



DELIMITACIÓN DE ZONAS FEDERALES Y ÁREAS DE AMORTIGUAMIENTO EN RÍOS AFECTADOS POR EL CRECIMIENTO URBANO COMO ESTRATEGIA PARA PREVENIR INUNDACIONES

ADRIÁN LEONARDO FERRIÑO FIERRO, DAGOBERTO BURGOS FLORES*

RESUMEN

En la actualidad, debido al crecimiento de las zonas urbanas y la ocupación de los márgenes de los ríos en las ciudades, vivimos en constante riesgo, invirtiendo enormes cantidades de recursos económicos en reconstrucciones y apoyo a damnificados por las inundaciones. Si bien las inundaciones son eventos naturales que se presentan en todo el mundo, sus consecuencias pueden variar según características de desarrollo histórico, socioeconómicas y culturales de las ciudades, y del respeto de las áreas hidráulicas y zonas de amortiguamiento de sus corrientes de agua. En la presente investigación, se desarrolló una propuesta para determinar áreas de amortiguamiento en ríos afectados por el crecimiento urbano para prevenir inundaciones, basada en aspectos técnicos, legales y ambientales. El caso de estudio fue el río Pesquería dentro de la zona metropolitana de Monterrey al cruzar por los municipios de García, Monterrey, General Escobedo, Apodaca, y Pesquería, Nuevo León.

Palabras clave: ríos, zonas federales, amortiguamientos, inundaciones.

ABSTRACT

Currently, due to the growth of urban areas, and the occupation of the banks of the rivers in the cities, we live in constant risk, investing huge amounts of financial resources in reconstruction and support to people affected by the floods. Although floods are natural events that occur around the world, its consequences may vary according to historical development, socio-economic and cultural characteristics of the cities and respect for its stream safeguard zones. In this research, a proposal was developed to determine areas of buffer in rivers affected by urban growth to prevent floods, based on technical, legal and environmental aspects. The case study was the "Pesquería" river within the Monterrey metropolitan area crossing the municipalities of García, Monterrey, General Escobedo, Apodaca y Pesquería, Nuevo León.

Keywords: rivers, river banks, buffer areas, floods.

M.C. ADRIÁN LEONARDO FERRIÑO FIERRO
 Fac.de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León
 Correo: adrian.ferrinofr@uanl.edu.mx
 DR. DAGOBERTO BURGOS FLORES
 Depto. de Ingeniería Civil y Minas, Universidad de Sonora
 Correo: dburgos@dicym.uson.mx

*Autor para correspondencia: DR. Dagoberto Burgos Flores
 Correo electrónico: dburgos@dicym.uson.mx
 Recibido: 21 de septiembre de 2014
 Aceptado: 16 de noviembre de 2015
 ISSN: 2007-4530

INTRODUCCIÓN

De los riesgos naturales, las crecientes e inundaciones son los más extendidos mundialmente, ya que por estrategia de crecimiento y bienestar, la mayoría de las comunidades que formaron las ciudades se establecieron cerca de los cuerpos de agua, para garantizar el fácil abasto del vital líquido. Este proceso natural se reproduce periódicamente y forma llanuras en los valles de los ríos generando tierras fértiles que a lo largo del tiempo el humano ha utilizado para la agricultura y ganadería.

En la actualidad, en México como en otros países, son varios los factores que inciden en la vulnerabilidad de las comunidades ante los fenómenos hidrometeorológicos, pero éstos se pueden agrupar en tres grandes temas: a) de políticas públicas o normatividad, como la falta, el incumplimiento, o la ausencia de actualización de las mismas; b) social, como la falta de conocimiento del peligro y de la cuantificación de los daños causados por las inundaciones en las zonas urbanas; y c) de ordenamiento o planificación, los cuales alientan la ocupación de zonas aledañas a los ríos, quedando éstos dentro de las zonas de población haciendo altamente vulnerable a las comunidades. El crecimiento acelerado y sin planificación de las zonas metropolitanas y la actividad antropogénica han generado modificaciones en el comportamiento natural de los ríos y por ello, cuando ocurren lluvias ordinarias y extraordinarias, conllevan a problemas de inundaciones, daños a infraestructura, pérdidas económicas, y lo más grave, pérdida de vidas humanas [1].

