



REVISTA DIGITAL TLÁLOC AMH

Editorial

- Estudio de la disponibilidad de agua de la Cuenca Transfronteriza Río Bravo/Grandes
- Zona de inundación de la cuenca hidrológica del Río Yautepec
- Simulación de la Onda de Avenida por Ruptura de Tanque de Enfriamiento



Asociación Mexicana
de Hidráulica

EDICIÓN 46 • ENERO-MARZO 2010



Revista Digital Tlaloc AMH

Vol. 46 - Enero-Marzo 2010

Consejo Editorial

Dr. Felipe Arreguín Cortés
Director

Subdirector General Técnico
Comisión Nacional del Agua
Profesor de asignatura - Posgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Tel: 52 555 1744400
felipe.arreguin@revistatlaloc.mx

Dr. Víctor Alcocer Yamanaka
Coordinador Editorial
Coordinador Editorial - Revista Tlaloc AMH
Coordinador - Coordinación de Hidráulica
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Profesor de asignatura - Posgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Tel: 52 777 3293678 (secretaria)
52 777 3293600 ext. 816 (directo)
yamanaka@tlaloc.imta.mx
yamanaka@revistatlaloc.mx

XXX Consejo Directivo

Presidente
Dr. Humberto Marengo Mogollón

Vicepresidente
Dr. Felipe I. Arreguín Cortés

Primer Secretario
Ing. Fernando Rueda Lujano

Segundo Secretario
Ing. Luis Athié Morales

Tesorero
Ing. Mario López Pérez

Primer Vocal
Ing. Felipe Tito Lugo Árias

Segundo Vocal
Ing. Marco Alfredo Murillo Ruiz

Miembros del Consejo Editorial

Ing. Luis Athié Morales
Comisión Federal de Electricidad

Dr. Moisés Berezowsky
Instituto de Ingeniería de la UNAM

M. en I. Víctor Bourguett Ortiz
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Dr. Jaime Collado
Consultor

Dr. Gabriel Echávez Aldape
División de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería de la UNAM

Dr. Jürgen Mahlknecht
Centro del Agua para América Latina y el Caribe (CAALCA), Tecnológico de Monterrey

Dr. Óscar Fuentes Mariles
Instituto de Ingeniería de la UNAM

Ing. Efraín Muñoz Martín.
Consultor

Dr. Polioptro Martínez Austria
Universidad de las Américas de Puebla

Ing. Roberto Olivares
Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento

Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco
Centro del Agua para América Latina y el Caribe (CAALCA)

Ing. Juan Carlos Valencia Vargas
Comisión Estatal del Agua de Morelos

Tlaloc AMH. Es una publicación trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C. Para otros intereses dirigirse a Camino Santa Teresa 187, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, México, D.F. Tel. y fax (55) 5666 0835. Certificado de licitud de título núm. 12217 y de contenido núm. 8872. Reserva de derechos al uso exclusivo en trámite. El contenido de los artículos firmados es responsabilidad de los autores y no necesariamente representa la opinión de la Asociación Mexicana de Hidráulica. Ninguna parte de esta revista puede ser reproducida en medio alguno, incluso electrónico, ni traducida a otros idiomas sin autorización escrita de sus editores. Concepto gráfico, diseño y diagramación: M.A.M. Gema Alín Martínez Ocampo.

Contenido

Editorial	5
1. Estudio de la disponibilidad de agua de la Cuenca Transfronteriza Río Bravo/Grandes	7
1.1. Resumen	7
1.2. Abstract	8
1.3. Introducción	8
1.4. El estudio de disponibilidad	10
1.5. Resultados	14
1.6. Referencias	17
2. Zona de inundación de la cuenca hidrológica del Río Yautepec	19
2.1. Introducción	19
2.2. Problemática	20
2.3. Antecedentes	21
2.4. Concepto y Funciones de la Cuenca	23
2.5. Características de la cuenca	28
2.6. Avenida máxima de diseño	30
2.7. Conclusiones	33
2.8. Referencias	35
3. Simulación de la Onda de Avenida por Ruptura de Tanque de Enfriamiento	37
3.1. Introducción	37
3.2. Metodología	39
3.3. Método de volúmenes finitos	40
3.4. Modelos de simulación	41
3.5. Determinación del hidrograma experimental de salida por la brecha	45
3.6. Aplicación	46
3.7. Resultados	47
3.8. Conclusiones	48
3.9. Referencias	48



Editorial

Nacida en el año 1994, Tláloc, nuestra revista, se editaba solamente en papel, y como muchas otras instituciones, la Asociación Mexicana de Hidráulica veía limitada su capacidad de reproducir la revista por factores básicamente de orden económico-presupuestario, y muchas veces el número de artículos que se deseaban publicar estaba por encima de la capacidad de edición de la revista. Esta situación obligó a producir tirajes limitados, que se distribuían solamente entre los agremiados de la Asociación que contaban con datos correctos dentro del padrón de la AMH, por lo que muchos ejemplares eran devueltos y llenaban las bodegas de nuestra Asociación. Pero la más grave es que la revista no llegaba a los estudiantes y especialistas no inscritos en la AMH, situación que sin duda limitaba nuestro alcance y excluía a este importante segmento

Posteriormente, se editaba en papel y en forma digital, se podía acceder desde el portal Internet de la AMH. Sin embargo la necesidad de editar en papel seguía imponiendo las limitaciones señaladas, aunadas al tiempo que requiere todo el proceso editorial ; la consecuencia fue que en algunos años se publicaron solamente dos números y se alteró con ello la periodicidad de la revista.

A partir de ahora, con el número 45, la Revista Tláloc tiene su propio portal de Internet (<http://www.revistatlaloc.mx>), de acceso libre y gratuito para todo el público, y solamente se edita en forma digital. De esta manera ampliamos nuestro alcance socio demográfico, con

este nuevo formato cada persona, desde la comodidad de su casa u oficina, podrá leer la revista y en su caso, imprimir los artículos o notas que resulten de su interés.

Algunas de las ventajas que ofrece esta modalidad es que los autores de los artículos tendrán un mayor control sobre los procesos editoriales, ya que pueden ser ellos mismos los que realicen parte de las tareas; no habrá las limitaciones estrictas de espacio que suelen imponer las editoriales; el tiraje no estará limitado; la revista estará disponible para cualquier persona que quiera consultarla; no existirán „números atrasados“ ni devoluciones; se facilitarán los mecanismos de publicidad, en beneficio de universidades, institutos de investigación y empresas; se favorecerá el contacto directo e inmediato con los lectores, pues la inclusión de las direcciones de correo electrónico de los autores permite el debate, la crítica o el comentario; también se fomenta la comunicación entre especialistas en campos afines, pues la red permite localizar fácilmente a personas que trabajan en diversos ámbitos de interés de los lectores.

Cada número estará disponible inmediatamente después de su publicación en el portal Internet y los lectores no necesitan espacio físico para almacenar la revista en papel.

De esta forma, el Comité Editorial de la revista se suma también, una vez más, al cuidado del medio ambiente, mediante la considerable disminución del uso de papel y tinta.

Esperamos con esta nueva etapa de nuestra Revista Tláloc, continuar brindándole la información técnica y contextual que usted espera, con el rigor y seriedad que nos ha caracterizado como editores.

ATENTAMENTE

Dr. Felipe Arreguín Cortés
Dr. Víctor Alcocer Yamanaka

1

Estudio de la disponibilidad de agua de la Cuenca Transfronteriza Río Bravo/Grandes

MSc. Mario López Pérez**

"Gerente de Ingeniería y Normas Técnicas.
Subdirección General Técnica.
Comisión Nacional del Agua.
mariolopezperez@cna.gob.mx

1.1. Resumen

En México, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento disponen que para el otorgamiento de asignaciones y concesiones se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua, y ésta debe calcularse de acuerdo a una Norma Oficial Mexicana, la cual establece el método base para su determinación. La región hidrológica No 24 río Bravo tiene una superficie de 226,300 km² dentro México y 231,000 km² en los Estados Unidos de América (EUA), por lo que desde 1944 existe un tratado internacional para distribuir las aguas superficiales. En él se señala, que corresponde a EUA un volumen que seis afluentes mexicanos descargan al cauce transfronterizo, que no debe ser menor, en conjunto en promedio y en ciclo de cinco años de 431.721 hm³ anuales

En este trabajo se presentan los resultados del estudio de disponibilidad de la cuenca, que muestran que no existe agua para concesionar o asignar en la mayor parte de la cuenca, salvo en su parte baja donde las posibilidades de aprovechamiento son muy limitadas por el régimen del escurrimiento, así como por la topografía. La publicación del estudio de disponibilidad es la base y requisito indispensable para iniciar el proceso de reglamentación de las aguas superficiales de la cuenca.

1.2. Abstract

In México the National Water Law establishes that any water right authorization should take the mean annual water availability into account and it must be determined through a Mexican Official Standard. This Standard sets the baseline methodology to determine the mean annual water availability. The Rio Bravo hydrologic region No 24 has 226,300 km² in México and 231,000 in the United States of America. A binational Water Treaty signed in 1944 assigns the surface water between both countries. Among other rules the joint runoff of six Mexican tributaries to the transboundary river should be not less than 431.731 hm³ in average and in a five year cycle.

Palabras claves

Bravo, Disponibilidad, Transfronteriza

1.3. Introducción

En México, la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento dispone que para el otorgamiento de asignaciones y concesiones (se llama asignación al Título que otorga el Ejecutivo Federal, a través de la autoridad del agua, para realizar la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales a los municipios, estados o al Distrito Federal, destinadas a los servicios de agua con carácter público urbano o domésticos; en caso que se otorguen a personas físicas o morales de carácter público o privadas, los Títulos de denominan conce-

sión) se tomará en cuenta la disponibilidad media anual de agua, y señala que esta debe calcularse de acuerdo a una Norma Oficial Mexicana, La NOM 011-CNA 2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2002), publicada en 2002, tiene como objeto establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas para su explotación, uso o aprovechamiento.

La región hidrológica No 24 río Bravo tiene una superficie de 226,300 km² dentro México y 231,000 km² en los Estados Unidos de América (EUA).

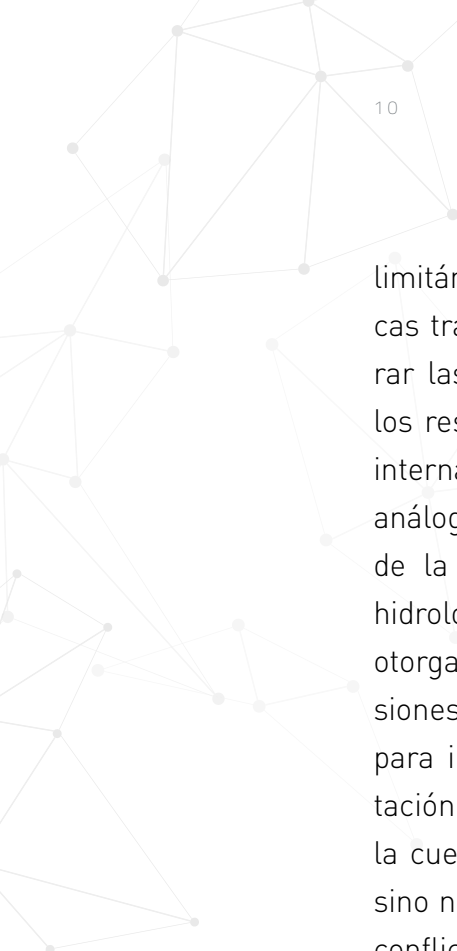
El río Bravo nace con el nombre de río Grande en las montañas Rocallosas de este último país, dentro del estado de Colorado, recorre parte de los estados de Nuevo México y Texas, hasta la población de El Paso, a partir de la cual sirve como límite entre los dos países (Figura 1). Existe un tratado internacional para distribuir las aguas superficiales del tramo común, firmado en 1944, y en él se señala, entre otros acuerdos, que corresponde a EUA un tercio del volumen que seis afluentes del lado mexicano descargan al cauce del río Bravo, volumen que no debe ser menor, en conjunto, en promedio y en ciclo de cinco años consecutivos de 431.721 hm³ anuales.

