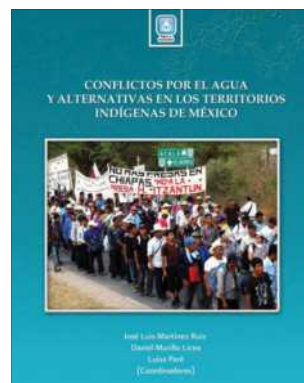
En este volumen se abordan desarrollos recientes en desalinización y sus impactos ambientales y relacionados con la salud pública. Escrito por expertos de diversos países, en el texto se presentan especificaciones para evaluar la calidad del agua, asuntos técnicos asociados con desalinización y los aspectos químicos del agua desalinizada y su microbiología. También se analizan temas de protección ambiental que apoyan en la optimización de instalaciones proyectadas o existentes, puntos como conservación de energía y sustentabilidad.

Conflictos por el agua y alternativas en los territorios indígenas de México

JOSÉ LUIS MARTÍNEZ RUIZ, DANIEL MURILLO LICEA Y LUISA PARÉ (COORDS.)
IMTA, 2017

Ante el crecimiento de los conflictos sociohídricos, en particular en las cuencas donde se asientan los pueblos indígenas, es impostergable reflexionar sobre la etiología de dichas confrontaciones. Reconocer sus verdaderas causas posibilita proponer alternativas —o impulsar las que se están construyendo actualmente desde lo local— que sean viables en lo social y en lo ambiental. En el presente libro, investigadores, representantes de organizaciones civiles y de comunidades y pueblos indígenas ofrecen sus análisis y reflexiones en torno a los conflictos y posibles respuestas de gestión.

A partir de los textos y testimonios emergen, entre otros, los siguientes cuestionamientos relacionados con la problemática del agua: ¿Por qué el aumento de conflictos por el agua y su agravamiento en los territorios indígenas de México? ¿Hay alternativas viables articuladas en lo social, lo económico y lo ambiental?



Agua y saneamiento en zonas periurbanas: manual de planeación participativa con enfoque de género

DENISE SOARES E HILDA SALAZAR
IMTA, 2017

El acceso universal al agua y al saneamiento sigue siendo una aspiración en el mundo. En 2015, la Cumbre de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible estableció la meta de garantizar que todas las personas accedan al agua potable y a los servicios de saneamiento e higiene para el año 2030. Estos objetivos, que los países se comprometieron a cumplir, establecen que el acceso, además de universal, debe ser equitativo. Y esto es así porque se reconoció que los obstáculos para que todas las personas ejerzan su derecho humano al agua no es principalmente la “escasez” del líquido, las alternativas técnicas o el insuficiente financiamiento, sino sobre todo la existencia de desigualdades sociales que provocan que 663 millones de personas carezcan de agua potable y 2,400 millones, de servicios básicos de saneamiento. Muchas de estas personas están en los países llamados en vías de desarrollo, habitan en zonas rurales y, como recientemente se ha documentado, viven en las zonas periurbanas.

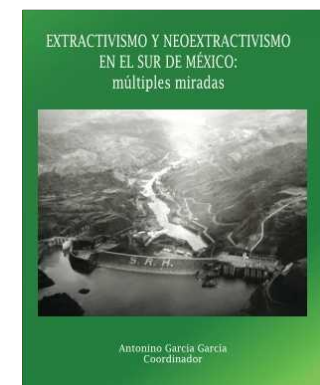
Extractivismo y neoextractivismo en el sur de México: múltiples miradas

ANTONIO GARCÍA GARCÍA (COORD.)
Universidad Autónoma Chapingo,
2017

Este libro es un esfuerzo colectivo en el que se analizan, mediante diversos enfoques teóricos y metodológicos, el proceso de extractivismo de recursos naturales y servicios ambientales y las políticas públicas en este tema en el sur de México (específicamente, los estados de Chiapas, Oaxaca y Tabasco), y en menor medida en países sudamericanos.

En cada uno de los capítulos incluidos se estudia no sólo el método mediante el cual se ejecuta el extractivismo, sino también los impactos sociales, culturales, ambientales, económicos e incluso políticos en los territorios intervenidos. A través de ellos, se pone en cuestionamiento la falacia de bienestar, progreso y desarrollo.