En la presente investigación se identifican criterios para realizar una propuesta metodológica para delimitar y demarcar la zona federal de ríos intermitentes afectados por el crecimiento urbano, determinando sus áreas de amortiguamiento, la cual posibilite el almacenamiento, organización y análisis de los datos necesarios como estrategia para prevenir inundaciones. La propuesta consiste en seleccionar una cuenca con crecimiento urbano y realizar simulaciones hidrológicas e hidráulicas, usando precipitación estimada por sistemas tradicionales de medición; mediante la revisión exhaustiva de la legislación que compete a la materia, delimitar su zona federal y áreas de amortiguamiento, y obtener una evaluación económica de los daños que se evitarán al prevenir inundaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta propuesta para determinar áreas de amortiguamiento en ríos afectados por la urbanización, al delimitar y demarcar sus zonas federales, tiene un enfoque preventivo y orientado a usarse como una herramienta estratégica [2], que facilite la





planeación del ordenamiento territorial de las ciudades en las zonas aledañas a los ríos y arroyos para prevenir inundaciones.

Se debe de tomar en cuenta que esta propuesta tiene limitaciones, ya que se enfoca en ríos intermitentes que cruzan áreas urbanas, en donde comúnmente se presentan inundaciones repentinas (*flash flood*) y su clasificación no sólo depende de factores como el tiempo en que alcanza su máximo nivel, el volumen y velocidad de la escorrentía, sino también de las modificaciones y afectaciones que la urbanización ha generado en el cauce. Es importante subrayar que la propuesta presentada se circunscribe a la estimación de la mitigación de daños tangibles directos potenciales en las zonas en que se ubican dentro de la mancha de inundación o zona federal de ríos.

La propuesta que se desarrolló en este trabajo se explicará a través del estudio de caso del Río Pesquería, el cual es parte de la Región Hidrológica Número 24 (RH-24) [3] denominada Río Bravo, la más extensa del país con 379,604 km². El nacimiento de este río se encuentra en el estado de Coahuila a 25 km al noreste de la ciudad de Saltillo, nace en la serranía de Nacataz, muy cercano a la ciudad de Arteaga, sus aguas fluyen hacia la población de Ramos Arizpe y continúa rumbo al poblado de García (antes Villa de García) ya en el estado de Nuevo León (Figura 1), a la altura de la Cuesta de los Muertos. Ya dentro del estado de Nuevo León se le unen tres arroyos a la altura de las poblaciones La Soledad y Cristalosa. Recibe aportaciones del arroyo Ayancual que nace un poco antes del poblado de El Sabinal; en este arroyo es donde existen descargas de aguas residuales de la refinería de Cadereyta. Al final, el Río Pesquería desemboca sus aguas en el San Juan, entre la población de Dr. Coss y Cantú, a 4 km de esta última, en la finca Las Adjuntas, municipio de Dr. Coss. El caudal medio anual que aporta el Río Pesquería es de 482 m³/segundo, medidos en la estación hidrométrica Los Herreras, situada a 20 km aguas arriba de su confluencia.

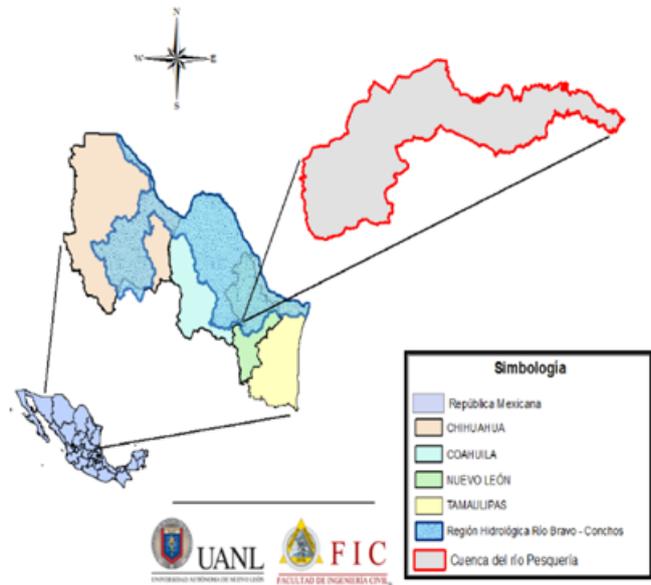


Figura 1. Ubicación de la RH-24, así como de la Cuenca del Río Pesquería.

Es importante mencionar que la Zona Metropolitana de Monterrey en los últimos años se ha incrementado significativamente, llegando prácticamente a unirse con las poblaciones antes mencionadas, de ahí el aumento de la importancia regional de este río ya que en pocos años quedará inmerso en esta gran metrópoli. Si no se regula previamente, se tendrán áreas vulnerables a inundaciones y cinturones de pobreza en las márgenes del río, por invasiones a la zona federal y áreas de amortiguamiento tal y como sucede en el Río Pesquería (Figura 2), Santa Catarina, La Silla, Arroyo El Obispo, Arroyo Seco, y Arroyo La Talaverna, entre otros.

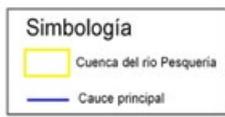


Figura 2. Cuenca del Río Pesquería hasta la Zona Metropolitana de Monterrey.