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales, la Comisión Nacional del Agua debe dar participación al Consejo de Cuenca en la elaboración de los estudios de disponibilidad. Este es un órgano colegiado creado en el 2000 y está integrado por representantes de cada uno de los distintos usos del agua de cada una de las 5 entidades federativas que se encuentran en el área de la cuenca, así como representantes gubernamentales de estos mismos estados, de la Comisión Internacional de Límites y Aguas sección mexicana y de la misma Comisión Nacional del Agua.

Cabe señalar que la NOM011-CNA 2000 no señala específicamente como incluir los Tratados Internacionales,



Figura 1.1.
Cuenca
transfronteriza
río Bravo/
Grande



limitándose a señalar que en cuencas trasfronterizas se deben considerar las disposiciones establecidas en los respectivos reglamentos, tratados internacionales u otros ordenamientos análogos. Por otro lado, la publicación de la disponibilidad en esta cuenca hidrológica además de servir para el otorgamiento de asignaciones y concesiones, es un requisito indispensable para iniciar el proceso de reglamentación de las aguas superficiales de la cuenca, la cual no sólo es urgente sino necesaria para evitar a futuro los conflictos que se han presentado tanto entre los usuarios nacionales como con los de EUA por el aprovechamiento de estas aguas.

1.4. El estudio de disponibilidad

Para el estudio original la región fue dividida en 37 cuencas definidas por puntos que controlan los escurrimientos que entran y/o salen de ellas. Las estaciones hidrométricas y los principales embalses de la región adoptan esta función. La información consideró un periodo de análisis de 1950 a 2004, sobrepasando los 20 años que la Norma marca como mínimo.

Los retornos de los grandes centros urbanos de la cuenca se evaluaron

con base a su crecimiento poblacional y de la Zona Metropolitana de Monterrey, cuya población actualmente supera los 3,200,000 habitantes. En cuanto a las extracciones históricas, se encontraron sólo algunos datos de los usos de los grandes usuarios, en particular de los Distritos de Riego (DR) y de la Zona Metropolitana de Monterrey, por ello fue necesario estimar los usos históricos de aguas en otras localidades urbanas que se abastecen con agua superficial, completar los usos históricos de los DR y calcular el resto de los usos durante el periodo de análisis, considerando una tendencia histórica de evolución por subregión y un ajuste anual por cuenca para representar las variaciones anuales del recurso.

Para el cálculo de escurrimiento natural en una cuenca se empleó el llamado método directo señalado en la NOM 011 CNA 2000 para cada año de análisis, incluyendo la variación de almacenamiento y la pérdida por evaporación de los cuerpos de agua dentro de la cuenca, los cuales no aparecen en la fórmula básica de la Norma, pero dada la magnitud de los principales embalses de la región, se hizo necesaria su inclusión.

Una vez calculado el escurrimiento natural C_p en cada una de las 37 cuencas, el volumen medio anual de escurrimiento que ocurriría bajo las condiciones actuales hacia aguas abajo $Esc\ Ab$ se determinó con:

Ecuación 1.1

$$Esc_{Ab} = Esc_{Ar} + C_p + R + Imp - Exp (SUC + SEv)$$

C_p	= es el escurrimiento generado en la cuenca
$Esc\ Ar$	= es el escurrimiento que entra a la cuenca en forma natural proveniente de cuencas aguas arriba,
$Imp\ y\ Exp$	= son volúmenes que entran (importaciones) y salen (exportaciones) de la cuenca en forma artificial, respectivamente
R	= es el volumen total de aguas de retornos
SUC	= es el total de los usos consuntivos en la Cuenca
SEv	= es el total del volumen evaporado en los embalses dentro la cuenca.

En el estudio inicial, para tomar en cuenta la primera condición del Tratado, se calculó $Esc\ Ab$ de las cuencas que corresponden a las descargas de los seis afluentes al cauce del río Bravo y en la cuenca inmediata inferior, correspondien-

te al cauce principal, se incluyó una exportación equivalente a un tercio del $Esc\ Ab$ mencionado. Sin embargo, con estos seis valores, no fue posible cumplir con la parte del tratado que señala la cantidad mínima por entregar, por lo que se asignó una descarga extra a cada afluente para cubrir ese mínimo.

La asignación de un compromiso de descarga para cada uno de los seis tributarios señalados en el Acuerdo de 1944 para cumplir con el valor mínimo de 431.721 hm³, no es posible debido a las grandes fluctuaciones del volumen aportado por parte de los tributarios, además de que el Tratado no señala una aportación específica por cada tributario sino que la cantidad de 431.271 hm³ es para el conjunto de las seis corrientes y en periodos de cinco años. Esta consideración es esencial pues da a México una gran flexibilidad para cumplir con su compromiso. En efecto, desde la elaboración del Tratado por parte de representantes de México y EUA en la década de 1930-40 (Orive Alba, 1945; SRE.CILA, 1995), se reconoció que la cuenca del río Bravo es una región muy irregular en su comportamiento hidrológico, ya que las grandes avenidas no se presentan al mismo tiempo

en todos los afluentes, los cuales además presentan en particular gran variabilidad anual, debido a que la cuenca está expuesta a fenómenos climáticos extremos como grandes sequías y el impacto ciclones tropicales. Esto se hace evidente en los registros hidrométricos, los cuales presentan una desviación estándar cercana o mayor a la media.

En la modificación del estudio inicial, se conservaron los valores de las variables para el cálculo de Esc_{Ab} , pero se determinó realizar el cálculo de las aportaciones actuales Esc_{Ab} de cada cuenca hacia la siguiente por

separado del cálculo de la disponibilidad D , la cual se define como la diferencia entre las aportaciones mencionadas y los volúmenes R_{xy} que se requieren para atender las demandas de la cuencas inferiores, esto es:

$$\text{Ecuación 1.2} \\ D = Esc_{Ab} - R_{xy}$$

Así, el cálculo de Esc_{Ab} (que se denominó simplemente como balance) se realizó utilizando la división de la región en 37 cuenca como en el estudio original, lo que permitió una mayor precisión, la cual se requería en las cuencas donde la oferta es

Figura 1.2.
Discretización
de la región río
Bravo para cálculo
de balance y
disponibilidad



menor a la demanda ($Esc\ Ab < 0$). Sin embargo, con el fin de conservar la flexibilidad que el Tratado de 1944 da a México para cumplir con su compromiso, para el cálculo de D (disponibilidad) las 37 cuencas se integraron en 4 subregiones, una de las cuales corresponde al conjunto de los seis afluentes que menciona el Tratado y otra a la sección del cauce principal donde descargan esos afluentes, tratándose ambas en forma integral, de tal manera que cada una tuviese un valor de salida ($Esc\ Ab$), considerando para la denominada subregión Seis Afluentes la suma de los $Esc\ Ab$ de cada afluente, valor que en conjunto se descarga al tramo del cauce principal que se denominó Subregión Medio Bravo (figura 2). Esto permitió considerar las aportaciones de los seis afluentes en forma conjunta, como lo señala el Tratado, y poder asignarles, también en conjunto, un compromiso total de descarga hacia el cauce principal de 1,295.163 hm^3 , el cual permitirá cumplir con el volumen mínimo por entregar a EUA, esto ya que $1,295.163 / 3 = 431.721$ hm^3 , es decir entregar un tercio de las descargas de los seis afluentes, valor que no debe ser menor, en conjunto, en promedio y en periodos de cinco años, de 431.721 hm^3 .

De esta manera al $Esc\ Ab$ conjunto de los seis afluentes (subregión Seis Afluentes), que conforme al balance resultó de 857.5 hm^3 , se le asoció para el cálculo de la disponibilidad a un compromiso Rxy hacia aguas abajo de 1,296.163 hm^3 , con lo cual, para la subregión Seis Afluentes:

Ecuación 1.3

$$D = Esc\ Ab - Rxy = 857.5 - 1,296.163 =$$
$$D = -437.6\ hm^3$$

La disponibilidad negativa o déficit de 437.6 hm^3 . indica que se requiere una aportación extra conjunta de los seis afluentes por 437.6 hm^3 , para cumplir con las condiciones que marca el Tratado de 1944.

Un segundo punto del estudio inicial se refería al origen de los volúmenes con que se deben satisfacer las demandas de los usuarios, en particular de los sistemas de usuarios de la parte baja del cauce principal, los cuales se localizan aguas abajo del último embalse internacional (Presa Falcón), pues si bien el título de concesión de agua de los usuarios agrícolas de un Distrito de Riego (el DR 025) señala como fuente a una presa derivadora (Derivadora Anzaldúas) localizada en el cauce del río Bravo, los escurrimientos

en los meses de estiaje, periodo en el que se concentra la demanda, provienen casi exclusivamente de la presa Falcón. Para considerar esta dependencia se asignó en el punto de salida de la subregión Medio Bravo, donde se localiza la presa mencionada, un compromiso R_{xy} , de 1,403.5 hm^3 , el cual corresponde al volumen necesario por extraer del embalse para cubrir los requerimientos de los usuarios del Bajo río Bravo. Con esto también se determinó en forma más precisa las descargas del cauce principal al mar, considerando que los escurrimientos naturales de las cuencas inferiores a la presa Falcón no son aprovechables debido a que se presentan en la época de lluvias, cuando no son necesarios, y a la falta de infraestructura para regularlos ya que la topografía plana y al nivel del mar no lo permite.

1.5. Resultados

El estudio de disponibilidad modificado de la región Río Bravo, al igual que el inicial, indica que no existe volumen disponible después de atender las actuales asignaciones y concesiones de agua, excepto en los últimos tramos, el cual difícilmente puede ser aprovechable dada su proximidad a la descarga del río al mar. Por otro lado, también ambos estudios señalan que el tercio de la descarga que los seis tributarios hacen al cauce principal no son suficientes para cubrir el volumen mínimo de 431.721 hm^3 que señala el Tratado de Aguas Internacionales de 1944. Sin embargo con los cambios y consideraciones adoptadas, el estudio modificado indica además del volumen que bajo las condiciones actuales puede entregarse a los EUA en cumplimiento de una de las condiciones del Tratado de 1944, el volumen extra que deben descargar en conjunto los seis tributarios, para cubrir el volumen mínimo que señala la otra condición (Tabla 1). Estos resultados son importantes, pues servirán como base para el proceso de reglamentación para equilibrar hidrológicamente la cuenca. Si bien se realizan acciones estructurales para educir las demandas (e.g. modernización y

La región hidrológica No 24 río Bravo tiene una superficie de 226,300 km^2 dentro México y 231,000 km^2 en los Estados Unidos de América (EUA)

Tabla 1.1. Resultados del estudio de disponibilidad de la cuenca
Transfronteriza río Bravo/Grande