Específicamente se abordan los casos de la nueva minería en la Sierra Madre de Chiapas; el caso de plantas hidroeléctricas e hidrocarburos en ese estado; exclusión y áreas naturales protegidas, entre otros.



Curso en el CICEM

Los días 24 y 31 de agosto de 2019, en colaboración con el Colegio de Ingenieros Civiles de Estado de Morelos (CICEM), se realizó el curso de manejo del módulo HecGeoRAS en ArcGis y HecRAS, que fue impartido por Dranath Baheña Ayala y Rafael Briseño a socios de la AMH y miembros del CICEM.



Rinde protesta el XXXIV Consejo Directivo Nacional de la AMH

Se llevó a cabo la toma de protesta del XXXIV Consejo Directivo Nacional de la Asociación Mexicana de Hidráulica el 24 de septiembre en la Torre de Ingeniería de la UNAM. Patricia Ramírez Pineda, subdirectora de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de la Conagua, asistió en representación de Blanca Jiménez Cisneros, titular de esa comisión, para tomar protesta al nuevo Consejo Directivo encabezado por Arturo Palma Carro.

La AMH se ha consolidado durante 54 años como una agrupación activa con presencia en la academia, la investigación, la

administración pública y el sector privado. Todo ello, como resultado de la convergencia de esfuerzos y la participación conjunta de sus socios.

Palma Carro, en su discurso de toma de protesta, dijo que México necesita la experiencia, el conocimiento y el espíritu transformador característico de esta asociación y de sus integrantes. Resaltó la importancia de que la AMH trabaje en unidad para seguir contribuyendo en el sector hídrico del país.

El anterior consejo cerró su ciclo con Víctor Bourguett Ortiz como presidente desde el año 2017.



Por un presupuesto digno

El 29 de octubre se realizó la “Convención Nacional en Defensa de un Presupuesto Digno para el Sector Hídrico 2020”, organizada por la Comisión de Recursos Hidráulicos, Agua Potable y Saneamiento de la Cámara de Diputados. Arturo Palma Carro participó en la conferencia de prensa encabezada por el diputado Feliciano Flores, quien encabeza dicha comisión.

En su participación, Palma destacó los recortes que ha sufrido

la Conagua: “Los organismos operadores han sido los más afectados; este año quieren hacer un recorte adicional de más del 30%, y llegaremos a tener menos del 12% del presupuesto que se tenía en 2016”, afirmó.

Recordó que la ONU señala que los países en desarrollo tienen que hacer una inversión en el sector hídrico del 0.3% del PIB, y actualmente en México se invierte el 0.02% del PIB, lo cual afecta a los que menos tienen.



Dijo que un grave problema que enfrentan los organismos operadores de agua del país es el incremento en

las tarifas eléctricas, ya que hay estados que alcanzaron un incremento de hasta 120% en un año.

Revisión del estatuto de la AMH

México enfrenta grandes retos para brindar seguridad hídrica a sus habitantes y al medio ambiente. Las políticas ambientales e hidráulicas en el mundo están cambiando: los apoyos de las agencias internacionales apuntan en ese sentido, los programas de estudios en las universidades en todo el planeta se están modificando, y lo mismo sucede con los colegios y sociedades técnicas.

En particular nuestro país se encuentra en un proceso de revisión de su Ley de Aguas Nacionales, y es tiempo de que nuestra Asociación Mexicana de Hidráulica revise si esa legislación cumple con su función o si es necesario modificarla y actualizarla.

Por todas estas razones, se realizó en la ciudad de Acapulco un primer ejercicio de revisión



De izquierda a derecha: Jesús Campos López (ex presidente), Roger Octavio Utrilla de la Cruz (gerente, AMH), Jorge Carlos Saavedra (ex presidente), Marco Antonio Murillo (ex presidente), Arturo Palma Carro (presidente del XXXIV Consejo Directivo), Felipe Arreguín Cortés (ex presidente), Humberto Marengo (ex presidente), Manuel Cerro Rojas (ex presidente de la AMH, sección Guerrero, y presidente de la CMIC Guerrero), Jorge Malagón (ex presidente), Alejandro Gutiérrez (representante de la AMH, sección Jalisco).

del estatuto, a cargo de Felipe Arreguín Cortés, Arturo Palma Carro, ex presidentes de la AMH y representantes de diferentes

regiones del país que atendieron el llamado de nuestra asociación los días 22 y 23 de noviembre.