La metodología que se llevó a cabo en la investigación se divide en seis etapas que se representan gráficamente en bloques, tal y como se muestra en la figura 3.



METODOLOGÍA



Figura 3. Etapas para la definición de la zona federal y áreas de inundación de un río.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del marco legal sobre ríos y zonas federales

El fin primario del aparato normativo en materia de regulación del uso, aprovechamiento y explotación del recurso agua y por ende de las riberas denominadas zonas federales, es el de satisfacer el interés general, tal y como lo establecen los numerales 1º de la Ley General de Bienes Nacionales y el 1º de la Ley de Aguas Nacionales [4, 6]. Esto significa, para el caso que nos ocupa, que dichas normas han sido creadas con el objeto de que el Estado, como ente que detenta la propiedad originaria del agua y de las zonas federales, ejerza un control efectivo que garantice su correcta distribución y preservación y oriente su uso, aprovechamiento y explotación al mejoramiento

de las condiciones de vida de la población, más allá de la obtención voraz de recursos económicos, relativos al cobro de derechos por tales actividades.

Así pues, para implementar una metodología auxiliar en la delimitación de las zonas federales que sea exitosa, las autoridades competentes en la materia, deben de tomar en consideración diversos factores que afectan el entorno, tales como los cambios climáticos que originan eventos hidrometeorológicos de grandes proporciones, así como el crecimiento y expansión de los centros de población y de zonas urbanas. Por lo anterior, se propone insertar a la normatividad vigente una planeación técnica y administrativa que sea susceptible de adecuarse a la totalidad de las regiones hidrológicas comprendidas en el territorio nacional, llevando a cabo un manejo integral que contemple evitar impactos negativos en el medio ambiente, graves afectaciones a la seguridad, al patrimonio y a la vida de los seres humanos, así como un equilibrio fáctico entre las necesidades de desarrollo económico y estructural.

ANÁLISIS HIDROMETEOROLÓGICOS Y SIMULACIONES HIDRÁULICAS

En la primera etapa se definió la cuenca del Río Pesquería, con una extensión de 1560.59 km², una longitud del cauce principal de 136.2 km, y se subdividió en 796 subcuencas; lo anterior se logró al utilizar un modelo digital de elevaciones de la plataforma del *United States Geological Survey* (USGS), por medio del producto *National Elevation Dataset* (NED), este modelo tiene una resolución de 1 arco-segundo (30 X 30 m). Para la definición de los cauces se utilizaron las cartas vectoriales del Instituto Nacional



de Estadística, Geografía e Informática [7]. Se realizó un estudio de lluvias con los datos de lluvias máximas acumuladas en 24 horas de 16 estaciones climatológicas de la Comisión Nacional del Agua [8,10], que opera el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las estaciones climatológicas fueron seleccionadas considerando su ubicación con respecto a la cuenca (influencia espacial) y la longitud de su registro, descartando aquellas con un tiempo de registro menor a 20 años, con excepción de las que, al ser descartadas, ocasionaran pérdida de la cobertura espacial. En cuanto al número de curva se obtuvo una relación de la carta edafológica del INEGI [7] con el *Digital Soil Map of the World* de la *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) para conocer las cantidades de arena, limo y arcilla de cada tipo de suelo; posteriormente, se usó el triángulo de textura del suelo del *United States Department of Agriculture* (USDA), y con ésta poder conocer el grupo hidrológico al que pertenece, según el *Soil Conservation Service* (SCS).

En la segunda etapa se realizó el proceso de validación de la información geomorfológica, meteorológica e hidrométrica obtenida, con la cual se realizó la generación del modelo hidrológico utilizando el modelo matemático HEC-GeoHMS [11], para llevar a cabo las simulaciones hidrológicas; este modelo utiliza cuatro componentes: modelo de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. En una simulación, el HEC-HMS [11] calcula el proceso lluvia-

escurrimiento en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico.

En la tercera etapa, ya realizada la modelación hidrológica, se trataron estadísticamente [12] los datos históricos de la estación hidrométrica 024399 Canadá, que se ubica en el municipio de San Nicolás de Los Garza y cuenta con un registro histórico de 29 años; lo anterior se hizo para seleccionar la función de distribución de probabilidad para el ajuste de datos de gastos máximos anuales; para ello, se determinó la probabilidad de no excedencia de cada uno de los datos, los parámetros estadísticos de la muestra y ajustando los datos a la distribución normal, log-normal, exponencial de dos parámetros, gamma de dos parámetros, Pearson tipo III, valores extremos tipo I (Gumbel) en los anteriores, utilizando el método de los momentos y log-Pearson tipo III con un factor de frecuencias. Asimismo, se obtuvo el error cuadrático y el error estándar de ajuste de la distribución de datos de gastos máximos anuales, para cada función de distribución antes mencionadas, así como la determinación de las frecuencias observadas y esperadas para cada función de probabilidad. En base a estos análisis estadísticos y en función de los errores y pruebas de bondad de ajuste, se determinaron los caudales asociados a distintos periodos de retorno utilizando el ajuste de la distribución de datos de gastos máximos anuales a la distribución Log-normal, comparando éstos con los obtenidos en la modelación hidrológica (Tabla 1).