Subregión	Cuencas			Ab	Rx	D
	Núm.	Denominación oficial	Descripción	hectómetros cúbicos		
ALTO BRAVO	1	Río Bravo 1	Río Bravo: desde presa derivadora internacional (Cd. Juárez) hasta Fort Quitman	129.6	149.7	-20.1
		Río Bravo 2	Río Bravo: Desde Fort Quitman hasta estación Presidio	149.4	172.8	-23.4
SEIS TRIBUTARIOS	3 a 13, 18, 19, 21, 23 y 26 a 28	Río Florido 1 a 3, Río Parral, Río Balleza, Río Conchos 1 a 4, Río Chuisca, Arroyo de las Vacas, Río San Diego, Río San Rodrigo, Río Escondido, Río Sabinas, Río Nadadores y Río Salado	Cuencas de los seis tributarios señalados en el inciso c de la parte B del artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944	857.5	1,295.2	-437.6
MEDIO BRAVO	14 a 17, 20, 22, 24, 25 y 29	Río Bravo 3 a 11	Cuenca del cauce principal del río Bravo señalada en el inciso d de la parte B del artículo 4 del Tratado sobre Aguas Internacionales de 1944.	665.7	1,403.5	-737.8
BAJO BRAVO	30	Río Álamo	Río Álamo: Desde su origen hasta al EH Mier	36.2	38.7	-2.5
	31	Río Salinas	Río Salinas: Desde su origen hasta la EH Icamole	7.5	8.4	-1.1
	32	Río Pequería	Río Pequería: Desde la EH Icamole hasta la EH Los Herrera	32.6	64.5	-31.9
	33	Río San Juan 1	Río San Juan: Desde su origen hasta la presa El Cuchillo	71.0	140.4	-69.5
	34	Río San Juan 2	Río San Juan: Desde EH Los Herrera y presa El Cuchillo hasta EH Los Aldama	120.8	263.3	-142.5
	35	Río San Juan 3	Río San Juan: Desde la EH Los Aldama hasta la EH Camargo	-405.3	0.0	-516.6
	36	Río Bravo 12	Río Bravo: Desde presa Falcón y EH Mier y Camargo hasta EH Anzalduas	-516.6	0.0	-516.6
	37	Río Bravo 13	Río Bravo: Desde EH Anzalduas hasta EH Matamoros (Golfo de México)	0.9	0.0	0.9

tecnificación del riego), la reglamentación deberá asegurar, mediante limitaciones a los volúmenes de agua de las concesiones y asignaciones en función de la oferta de agua natural que se presente anualmente y junto con nuevas políticas de operación de los embalses, contar con las aportaciones mínimas necesarias para que México cumpla con su compromiso internacional de entrega de agua. Esta garantía de contar con el agua que el Tratado de 1944 le asigna a los EUA, siempre ha sido motivo de incertidumbre y diferencias entre los países. Por ello el mecanismo

de la reglamentación es algo en que ambos países coinciden.

Finalmente en el largo plazo, el esquema de ordenamiento del uso del agua en la cuenca considera que una vez cubiertas las aportaciones requeridas para el cumplimiento en los volúmenes asignados a los EUA, los estados mexicanos podrán donde se localizan estos afluentes contar con agua para atender las demandas que a futuro puedan presentarse. Hoy en día estas demandas solo se satisfacen mediante la transferencia de derechos de agua conforme a la Ley de Aguas Nacionales.



1.6. Referencias

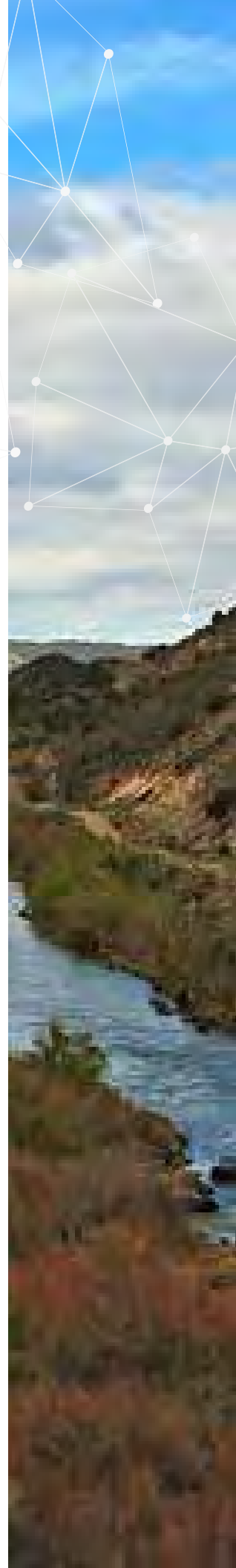
Comisión Nacional del Agua (2004).
Ley de Aguas Nacionales y su
Reglamento, México.

Orive Alba, A. (1945).- Informe técnico sobre el Tratado Internacional de Aguas. Reproducción por la revista Ingeniería Hidráulica en México de los artículos publicados originalmente en el Num 3 Vol XXVI Jul-Sep 1945 de la Revista Irrigación en México. México. 1962

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2002).

Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales, México.

Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE). Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) (1995). El Tratado de Aguas Internacionales celebrado entre México y los Estados Unidos el 3 de febrero de 1944, México.





2

Zona de inundación de la cuenca hidrológica del Río Yautepec

David Zúñiga Malpica
Instituto Tecnológico de Zacatepec

Resumen

La información presentada en el siguiente artículo en gran medida aborda la problemática, acciones y consecuencias derivadas del desbordamiento del río Yautepec, cuya corriente fluye de norte a sur en el centro del estado de Morelos. Como es de conocimiento general en las comunidades cercanas al río, en época de estiaje existe una sensación de calma al ver el pequeño riachuelo pasar por el cauce indefinido del río Sin embargo en la temporada de lluvias la gente siempre esta alerta de la duración y cantidad de la lluvia que más tarde pudiera derivar en el aumento del caudal que provocaría la eminente inundación. Es por esto que estas líneas proponen a la comunidad en general y en especial a las instancias de Gobierno Municipal, Estatal y Federal tomar conciencia del problema para que participen en las diversas medidas estructurales o no estructurales que solucionen o disminuyan los efectos presentados en la zona de inundación del río Yautepec, evitando con ello pérdidas materiales y posibles pérdidas humanas.

2.1. Introducción

Las inundaciones es uno de los problemas más importantes en lo que a catástrofes se refiere, ya que ocasionan grandes pérdidas económicas, ecológicas y de salud; así como también pérdidas de vidas humanas.

La parte sur del estado de Morelos cuenta con planicies de inundación y particularmente el río Yautepec no es ajeno a estas catástrofes.

Para implantar acciones tendientes disminuir los efectos de una inundación es necesario conocer anticipadamente la respuesta hidrológica de la cuenca a una lluvia de cualquier intensidad y duración que puede presentarse en la cuenca.

La zona de interés que nos ocupa por su importancia económica y social se localiza en la planicie localizada a partir de la estación hidrométrica Ticumán hasta la comunidad de Temilpa viejo en el Municipio de Tlaltizapan de Zapata, Morelos. Esta zona tiene una superficie estimada de 20 km³, el 70% corresponde a los ejidos de Ticumán, Bonifacio García y Temilpa Viejo. El 30% de la zona se ubican las comunidades de Ticumán, Col. Bonifacio García y Temilpa viejo, así como también los balnearios Parque acuático natural las “Estacas” y Santa Isabel.

La actividad económica de la región depende principalmente del comercio, el turismo por su ruta de balnearios y manantiales y su zona arqueológica y colonial donde destacan

haciendas, conventos, iglesias y museos, el cultivo de granos y cereales, caña de azúcar, hortalizas, frutas, flores y plantas, la crianza de ganado bovino, porcino, ovino, y en menor escala la avicultura y la apicultura.

Estas actividades se ven frecuentemente paralizadas por las inundaciones producidas en época de lluvias en la parte baja de la cuenca donde se encuentran los municipios de Yautepec, Ticumán y Tlaltizapan, provocando un retraso en el desarrollo económico de la zona, y la degradación de áreas de cultivo, afectando con ello la calidad de vida de sus habitantes.

2.2. Problemática

Dentro de las principales variables que intervienen en el desbordamiento del escurrimiento del río Yautepec se tienen:

- El río Yautepec tiene aportaciones importantes derivadas de los fenómenos hidro-meteorológicos y de su alteración (cambio climático), así como también de las condiciones de uso actual del suelo en la cuenca ocasionando escurrimientos cada vez más grandes en la época de lluvias.

- El cauce del río es sinuoso y angosto lo que provoca el depósito de material de arrastre en las orillas del cauce y disminución de la capacidad hidráulica.
- Existen basura doméstica e industrial que origina taponamientos y árboles dentro del cauce y por las orillas que son derribados por las avenidas ocasionando erosiones fuertes en los márgenes del río.
- Las inundaciones que se presentan en la población de Ticumán se deben a que se continúa invadiendo la zona federal y la sección que el río reconoce como cauce principal.
- El puente que se encuentra ubicado en el balneario Santa Isabel Carr. Jojutla - Yautepec, a la altura del libramiento Ticumán no tiene las dimensiones necesarias para permitir el libre paso de una avenida máxima extraordinaria lo cual ocasiona un remanso aguas arriba y el desborde del río.

2.3. Antecedentes

El presente estudio se realizó tras observar los problemas de inundaciones ocasionados por incrementos en el gasto que presenta el río

Yautepec a la altura de la localidad de Ticumán, fenómeno que ocasiona estragos en el fraccionamiento Ticumán, Municipio de Tlaltizapan, Morelos. Para el presente estudio se tomaron datos hidrométricos de la estación hidrométrica localizada en el cruce con la carretera estatal Yautepec-Jojutla de Juárez, en Ticumán, Morelos.

La cuenca del río Yautepec hasta la estación hidrométrica Ticumán tiene un área de 964 km². La longitud del cauce principal es de 65 Km. de los cuales 20 Km pertenecen a la zona de baja en donde al menos en un tramo de 8 Km se presenta el desbordamiento del río ocasionando problemas de inundación en una superficie estimada de 20 km². El cauce principal del río Yautepec tiene un desnivel máximo de 3170m con una pendiente media de 0.049.

A la fecha existen varios estudios realizados por la Comisión Nacional del Agua CNA tendientes a dar solución a este problema de inundación, sin embargo, las acciones aplicadas han sido solamente paliativas como son los trabajos de desasosie propuestos a solicitud del gobierno municipal de Tlaltizapán de Zapata, Mor., en el periodo 2000-2003 y 2003-



2006, localizados a partir del puente el tecolote en Ticumán hacia aguas abajo hasta el puente carretero que comunica la cabecera municipal de Tlaltizapan y la comunidad de Temilpa Viejo. Los trabajos de desasolve se realizaron por la Subsecretaría de Obras Públicas del Gobierno del estado en coordinación con el H. ayuntamiento de Tlaltizapan iniciando en 1999 para continuar en los años 2001 al 2005.

De acuerdo con datos de aforo de la Comisión Nacional del Agua CNA, gerencia regional del Balsas (Estudio Hidrológico de fecha 4 de junio 1999) se tienen registros desde 1953 los cuales muestran en la Tabla 2.1.

A partir de los gastos máximos anuales del periodo de 1949 a 1987 y el resto de 1987 a 1998 se realizó el proceso de ajuste de datos a diferentes funciones de probabilidad para extrapolar registros de gastos máximos que se pueden presentar para diferentes periodos de retorno, Tabla 2.2.

A solicitud del Gobierno Municipal de Tlaltizapan de Zapata 2000-2003, se realizaron pláticas con personal de la Comisión Estatal de agua y medio ambiente CEAMA y de la Comisión Nacional del agua CNA. Derivado de

La cuenca del río Yautepec hasta la estación hidrométrica Ticumán tiene un área de 964 km²

Tabla 2.1. Gastos máximos mostrados en el estudio hidrológico de Conagua, 1999.

Año	Mes	Día	Hora	Gasto	Escala
1967	junio	12	6	429.20 m ³ /seg	5.16 m
1998	septiembre	29	1	476.06 m ³ /seg	10.32 m

Tabla 2.2. Gastos máximos para diferentes periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	Estación Hidrométrica
10	junio
50	septiembre
100	
500	
1000	

varias reuniones de trabajo en las cuales se analizó el problema de fondo del tránsito del río Yautepec, se formó una comisión permanente integrada por los presidentes municipales de Yautepec, Tlaltizapan y Tlaquiltenango. Esta comisión estuvo presidida por el Secretario Ejecutivo de la CEAMA, mismo que se encargaba de citar a reuniones a las dependencias Federales, Estatales y Municipales.