Se planteó tener a inicios de año una versión preliminar del estatuto y someterlo a aprobación de los socios entre abril y mayo de 2020.

Asamblea General Extraordinaria 2020

En cumplimiento de la solicitud de la Junta de Honor durante la asamblea del 30 de mayo de 2019, el 27 de febrero de 2020 se realizó la Asamblea General Extraordinaria convocada para la modificación de los estatutos de la Asociación Mexicana de Hidráulica. Se contó con más de 60 participantes de Aguascalientes, la Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Morelos y Tabasco, entre otras entidades.

Durante más de seis horas, se discutieron los puntos a modificar,

entre los cuales destacan los siguientes:

- Fortalecimiento de las secciones regionales a través de la participación activa de los presidentes en el Consejo Directivo nacional.
- Integración de al menos dos mujeres en la conformación del Consejo Directivo nacional.
- Involucramiento de los capítulos estudiantiles en las decisiones de la asociación.
- Integración activa y rotativa de los ex presidentes para integrar el Consejo Consultivo y la Junta de Honor.



El objetivo es fortalecer a la AMH y cubrir eventualidades no previstas en el actual estatuto. Es importante reflejar el verdadero espíritu de

nuestra asociación, promoviendo la transparencia en todos los procesos.

Seguiremos trabajando por una AMH fortalecida y unida.



Precongreso de la sección regional Chiapas

Se desarrolló el pasado 12 de marzo el precongreso con el lema "Agua y energía: una visión para el futuro", con la presencia de autoridades académicas de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (Unicach) y la Universidad Autónoma de Chiapas, así como de la Comisión Nacional del Agua en la región Frontera Sur, el Instituto Estatal del Agua (IEA) Chiapas, capítulos estudiantiles de diferentes universidades del estado y parte del Consejo Directivo Nacional de la

Asociación Mexicana de Hidráulica, encabezado por Arturo Palma Carro.

Como parte del encuentro, se firmaron convenios de colaboración con la Unicach y el IEA, con los que se contribuirá al desarrollo de proyectos y se fortalecerán las actividades de investigación, actualización y el ejercicio profesional de la hidráulica.

Además, se realizaron reuniones de trabajo con el Consejo Directivo de la sección Chiapas y con autoridades de las universidades coorganizadoras.

Eligen nueva directiva de la AMH sección Guerrero

En la Asamblea General realizada el 20 de febrero en Chilpancingo, integrantes de la Asociación Mexicana de Hidráulica eligieron al nuevo comité que los representará durante el periodo 2020-2022.

Arturo Ayala Garduño fue designado como presidente, y

manifestó la disposición para poner su experiencia y profesionalismo para beneficio de Guerrero. Por su parte, Vicente Salgado Parra dijo respaldar al nuevo comité con el fin de fortalecer a la AMH e impulsar al sector en busca de una mejor gestión del agua en México.



EXPOSICIONES

El Franz Mayer reabre sus puertas

En el Centro Histórico de la CDMX, el museo Franz Mayer está de regreso para adentrarse en su arquitectura, conocer el diseño textil y descubrir cómo la estampa ha servido como medio de difusión para las artes. La reapertura del recinto, luego de más de cinco meses, se da con los protocolos de seguridad y sanitarios oficiales.

Además de tomar un respiro en su jardín o de visitar la colección de artes decorativas más importante del país con piezas que datan del siglo XVI, en el Franz Mayer se pueden ver tres exposiciones temporales:

La arquitecta mexicana Frida Escobedo reflexiona sobre diseño arquitectónico, la ciudad y sus habitantes con la exposición *El otro*,

la cual forma parte del Festival de Arquitectura y Ciudad MEXTRÓPOLI.

El añil, un tinte vegetal considerado de lujo o de grado ceremonial, se muestra a través de 40 piezas procedentes del Museo Textil de Oaxaca para la exposición *Azul añil*.

Por otra parte, en la muestra temporal *Grandes Maestros del grabado europeo* se podrán apreciar obras de Rembrandt, Durero y Brueghel, entre otros, que muestran la importancia de la estampa como medio de difusión y denotador de ideas políticas, sociales, o de la imagen misma.