La Comisión Nacional del Agua para resolver el problema de la zona de inundación del río Yautepec propone contar con un Proyecto Ejecutivo Integral que tome en cuenta el área total de la cuenca y en especial 28 km de cauce principal (tramo donde se localizan las comunidades afectadas de los Municipios de Yautepec, Tlaltizapán y Tlaquiltenango). En base a este proyecto estar en condiciones de programar y ejecutar las acciones no estructurales y las obras hidráulicas que solicite el proyecto. En el 2003 la CNA plateó los términos de referencia del Proyecto Ejecutivo y valoró un costo aproximado del proyecto de 10 millones de pesos. En Palacio de gobierno el Ex-secretario Ejecutivo de la Comisión Estatal de agua y Medio ambiente (CEAMA) comentó que por la magni-

tud del monto del Proyecto corresponde estas gestiones técnicas a la Comisión Nacional del Agua.

Es de constatar que el Gobierno Federal y estatal se deslindan de toda responsabilidad al pasar el problema de un lado para otro. A partir del 2004 el Gobierno del Estado a través de sus dependencias; Secretaría de Desarrollo Urbano, vivienda y Obras Públicas, Dirección de Protección Civil y la CEAMA continúan realizando obras de desasolve en puntos críticos localizados a lo largo del río Yautepec, acciones y obras que solo funcionan temporalmente pues no obedecen a un estudio integral que implique toda el área de la cuenca hidrológica.

2.4. Concepto y Funciones de la Cuenca

Antes de entrar a tratar el tema del presente artículo y con el propósito de comprender de mejor manera el concepto de Cuenca Hidrológica abordaremos una terminología del concepto y funciones de la misma.

La Cuenca Hidrográfica es una unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio



dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las aguas de las precipitaciones; también conocido como “parteaguas”. El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión, en la zona hipométricamente más baja. Al interior de las cuencas se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios.

La definición de cuenca hidrológica es más integral que la de cuenca hidrográfica. Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas

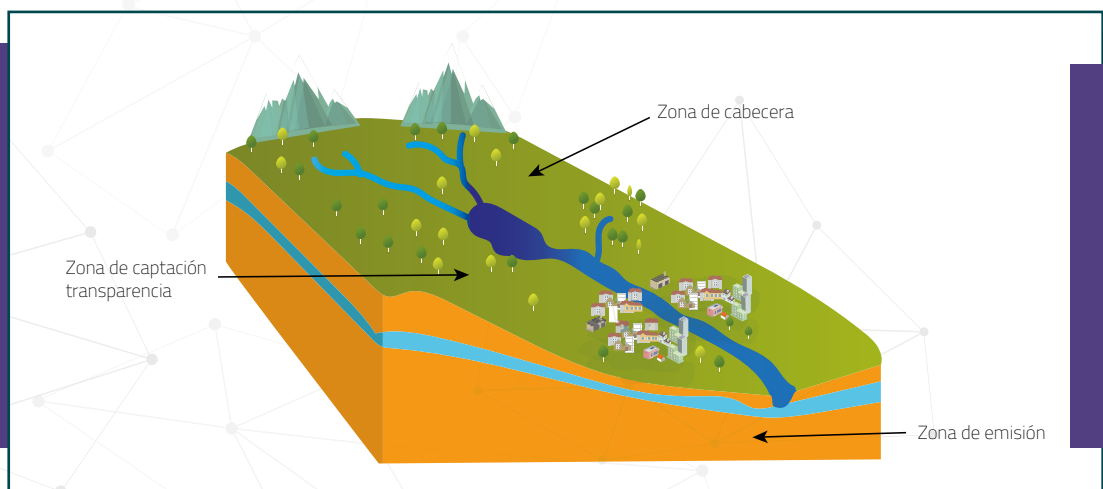
integrales y además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo.

Tanto las cuencas hidrográficas como las hidrológicas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico principales como se muestra en la Figura 2.1.

Funciones de la cuenca

Los procesos de los ecosistemas que describen el intercambio de materia y flujo de energía a través de la vinculación de los elementos estructurales del ecosistema pueden ser vistos como un sistema: Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen:

Figura 2.1.
Tres zonas de funcionamiento hídrico



Función Hidrológica

- Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- Desearga del agua como escurrimiento.

Función Ecológica

- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- Provee de habitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

Función Ambiental

- Constituyen sumideros de CO₂.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos

Función Socioeconómica

- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades

productivas que dan sustento a la población.

- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

Servicios ambientales de la cuenca

Del flujo hidrológico: usos directos (agricultura, industria, agua potable, etc.), dilución de contaminantes, generación de electricidad, regulación de flujos y control de inundaciones, transporte de sedimentos, recarga de acuíferos, dispersión de semillas y larvas de la biota.

De los cielos bioquímicos: almacenamiento y liberación de sedimentos, almacenaje y reciclaje de nutrientes, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica, detoxificación y absorción de contaminantes.

De la Producción biológica: creación y mantenimiento de habitat, mantenimiento de la vida silvestre, fertilización y formación de suelos.

De la descomposición: procesamiento de la materia orgánica, procesamiento de desechos humanos.

Implicaciones ecológicas de la cuenca

Al interior de la cuenca, el agua funciona como distribuidor de insumos primarios (nutrientes, materia orgánica, sedimentos) producidos por la actividad sistémica de los recursos. Este proceso modela el relieve e influye en la formación y distribución de los suelos en las laderas, y por ende en la distribución de la vegetación y del uso de la tierra.

La utilización del agua entra con frecuencia en conflicto con la conservación del medio ambiente y la biodiversidad. Dada la extraordinaria riqueza de recursos bióticos e hídricos de la cuenca y la degradación a la que están siendo sometidos, el análisis de la relación entre la gestión de los recursos hídricos y la del medio ambiente constituye una prioridad para esta Dirección.

La cuenca integra procesos y patrones de los ecosistemas, en donde las plantas y los animales ocupan una diversidad de habitat generado por variaciones de tipos de suelo, geomorfología y clima en un gradiente altitudinal.

La cuenca constituye una unidad espacial ecogeográfica relevante para analizar los procesos ambientales generados como consecuencia

de las decisiones en materia de uso y manejo de los recursos agua, suelos y vegetación. Por lo tanto, constituye un marco apropiado para la planificación de medidas destinadas a corregir impactos ambientales producto del uso y manejo de los recursos naturales

Manejo integral de una cuenca hidrológica.

Es un proceso iterativo de decisiones sobre los usos y las modificaciones a los recursos naturales dentro de una cuenca. Este proceso provee la oportunidad de hacer un balance entre los diferentes usos que se le pueden dar a los recursos naturales y los impactos que éstos tienen en el largo plazo para la sustentabilidad de los recursos. Implica la formulación y desarrollo de actividades que involucran a los recursos naturales y humanos de la cuenca.

De ahí que en este proceso se requiera la aplicación de las ciencias sociales y naturales. Asimismo, conlleva la participación de la población en los procesos de planificación, concertación y toma de decisiones. Por lo tanto el concepto integral implica el desarrollo de capacidades locales que faciliten la participación. El fin de

los planes de manejo integral es el conducir al desarrollo de la cuenca a partir de un uso sustentable de los recursos naturales.

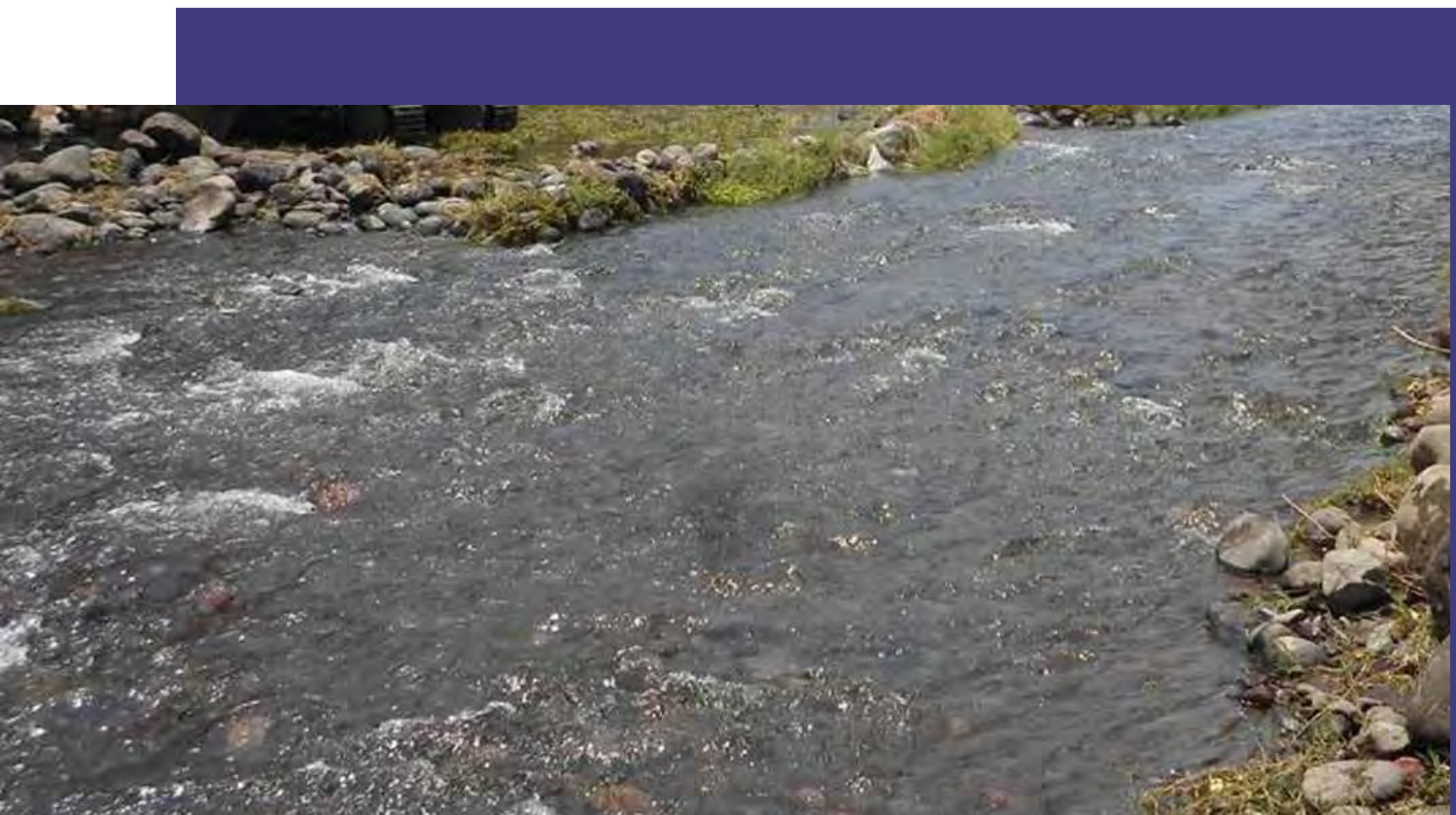
La Cuenca como unidad de Gestión ambiental

La cuenca constituye la principal unidad territorial donde el agua, proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada, y disponible como oferta de agua.

Con frecuencia las cuencas hidrográficas poseen no solo integridad edafo-biógena e hidroclimática sino que, además, ostentan identidad

cultural y socioeconómica, dada por la misma historia del uso de los recursos naturales. En el ámbito de una cuenca se produce una estrecha interdependencia entre los sistemas bio-físicos y el sistema socio-económico, formado por los habitantes de las cuencas, lo cual genera la necesidad de establecer mecanismos de gobernabilidad.

Por esta razón, la cuenca hidrográfica puede ser una adecuada unidad para la gestión ambiental, a condición de que se logren compatibilizar los intereses de los habitantes de sus diferentes zonas funcionales y las actividades productivas de las mismas.



El proceso de implementación de las políticas públicas que garanticen la conservación de los recursos y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población en las cuencas hídricas, es la gestión ambiental.

2.5. Características de la cuenca

La cuenca del río Yautepec se ubica en la parte norte del estado de Morelos y abarca parte del estado de México, queda comprendida en la región hidrológica No. 18 (Río Balsas) y se ubica entre los paralelos $18^{\circ}47'30''$ de latitud norte y el meridiano $98^{\circ}38'00''$ de longitud oeste.

El río Yautepec nace en las faldas del volcán Popocatepetl, en el pico del fraile conocido con el nombre de cañada Nexpayantla, cruza el poblado de Ozumba del estado de México, de donde toma el nombre de barranca de Ozumba, pasa por el poblado de Atlatlahuacan donde toma el nombre de barranca el salto, a partir de Oaxtepec se le conoce como río Yautepec. Los municipios más destacados en la cuenca del río Yautepec son: Tlalnepantla, Totolapan, Tlayacapan, Atlatlahuacan, Yautepec, Tlaltizapán y Tlaquiltenango.

Topografía

La topografía de la cuenca se puede localizar en cartas topográficas escala 1:50000 del INEGI, de donde es posible ubicar el trazo del parteaguas y la ubicación de las estaciones de medición climatológica e hidrométrica. Las cartas topográficas son: Milpa alta E14A49, Amecameca E14B41, Cuernavaca E14A59, Cuautla E14B51.

Climatología e hidrometría

El río Yautepec nace en las faldas del volcán popocatepetl en el pico del fraile con el nombre de cañada nexpayantla, cruza el poblado de Ozumba, del Edo. De México de donde toma el nombre de barranca Ozumba, pasa por el poblado de Atlatlahuacan de donde toma el nombre de barranca el salto, a partir de Oaxtepec se le conoce como río Yautepec.

Dentro y fuera de la cuenca del río Yautepec se localizan 12 estaciones climatológicas donde se tienen datos de registros de precipitación y evaporación desde 1961 y 1977 respectivamente.

El río Yautepec cuenta con dos estaciones hidrométricas, la primera en

Yautepec la cual se localiza en el cruce del río con el ferrocarril Puente de Ixtla-Cuautla aproximadamente a dos kilómetros del centro de la cabecera municipal de Yautepec.

La segunda estación hidrométrica se localiza en Ticumán que esta en el cruce con la carretera estatal que va de Yautepec a Jojutla de Juárez. Este cruce queda situado a 4 kilómetros al noroeste del poblado de Ticumán en el municipio de Tlaltizapán de Zapata, Morelos.

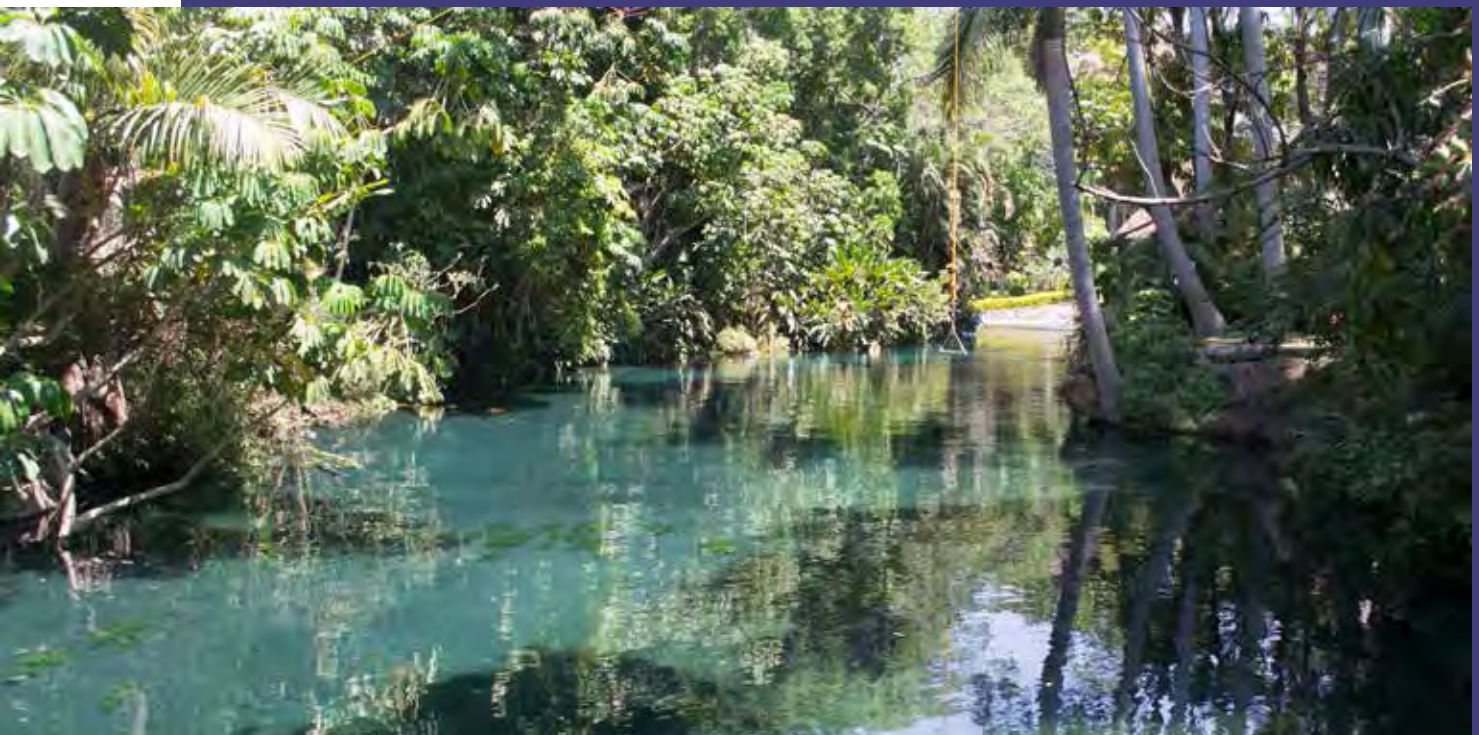
Condiciones actuales

En los últimos cinco años la parte baja de la cuenca del río Yautepec ha registrado niveles considerables que han provocado el desborda-

miento del río. En 1998 el río provocó la inundación del fraccionamiento "Colonos de Ticumán", ocasionando pérdidas materiales considerables.

En la madrugada del día 12 de junio del presente año el río Yautepec desborda aguas abajo del fraccionamiento "Colonos de Ticumán" para inundar los balnearios "Santa Isabel" y "Las estacas". En este día también el caudal del río desborda a la altura de Col. Bonifacio García provocando la inundación de la parte baja de la comunidad de Temilpa Viejo. El caudal estimado para esta avenida se considera superior a 400 m³/seg.

El río Yautepec actualmente ha perdido su cauce natural debi-



do principalmente al depósito del transporte de sedimentos acarreados a través del tiempo, la sección transversal permite un área hidráulica mínima. Estas condiciones y la pendiente mínima del cauce han permitido el depósito de sedimentos, además, el río se encuentra con obstáculos como troncos de árboles, basura, llantas, etcétera.

Área de la cuenca del río Yautepec

El área de la cuenca en estudio se obtiene con base a las coordenadas de la cuenca del río Yautepec (datos obtenidos del límite de la cuenca señalado a partir de las cartas topográficas). La superficie de la cuenca corresponde a 488.19 km²

2.6. Avenida máxima de diseño

Es de vital importancia conocer la avenida máxima cuando se pretende diseñar una obra como puede ser un puente, una presa, un muro de contención o también se pueden prever accidentes futuros conociendo las llanuras de inundación que puede generar cierta avenida máxima para un periodo de retorno T_r . Los métodos estudiados para estimar la avenida máxima son entre otros:

- a).- método empírico.
- b).- método estadístico.
- c).- método histórico.
- d).- método hidráulico.
- e).- método hidrológico.
- b).- Métodos estadísticos

Para aplicar los métodos estadísticos es necesario conocer al gasto máximo anual reportado por la estación hidrométrica, estos permiten conocer el gasto máximo para un periodo de retorno T_r . Determinado.

Estos métodos se basan en considerar al gasto máximo como una variable aleatoria que tiene cierta distribución. En general se cuentan con pocos registros por lo cual la curva de distribución de probabilidad de los gastos máximos se tiene que prolongar si se desea inferir el gasto a partir de los registros históricos de la estación de medición.

El problema se origina en que existen muchos tipos de distribuciones que se apegan a los datos y que sin embargo difieren en los extremos. Los métodos estadísticos permiten ajustar una función de distribución de probabilidad a los gastos máximos anuales medidos en el pasado, para extrapolar dicha función y con ello determinar el gasto máximo



16717	1.84	1286.56	0.01	0.10	18.61
188	1.59	1304.54	0.01	0.12	13.17
9	1.24	1327.71	0.04	0.20	6.07
10	1.44	1379.52	0.03	0.17	8.52
11	1.37	1420.67	0.02	0.13	10.75
12	1.05	1442.92	0.03	0.17	6.16
13	1.29	1473.40	0.03	0.17	7.76
14	1.82	1509.06	0.05	0.22	8.39
15	1.91	1594.71			
LT	38.97			SUMA	601.275323
PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE					0.00420063

que corresponde a una probabilidad deseada.

$$S_{xx} = n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$45(73.13) - (-24.58)^2 = 2686.68$$

Métodos estadísticos de análisis:

1. -métodode Nash.
2. - método de Gumbel.

$$S_{qq} = n \sum Q_i^2 - (\sum Q_i)^2 = 45(848751.97) - (5021.40)^2 = 12979380.69$$

Para aplicar los métodos antes señalados se requiere previamente elaborar una tabla de variables hidrológicas partiendo de los gastos máximos anuales Q_i . Tabla 2.3.

$$S_{xq} = n \sum Q_i X_i - \sum Q_i \sum X_i = 45(-6788) - (5021.40)(-24.58) = -182033.98$$

$$X = \log \log \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) =$$

$$\log \log \left(\frac{100}{100-1} \right) = 2.36003$$

Método de Nash (para $Tr=100$ años)

$$X_m = \frac{\sum X_i}{n} = \frac{-24.58}{45} = -0.5462$$

El gasto máximo que se puede presentar en un punto determinado se estima por:

$$Q_{\max} = a + c \log \log \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) =$$

$$24.4 + (-159.63) \log \log \left(\frac{100}{100-1} \right) =$$

$$401.132 m^3 / seg$$

Así mismo es necesarios estimar en intervalo de confianza dentro del cual se puede presentar la avenida máxima:

$$AQ_i = \pm 2 \sqrt{\frac{S_{qq}}{n^2(n-1)}} +$$

$$(X - X_m)^2 \frac{1}{n-2} \frac{1}{S_{xx}} S_{qq} - \frac{S_{wq}^2}{S_{xx}}$$

$$\Delta Q_i = \pm 2(12.80) = 25.62$$

Para obtener el gasto de diseño de suma al Gasto máximo (Q_{max}) el intervalo de confianza ΔQ_i :

$$Q_d = Q_{max} \pm \Delta Q_i = 401.132 + 25.62 = 426.75 m^3 / seg$$

Método de Gumbel (con $Tr=100$ años)

En primer lugar se estima los parámetros estadísticos siguientes:

$$Q_m = \frac{\sum Q_i}{n} = \frac{5021.40}{45} = -0.5462$$

$$c = \frac{\sum (X_i Q_i) - n X_m Q_m}{\sum X_i^2 - n X_m^2} =$$

$$= \frac{-6788 - 45(-0.5462)(111.5866)}{73.13 - (45)(-0.5462)^2}$$

$$= \frac{-9530.69}{59.705} = -159.63$$

$$\alpha = Q_m - c X_m = 111.5866 - (-159.63)(-0.5462) = 24.4$$

El gasto máximo se calcula por:

$$Q_{max} = \alpha + c \text{LogLog}\left(\frac{Tr}{Tr-1}\right) =$$

$$24.4 + (-159.63) \text{LogLog}\left(\frac{100}{100-1}\right) = 401.32 m^{3/s}$$