Av. Hidalgo 45, Centro Histórico, col. Guerrero, alcaldía Cuauhtémoc 06300, Ciudad de México. Desde el 25 de agosto de 2020.



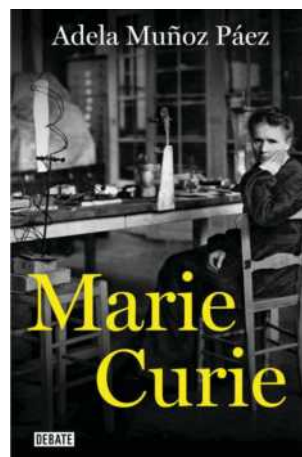
LIBRO

Marie Curie

Adela Muñoz Páez, Debate, 2020

¿Una científica genial o una mujer ambiciosa que se aprovechó del talento de su marido? ¿Un ídolo de masas o una persona patológicamente introvertida? ¿Una esposa abnegada o una amante apasionada que destruyó una familia?

Todos creemos saber quién fue Marie Skłodowska. También conocida como Marie Curie, fue la primera mujer en recibir un Premio Nobel y la primera mujer científica



en ser reconocida universalmente: su descubrimiento de la radioactividad fue el inicio de una brillante carrera que culminó con la incor-

poración de dos nuevos elementos a la tabla periódica.

Admirada tras ser galardonada con su primer Nobel, compartida tras la muerte de Pierre Curie y ferozmente atacada tras el escándalo Langevin, fue a la vez venerada en su Polonia natal, aclamada por los estadounidenses y los franceses por el desarrollo de la radioterapia, y minusvalorada por algunos círculos científicos por su condición de mujer.

Marie Curie ha pasado a la historia como la descubridora de la radiactividad, un fenómeno en la frontera entre la física y la química que revolucionó la ciencia. Fue una celosa defensora de sus descu-

brimientos, pero a la vez tan despreciada que no patentó ninguno. Aunque su lengua materna fue el polaco, estudió en ruso, celebró su matrimonio en francés y pronunció sus discursos más importantes en inglés. Sin embargo, políglota y cosmopolita como era, nunca perdió su identidad polaca. De hecho, nombró el primer elemento químico que descubrió, el polonio, en honor a su país natal. Amante de la naturaleza, paseó por las montañas, nadó en los mares que tuvo a su alcance y recorrió su vida montada en bicicleta. Trabajó, amó y vivió apasionadamente, hasta que el fulgor del radio que ella había descubierto le robó el último aliento.

XXIX Congreso
Latinoamericano de Hidráulica



XXVI Congreso
Nacional de Hidráulica

Nueva fecha

12 AL 16 ABRIL 2021

¡Te esperamos en *Acapulco!*

Guerrero, México.

**FECHAS IMPORTANTES PARA ACEPTACIÓN
DE ARTÍCULOS PARTICIPANTES**

SEDE: Hotel Princess Mundo Imperial

amh.org.mx
congresolatamiaahr.com





CONSTRUCCIONES
Fypasa



PLANTAS POTABILIZADORAS PARA EL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Fypasa Construcciones, S.A. de C.V., construye para el Sistema de Aguas de la Ciudad de México cinco plantas potabilizadoras de aguas subterráneas que satisfacen la NOM-127-SSA1-1994 y su modificación.

En proceso de arranque y pruebas están ya las plantas **La Vega**, **La Libertad** y **Granjas San Antonio**, con capacidades de 60, 40 y 60 l/s, respectivamente. Por su parte, las plantas **Jardines del Pedregal** y **Ciudad Deportiva 2**, que se encuentran en un avanzado estado de construcción (mayor del 80%), se diseñaron para capacidades de 80 y 100 l/s.

En todas estas plantas se eliminarán contaminantes tales con fierro y manganeso, y adicionalmente turbiedad, color y nitrógeno amoniacal en Ciudad Deportiva 2 y bario, boro, dureza y sólidos disueltos en La Libertad.

Los procesos unitarios empleados para eliminar los metales son oxidación con cloro y filtración en arena antracita o zeolitas, en tanto que para eliminar bario, boro, dureza y sólidos disueltos se usa ósmosis inversa. Para asegurar la desinfección y garantizar cloro residual en el efluente tratado, se dosifica hipoclorito de sodio.