Es indispensable estimar la varianza de los datos por:

$$S_e^2 = \frac{(\sum X_i^2 - n X_m^2)(\sum Q_i^2 - n Q_m^2) - (\sum X_i Q_i - n Q_m X_m)^2}{(n-2)(\sum X_i^2 - n X_m^2)}$$

$$S_e^2 = 18.263$$

Así como también el intervalo de confianza de variación de los gastos:



$$X_o = LnLn\left(\frac{Tr}{Tr-1}\right) = LnLn\left(\frac{100}{99}\right) = -4.60014$$

$$\Delta Qi = \pm\left(\frac{\alpha}{2}\right)Se\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_o - X_m)^2}{(\sum X_i^2 - nX_m)}} =$$

$$\Delta Qi = \pm 1.990 \cdot 18.263 \sqrt{\frac{1}{45} + \frac{[(-4.60014) - (-0.5462)]^2}{73.13 - (45)(-0.5462)}} =$$

$$= \pm 15.85$$

$$Qd = Q_{\max} \pm \Delta Qi = 401.32 + 15.85 = 417 m^3/s$$

2.7. Conclusiones

Con base en los antecedentes y características de la cuenca y cauce del río Yautepec es necesario tomar medidas de acción inmediatas, de lo contrario una inundación provocada por un caudal superior al presentado el día 29 de septiembre de 1998 es posible que pueda ocasionar daños severos a la zona y posiblemente pérdidas de vidas humanas. Para ello, es urgente tomar acciones que pueden ser no estructurales y estructurales:

1. Las acciones no estructurales no interfieren con el escurrimiento del río ni lo modifican, únicamente permiten avisar o alertar con oportunidad a los habitantes de las comunidades cercanas a las márgenes del río que pueden ser afectadas:
 - a) Instalar un sistema de Alarma mediante pluviógrafos y estaciones de radio. (Protección civil del estado y Municipal)

- b) Delimitación inmediata de las zona Federal del río (CNA)
 - c) Elaborar un plan y reglamento de protección civil orientado a la función, prevención, control y operación de acciones que garanticen la seguridad de bienes y personas que viven en las zonas de inundación del río Yautepec
 - d) Tener el reglamento de protección civil aprobado por H. cabildo del Municipio de Tlaltizapán y por el H. Congreso Legislativo del Estado de Morelos.
 - e) Es conveniente definir un programa para la presentación del Plan y del reglamento que, con base en las acciones que para este efecto se establezcan, se proceda a celebrar pláticas, seminarios, foros de decisión, etc.
 - f) Empezar campañas de difusión mediante revistas, boletines, folletos, discusión en foros y paneles y en cualquier otro recurso de información que refuerce la aceptación y participación de la sociedad particularmente cuando se presenten las avenidas máximas.
2. Acciones estructurales que se refieren a obras de protección

Tabla 2.3. Gasto de diseño para el río Yautepec por un periodo de retorno de 100 años

Año	Ql	Qi	mi	Tr	Tr/Tr-1	LN(Tr-1)	Si	Xi ²	Qi ²	Si * Qi
1952	0.00	429.20	1	46.00	1.02	0.02	-3.82	14.57	0.00	-1,638.54
1953	33.06	235.25	2	23.00	1.05	0.04	-3.11	9.69	1,092.96	-732.42
1954	89.50	231.25	3	15.33	1.07	0.07	-2.70	7.27	8,010.25	-623.57
1955	49.50	212.30	4	11.50	1.10	0.09	-2.40	5.75	2,450.25	-508.93
1956	178.00	210.36	5	9.20	1.12	0.12	-2.16	4.68	31,684.00	-454.84
1957	60.80	204.90	6	1.67	1.15	0.14	-1.97	3.87	3,696.64	-403.21
1958	93.20	195.40	7	6.57	1.18	0.17	-1.80	3.24	8,686.24	-351.98
1959	40.40	193.50	8	5.75	1.21	0.19	-1.66	2.74	1,632.16	-320.28
1960	18.33	190.71	9	5.11	1.24	0.22	-1.52	2.32	335.99	-290.74
1961	112.40	178.00	10	4.60	1.28	0.25	-1.41	1.98	12,633.76	-250.27
1962	58.60	151.52	11	4.18	1.31	0.27	-1.30	1.68	3,433.96	-196.55
1963	145.15	149.35	12	3.83	1.35	0.30	-1.20	1.43	21,068.52	-178.68
1964	43.65	145.15	13	3.54	1.39	0.33	-1.10	1.21	1,905.32	-159.99
1965	63.00	138.50	14	3.29	1.44	0.36	-1.01	1.03	3,969.00	-140.39
1966	231	135.70	15	3.07	1.48	0.39	-0.93	0.86	53,476.56	-126.17
1967	429.20	131.00	16	2.88	1.53	0.43	-0.85	0.72	184,212.64	-111.34
1968	85.50	117.73	17	2.71	1.59	0.46	-0.77	0.60	7,310.25	-91.08
1969	60.30	114.87	18	2.56	1.64	0.50	-0.70	0.49	3,636.09	-80.44
1970	235.25	113.40	19	2.42	1.70	0.53	-0.63	0.40	55,342.56	-71.40
1971	46.50	113.35	20	2.30	1.77	0.57	-0.56	0.31	2,162.25	-63.61
1972	13.22	112.40	21	2.19	1.84	0.61	-0.49	0.24	141.77	-55.60
1973	25.00	105.58	22	2.09	1.92	0.65	-0.43	0.18	625.00	-45.39
1974	87.00	103.02	23	2.00	2.00	0.69	-0.37	0.13	7,569.00	-37.76
1975	204.90	93.20	24	1.92	2.09	0.74	-0.30	0.09	41,984.01	-28.37
1976	0.00	89.50	25	1.84	2.19	0.78	-0.24	0.06	0.00	-21.77
1977	131.00	87.00	26	1.77	2.30	0.83	-0.18	0.03	17,161.00	-15.91
1978	138.50	85.50	27	1.70	2.42	0.88	-0.12	0.02	19,182.25	-10.52
1979	195.40	81.23	28	1.64	2.56	0.94	-0.06	0.00	38,181.16	-5.18
1980	113.40	72.32	29	1.59	2.71	1.00	0.0	0.00	12,859.56	-0.33
1981	193.50	63.00	30	1.53	2.88	1.06	0.05	0.00	37,442.25	3.44
1982	51.38	60.80	31	1.48	3.07	1.12	0.11	0.01	2,639.90	6.92
1983	212.30	60.30	32	1.44	3.29	1.19	0.17	0.03	45,071.29	10.47
1984	190.71	58.60	33	1.39	3.54	1.26	0.23	0.05	36,370.30	13.71
1985	117.73	51.38	34	1.35	3.83	1.34	0.30	0.09	13,860.35	15.18
1986	114.87	49.50	35	1.31	4.18	1.43	0.36	0.13	13,195.12	17.73
1987	151.52	46.50	36	1.28	4.60	1.53	0.42	0.18	22,958.31	19.65
1988	210.36	43.65	37	1.24	5.11	1.63	0.49	0.24	44,251.33	21.36
1989	36.47	40.40	38	1.21	5.75	1.75	0.56	0.31	1,330.06	22.59
1990	113.35	36.47	39	1.18	6.57	1.88	0.63	0.40	12,848.22	23.08
1991	72.32	33.06	40	1.15	7.67	2.04	0.71	0.51	5,230.18	123.52
1992	105.58	25.00	41	1.12	9.20	2.22	0.80	0.64	11,147.14	19.93
1993	103.02	18.33	42	1.10	11.50	2.44	0.89	0.80	10,613.12	16.37
1994	135.70	13.22	43	1.07	15.33	2.73	1.00	1.01	18,414.49	13.28
1995	149.35	0.00	44	1.05	23.00	3.14	1.14	1.31	22,305.42	0.00
1996	81.23	0.00	45	1.02	46.00	2.83	1.34	1.80	6,598.31	0.00
	2021.40						-24.58	73.13	848,751.97	-6788.00

contra inundaciones que evitan que zonas adyacentes al río Yautepec sean inundadas año con año en época de lluvias. Estas obras se construyen para que interfieran directamente con el escurrimiento permitiendo el desvío o encauzamiento del río. Las principales obras de protección que pueden realizarse son:

- a) Limpieza general del cauce
- b) Bordos longitudinales localizados a lo largo o ambos márgenes del río.
- c) Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio.
- d) Corte de meandros y rectificación del cauce.
- e) Programa permanente de dragado y desasolve.

Las obras de protección permiten seguridad a la zona de inundación, sin embargo, dada la magnitud de los trabajos se requiere que intervenga la Comisión Nacional del Agua, el Gobierno del Estado a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano, Vivienda y Obras Públicas, la Comisión Estatal de Agua y Medio Ambiente y la Secretaría de Desarrollo Social.

El gobierno Municipal de Tlaltizapan cuenta actualmente con un programa de atención permanente a las personas afectadas, para ello estableció un albergue temporal en la escuela primaria "Vicente Guerrero" de Temilpa Viejo.

2.8. Referencias

- INEGI. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática Instituto de Investigaciones Eléctricas CFE Manual de diseño de obras civiles sección Hidrotecnia, capítulos 1 al 11
- Chow, Ven Te, MC Crawl Hill.1980. Hidrología aplicada.
- Lindley, Coger y Paulus MC Crawl Hill 1980. Hidrología para ingenieros.
- Helge, Otto J. Limusa Noriega Editores. 1992. Recursos hidráulicos, planeación y administración.
- Aparicio Mijares, Francisco Javier. Limusa Noriega Editores 2001. Fundamentos de hidrología de superficie.
- David Zúfliga Malpica, Instituto Tecnológico de Zacatepec 2005. Apuntes del curso de "Hidrología Superficial"
- Fernando Hirlart Valderrama. Contribuciones al desarrollo de la Ingeniería en México



3

Simulación de la Onda de Avenida por Ruptura de Tanque de Enfriamiento

Fuentes¹, O.A., Arganis, M.L.¹, Bladé, E.², Sánchez, M.², De Luna, F.¹, Cruz, J.A.¹, Mendoza, J. E.¹, Aragón, J.L.¹

¹Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,

²E.T.S d'Eginyers de Camins Cañáis I Ports, Campus Nord- Barcelona, España.

Resumen

Se llevó a cabo la simulación de la ruptura del borde de un tanque de enfriamiento usando dos métodos: Uno de volúmenes finitos denominado CARPA y un algoritmo en diferencias finitas centradas. El algoritmo en volúmenes finitos CARPA utilizado con el pre y post procesador GiD mostró ser una herramienta muy poderosa en la animación de planicies de inundación, útiles en la interpretación de resultados tanto en el espacio como en el tiempo, para la protección civil, así como para definir las posibles zonas afectadas debido a fenómenos como el de la ruptura de bordos.

Frases Clave

Ruptura de un dique, CARPA, GiD, volúmenes finitos, diferencias finitas.

3.1. Introducción

Cuando el borde de un embalse se rompe o falla, se libera un gran volumen de agua en muy poco tiempo y viaja aguas abajo a alta velocidad lo cual puede causar graves pérdidas humanas y daños materiales. La estimación de las zonas inundadas y sus profundidades, así como las velocidades del flujo tiene importantes aplicaciones porque permite conocer los efectos sobre las

poblaciones existentes aguas abajo, edificaciones así como en las áreas agrícolas e industriales; o incluso permite formular medidas de mitigación de daños. Para obtener el hidrograma de salida debido a la falla es importante llevar a cabo pruebas de laboratorio; para simular los efectos aguas abajo de dicho hidrograma se requieren modelos matemáticos que deben ser capaces de representar lo mejor posible el fenómeno físico.

Aureli y Mignosa, (2001) hicieron un modelo de laboratorio de un dique para analizar la forma de la brecha y el comportamiento del flujo bidimensional en la superficie del agua aguas abajo del dique; posteriormente ellos simularon las condiciones experimentales, usando el método de captura de choque de Me Cormack, de tipo explícito y predictor-corrector, con una precisión de segundo orden en tiempo y espacio, el cual resuelve las ecuaciones de flujo bidimensional para canales y que incluye un término suavizador de las oscilaciones numéricas que presentan comúnmente las diferencias finitas de segundo orden para los choques y para números de Fraude cercanos a uno. Finalmente los autores hicieron comparaciones entre las áreas medidas y calculadas, concluyen-

do la viabilidad del esquema de Me Cormack en la ruptura de diques o en el análisis de ruptura de presas. Hay varios estudios relacionados con modelos matemáticos que intentan representar el fenómeno físico de una onda de avenida. (Fennema et al., (1986), Brufra y García-Navarro, (2000), Michaud, et al.,{ 2005}). Nguyen et al, 2006, validaron con éxito un modelo bidimensional de flujo superficial usando un UFVM (método de volúmenes finitos no estructurado) en varios casos entre ellos la idealización de una ruptura parcial y total de una presa.

En este estudio se analizó la eventual ruptura de un tanque de enfriamiento de la Planta termoeléctrica José López Portillo, ubicada en Río Escondido, Coah., México. Dicha planta tiene cuatro unidades de 300 MW que utilizan carbón como combustible; el sistema de enfriamiento es de tipo abierto y requirió la construcción de un tanque con una superficie de cerca de 300 ha ($3 \times 10^6 \text{ m}^2$). El tanque fue construido sobre el terreno natural utilizando diques de una longitud de 13 km ($13 \times 10^3 \text{ m}$), con una altura hasta de 10 m, el agua utilizada es bombeada utilizando un acueducto con una longitud de 30 km ($30 \times 10^3 \text{ m}$), desde el río Bravo.

fondo del cauce suaves y cuando las dimensiones horizontales predominan sobre la vertical.

Las ecuaciones de Saint Venant constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales hiperbólico, cuasi-líneal y con término independiente.

3.3. Método de volúmenes finitos

El modelo CARPA utiliza el método de volúmenes finitos que ha probado ser muy útil para desarrollar esquemas de alta resolución en dos dimensiones para dichas ecuaciones. Los volúmenes finitos permiten discretizar el dominio con regiones irregulares y por lo tanto adaptadas

a los contornos y las ecuaciones se pueden usar en su forma integral.

Integrando las ecuaciones de Saint Venant sobre un volumen finito se llega a la expresión siguiente para la evolución temporal de las variables dependientes:

Ecuación 3.3

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{U} + \nabla \bar{F} = \bar{H}$$

Donde: \bar{F}_{iwk}^* es el tensor numérico de flujo, o sea F evaluado en la pared w_k , del polígono i , N_i es el número de lados; \bar{n}_{wk} , es el vector normal exterior a la pared w_k y l_{iwk} es su longitud. \bar{H}_i^* representa la integral del término independiente sobre el volumen finito. En la ecuación anterior, la expresión del flujo numérico \bar{F}_{iwk}^* , en



función de los valores que toman las variables en los elementos próximos, es lo que marca la diferencia entre esquemas numéricos.

3.4. Modelos de simulación

Modelo CARPA en ambiente GiD

El algoritmo numérico en volúmenes finitos utilizado por el programa CARPA está basado en el esquema WAF TDV que se puede interpretar como una extensión de los sistemas de ecuaciones asociados al esquema desarrollado por Lax-Wendroff, o dicho de otra manera, es extensión con aproximación de segundo orden del esquema de Roe; se basa en el método de Godunov junto con los también llamados aproximación a la solución de Riemann de Roe (Bladé y Gómez, 2006). Dentro del ambiente GiD el problemtype conocido como CARPA se selecciona; con dicho problemtype se pueden importar o crear modelos digitales del terreno; posteriormente se le establecen condiciones de frontera al modelo, considerando un análisis en una o dos dimensiones o una combinación de ellas. Se asignan condiciones iniciales además de que se especifica si el problema es en una o en

dos dimensiones; adicionalmente se pueden proporcionar el coeficiente de rugosidad de Manning, según el tipo de material, o incluso según el tipo de uso de suelo. Los datos del cálculo también se proporcionan y con ello se puede ejecutar el cálculo.

Modelo en diferencias finitas

Para el flujo en el cauce se considera el método de Sánchez y Fuentes para flujo no permanente (Fuentes y Sánchez, 1986); este método considera como flujo unidimensional al movimiento del agua en el cauce natural; se limita al flujo en cauces y a volúmenes de control constantes en el espacio en los que solo se modifica el tirante hidráulico. El modelo matemático resuelve las ecuaciones de flujo no permanente a superficie libre en un cauce natural.

Las ecuaciones de flujo no permanente a superficie libre para cauces no prismáticos se consideran de la siguiente manera:

Ecuación 3.4

$$\frac{\partial(AV)}{\partial x} = B \frac{\partial Y}{\partial t}$$

Ecuación 3.5

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = - \left[\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + Sf \right]$$

Donde: Y es la elevación de la superficie del agua respecto a un plano horizontal de referencia (suma del tirante más la cota de plantilla), en m; A , área hidráulica, en m^2 ; Velocidad media, en m/s; B Ancho de la superficie libre, en m. g , aceleración de la gravedad, en m/s^2 , S_f , pendiente de la línea de energía, adimensional, X , distancia longitudinal, en m, T , tiempo en s.

Para representar en diferencias finitas a las ecuaciones 4 y 5 se toman en cuenta los volúmenes de control mostrados en la siguiente figura.

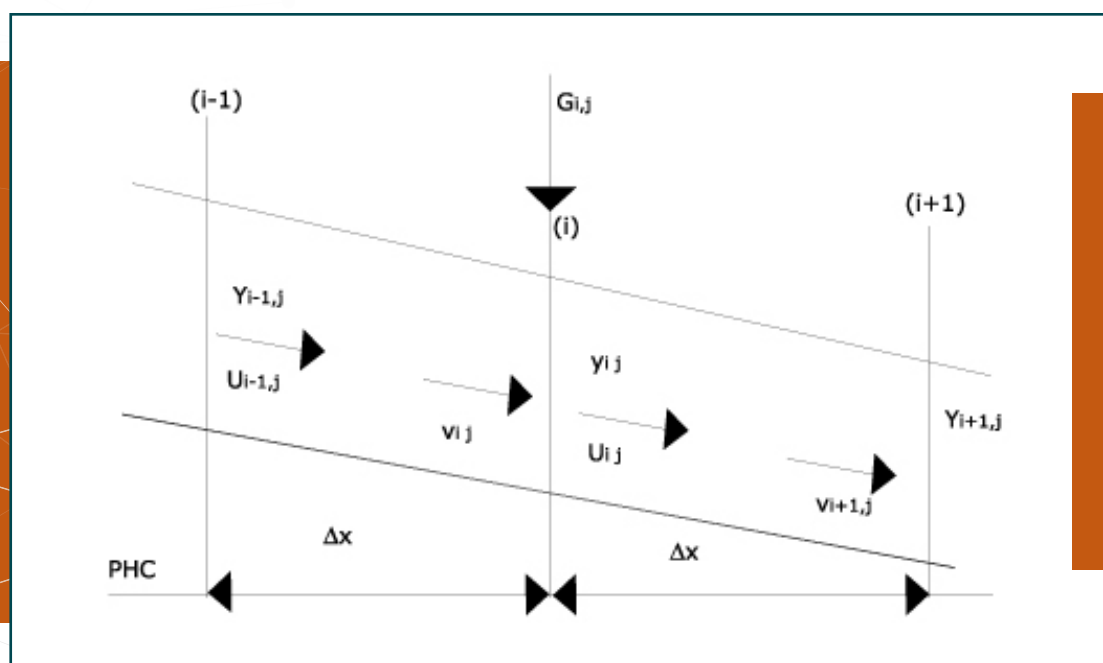
Con ayuda del modelo en diferencias finitas para el modelo de flujo

no permanente en el cauce se determina Y_i , en la etapa de cálculo $j+1$ así como las velocidades de llegada ($V_{i,j+i}$) y de partida (U_{j+1}).

En las secciones inicial y final deben fijarse las condiciones de frontera, las cuales se determinan de acuerdo con el problema en estudio.

El carácter dinámico de las inundaciones en las planicies hace necesario emplear modelos matemáticos que, por lo menos, incluyan ecuaciones de flujo en dos dimensiones (Fuentes, et al 1997) a través de las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento y ecuación de continuidad:

Figura 3.2.
Secciones
a lo largo del
cauce.



Ecuación 3.6

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{n^2 |u| u}{h^{4/3}} = -\frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x}$$

Ecuación 3.7

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}} = -\frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\partial z}{\partial y}$$

Ecuación 3.8

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} u h + \frac{\partial}{\partial y} v h = 0$$

donde: $S_{fx} = \frac{n^2 |u| u}{h^{4/3}}$, $S_{fy} = \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}}$,
pendiente de fricción en las direcciones x y y adimensional; g ; aceleración de la gravedad, en m/s^2 ; u , v , componentes de la velocidad en las direcciones x y y , adimensional, h , nivel de la superficie libre del agua

con respecto al agua con respecto al nivel del terreno, en m , n , coeficiente de rugosidad según la fórmula de Manning, en $s/m^{1/3}$, x , y , z , direcciones del sistemas de ejes cartesiano derecho; t , tiempo, en s .

Para calcular el flujo en una planicie de inundación se debe resolver el sistema de ecuaciones anterior considerando condiciones iniciales y de frontera; dado que no existe un método analítico para encontrar la solución, se propone un método numérico de diferencias finitas.

Sea el área de inundación en proyección horizontal dividida en celdas con longitud a lo largo del eje $x(\Delta x)$ y del eje $y(\Delta y)$ (Figura 3).

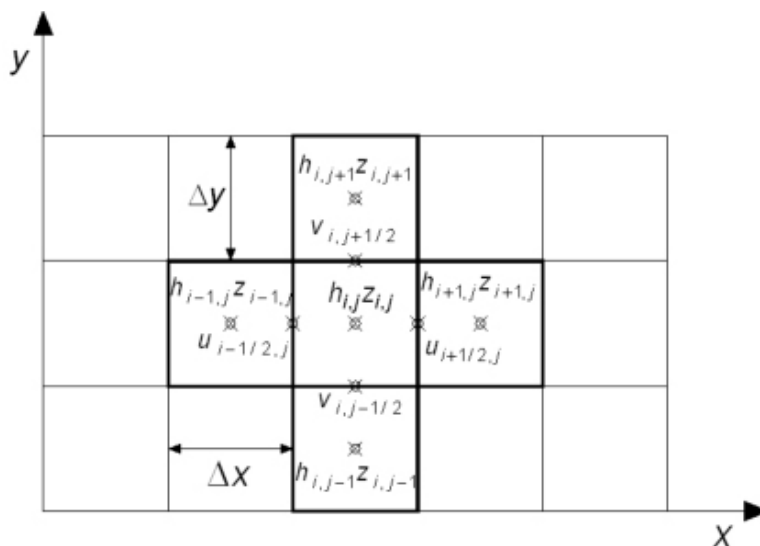


Figura 3.3. Arreglo de celdas considerado en el método numérico para el área de inundación.

Ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento

Ecuación 3.9

$$|u|u + \alpha \frac{1}{g} + \frac{\partial u}{\partial t} = -\alpha \left[\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \right]$$

Ecuación 3.10

$$|v|v + \alpha \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = -\alpha \left[\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z}{\partial y} \right]$$

Donde $\alpha = \frac{h}{n^2}^{4/3}$. Así, para el componente de la velocidad en dirección del eje X, se puede expresar en diferencias finitas del modo siguiente:

Ecuación 3.11

$$|u_{i+1/2,j}^{p+1}| u_{i+1/2,j}^{p+1} + B_x u_{i+1/2,j}^{p+1} + C_x = 0$$

donde:

$$B_x = \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{g\Delta t}, C_x = \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{\Delta x} (h_{i+1,j}^p + z_{i+1,j}) - \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{g\Delta t}$$

$$\alpha_{i+1/2,j}^p = \left(\frac{h_{i+1,j}^p}{2} \right)^{4/3} \frac{1}{n_{i+1/2,j}^2} y n_{i+1/2,j} = \frac{n_{i,j} + n_{i+1,j}}{2}$$

Para resolver la ecuación 11 se consideran dos casos $C_x \leq 0$ y $C_x > 0$.

a) $C_x \leq 0$ La velocidad $u_{i+1/2,j}^{p+1}$ tiene que ser positiva con lo cual la ecuación 11 queda como una ecuación de segundo grado, cuya solución es:

Ecuación 3.12

$$u_{i+1/2,j}^{p+1} = \frac{1}{2} (-B_x + \sqrt{B_x^2 - 4C_x})$$

b) $C_x > 0$ La velocidad $u_{i+1/2,j}^{p+1}$ tiene que ser positiva con lo cual la ecuación 11 queda como una ecuación de segundo grado, cuya solución es:

Ecuación 3.13

$$|v_{i,j+1/2}^{p+1}| v_{i,j+1/2}^{p+1} + B_y v_{i,j+1/2}^{p+1} + C_y = 0$$

Siguiendo un razonamiento similar para el componente de la velocidad en dirección del eje y (ecuación 10), tenemos:

Ecuación 3.14

$$|v_{i,j+1/2}^{p+1}| v_{i,j+1/2}^{p+1} + B_y v_{i,j+1/2}^{p+1} + C_y = 0$$

siendo:

$$B_y = \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{g\Delta t}, C_y = \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{\Delta y} (h_{i,j+1}^p - h_{i,j}^p + z_{i,j+1} - z_{i,j}) - \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{g\Delta t} v_{i,j+1/2}^p$$

$$y \beta_{i,j+1/2}^p = \left(\frac{h_{i,j+1}^p + h_{i,j}^p}{2} \right)^{4/3} \frac{1}{n_{i,j+1/2}^2} y$$

$$n_{i,j+1/2} = \frac{n_{i,j} + n_{i,j+1}}{2}$$

De esta forma para:

Ecuación 3.15

$$C_y \leq 0; v_{i,j+1/2}^{p+1} = \frac{1}{2} (-B_y + \sqrt{B_y^2 - 4C_y})$$

Ecuación 3.16

$$C_y \leq 0; v_{i,j+1/2}^{p+1} = \frac{1}{2}(B_y - \sqrt{B_y^2 - 4C_y})$$

Ecuación de continuidad

La ecuación 8 se puede expresar en diferencias finitas y al ordenar términos se obtiene:

Ecuación 3.17

$$h_{i,j}^{p+1} = h_{i,j}^p - \frac{\Delta t}{2\Delta y} \left[v_{i+1/2,j}^{p+1}(h_{i+1,j}^p + h_{i,j}^p) \right. \\ \left. - u_{i-1/2,j}^{p+1}(h_{i,j}^p + h_{i-1,j}^p) \right] \\ - \frac{\Delta t}{2\Delta y} \left[v_{i,j+1/2}^{p+1}(h_{i,j}^p) - v_{i,j-1/2}^{p+1}(h_{i,j}^p + h_{i,j-1}^p) \right]$$

Con las ecuaciones 12 a 17 se obtienen los valores de las componentes de la velocidad en dos direcciones (u y v) así como la elevación de la

superficie del agua, h , en el tiempo $(p+1)\Delta t$ para las celdas ubicadas en el interior de la zona donde ocurre la inundación, considerando un gasto de entrada a cualquier celda en la malla expresado como un gasto unitario.

3.5. Determinación del hidrograma experimental de salida por la brecha

El tanque de enfriamiento analizado está compuesto por varios diques: el más externo, el central y un deflector, construido en su mayoría por arcilla y con un filtro central de



arena como protección contra posibles filtraciones o grietas y una pared de enrocamiento. En la Figura 4 se ve una vista en planta y así como la curva elevaciones capacidades. Un cuerpo de agua se localiza al norte del tanque y se considera útil para regular la avenida producida ante la posible ruptura de un dique.

Para estimar la forma del hidrograma de salida se hicieron pruebas de laboratorio obteniendo resultados experimentales y posteriormente con

ayuda de similitud dinámica ($Le=64$) se obtuvo la forma del hidrograma del prototipo (Figura 5), dicho hidrograma se utilizó para alimentar los modelos de simulación.

3.6. Aplicación

Datos de entrada a los modelos de simulación

En la Tabla 1 se presentan los datos de entrada más representativas aplicados en los modelos de simulación.

Figura 3.4. Planta general del tanque de enfriamiento y curva elevaciones capacidades



Figura 3.5. Determinación del hidrograma experimental

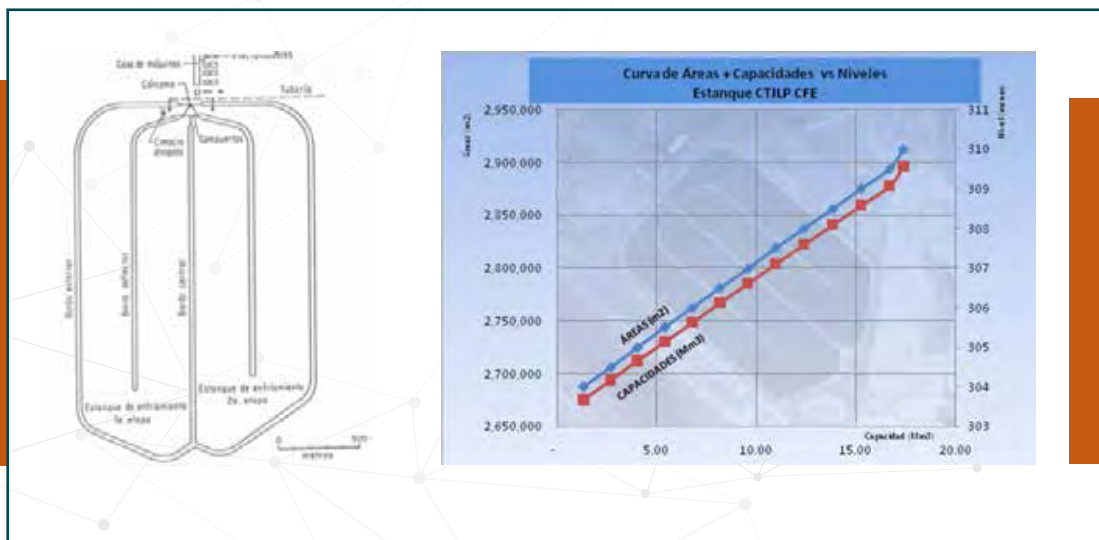


Tabla 3.1. Datos de entrada

7	1.84	1286.56	0.01	0.10	18.61
8	1.59	1304.54	0.01	0.12	13.71
9	1.24	1327.71	0.04	0.20	6.07
10	1.44	1379.52	0.03	0.17	8.52
11	1.37	1420.67	0.02	0.13	10.75
12	1.05	1442.92	0.03	0.17	6.16
13	1.29	1473.40	0.03	0.17	7.76
14	1.82	1509.06	0.05	0.22	8.39
15	1.91	1594.71			
LT	38.97				

3.7. Resultados

Mapas de profundidades

En la Figura 6 se presenta una comparación de resultados obtenidos por los dos métodos, para el instante 11.5 h (hora y media después de que se presenta el pico en el hidrograma de ruptura), tiempo en el cual inicia la atenuación de la avenida. Con el

Gid se obtiene un mapa directamente en el cual se presenta la escala gráfica de profundidades, además de que se pueden efectuar animaciones de la simulación; mientras que con el programa de flujo bidimensional se requiere de trabajo adicional con empleo de otros softwares para poder conseguir el mapa presentado, que contiene menores detalles.

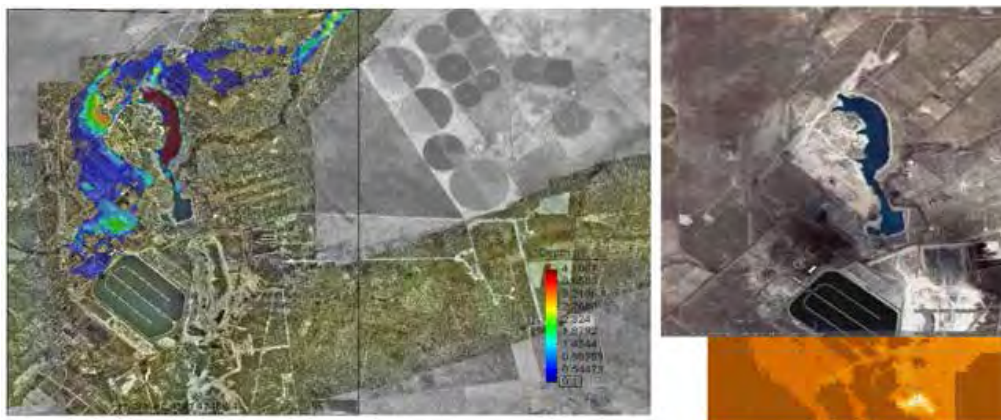


Figura 3.6. Comparación de mapas de profundidades $t=11.5$ horas

3.8. Conclusiones

Se comparó la aplicación del programa CARPA en el ambiente GiD con un modelo en volúmenes finitos y de un modelo de flujo bidimensional en diferencias finitas desarrollado en visual Basic. Con el programa CARPA se lograron obtener mapas detallados de las profundidades en distintos instantes de las posibles zonas afectadas, además de tener la posibilidad de efectuar simulaciones con el mismo software. Las herramientas analizadas permiten obtener información sumamente útil en materia de protección civil.

3.9. Referencias

Aureli, F. and P. Mignosa, (2001). "Comparison Between Experimental and Numerical Results of 2D Flows due to Levee-Breaking". XXIX IAHR Congress Proceedings, Beijing, China, pp 16-21.

Bladé, C. E. and V.M. Gómez (2006). Modelación del flujo en lámina libre sobre cauces naturales. Análisis integrado en una y dos dimensiones. Monografía CIMNE No. 97,

U.P.C., Barcelona, Spain, 227 pp.

Brufra, P. and P. García-Navarro (2000). "Two dimensional dam break flow simulation". Int. J. Numer. Meth. Fluids , 33, pp 35-57.

Fennema, R.J. and M.H. Chaudhry (1986). "Explicit Numerical Schemes for Unsteady Free-Surface Flows with Shocks". Wat. Resour. Res., 22 No.13, pp 1923-1939.

Michaud, J., Johnson, C, Iloje, J. and Marohnic, J. (2005). "Methods for Estimating the Impact of Hypothetical Dam Flood Analysis". Environmental Sciences Research, Vol. 59, Chemistry for the Protection of the Environment, 4, pp 195-199.

Nguyen, D.K, Shi, Y.E., Wang, S.S.Y. and Nguyen, T.H. (2006). "2D Shallow-Water model using unstructured finite-volumes methods™ Journal of Hydraulic Engineering.

ASC. March. 2006 pp 258-269. Fuentes M., O.A. y Sánchez B , J.L (1986) "Cálculo de avenidas provocadas por la ruptura de una presa", XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Sao Paulo Brasil, octubre. 12 pp.



AMH
Asociación Mexicana
de Hidráulica

REVISTA DIGITAL
TLÁLOC AMH

<http://amh.org.mx/>