Tabla 1. Resultados de calibración del modelo hidrológico para distintos periodos de retorno.

PERIODO DE RETORNO O TR (AÑOS)	CAUDALES ESTIMADOS EN		
	MODELO HMS (R319)	HIDROMETRÍA (0243257.582299)	% DE VARIACIÓN
5	299.700	257.522	16.4
10	386.200	396.51	-2.6
20	571.300	552.245	3.5
50	804.400	781.071	3.0
100	990.000	969.617	2.1
500	1442.400	1450.532	-0.6
1000	1643.400	1673.193	-1.8

Referente a la modelación hidráulica, en la cuarta etapa se desarrolló el modelo de HEC-GeoRAS [13,14], el cual es una extensión para ArcGIS 10 desarrollados conjuntamente por el *Hydrologic Engineering Center* (HEC) [13] del *United States Army Corps of Engineers* [15] y el *Environmental System Research Institute* (ESRI). Mediante el uso de estas herramientas se toman los datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río y secciones transversales, y posteriormente los resultados obtenidos se exportan desde HEC-RAS [13] a ArcGIS, para ser procesados y obtener mapas de inundación y riesgo; en este trabajo se simularon dos escenarios, el primero sin tomar en cuenta la infraestructura de vías de comunicación existente y el segundo, considerándola (Figura 4).



Modelo digital de elevaciones (MDE)



Herramienta HEC-GeoRAS para el SIG ArcGIS

Figura 4. Modelo hidráulico del Río Pesquería.

Los resultados preliminares muestran que en la mancha de inundación en la cuenca del Río Pesquería dentro de la Zona Metropolitana de Monterrey, se ubican zonas habitacionales, industriales y agrícolas (Figura 5).



Figura 5. Mancha de inundación, periodo de retorno 100 años.

Una vez que se tengan las evaluaciones de los daños producto de las inundaciones asociadas a distintos periodos de retorno, en los escenarios tomando y no tomando en cuenta la infraestructura existente, será posible contribuir con una propuesta en la toma de decisiones y medidas de gestión para definir las zonas no urbanizables, en los planes rectores de desarrollo urbano y generación de infraestructura pública con base en información disponible de fuentes oficiales de fácil acceso.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE DAÑOS POTENCIALES

Está en proceso la realización del estudio de Costo-Beneficio del área de estudio, para ello se realizó una revisión metodológica, y con esto el estudio de la situación actual y la situación base. Así también, un estudio de Alternativas con base en la información suministrada por el censo de Población y Vivienda 2010 [7], la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo 2013 [7] y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas [7].

A partir de esta información y sobre la base cartográfica elaborada del 2014, se realizará el análisis socioeconómico de daños por inundaciones con los tiempos de retorno establecidos para esta investigación, considerando el mapa de las áreas afectadas por las inundaciones proyectadas

(áreas inundadas durante la tormenta), el número de hogares y de personas afectadas permanentemente con viviendas en las áreas de inundación y el número de hogares y de personas afectadas temporalmente por los aspectos coyunturales (aislamiento, etcétera), así como el número de hectáreas de plantíos por tipo de plantío, que serán afectadas por las inundaciones con proyecciones acordes a los periodos de retorno estimados en las modelaciones hidrológica e hidráulicas.





ANÁLISIS AMBIENTAL

A la fecha, en esta etapa, ya se realizó un análisis de coberturas en base a imágenes de satélite SPOT 5 del año 2010, con validación de campo al 2014, sobre el cual se reconocieron las estructuras naturales y antrópicas explicadas en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de uso y cobertura del suelo en el área de estudio y su extensión absoluta expresada en metros.

Categoría	Número de polígonos	Área (m ²)
Infraestructuras	194	2232462.45
Agropecuario	48	2701269.47
Bancos de arena	54	362147.32
Bosque	9	358602.70
Cultivos permanente	41	2587762.40
Cultivos temporales	9	427688.30
Industria	43	1040493.48
Matorral	276	16485732.18
Pastos	214	5638668.99
Cuerpos de agua	53	2216897.28
Urbano	1019	7428091.40
Total	1963	41449816.01

A partir del mapa de uso y cobertura se relacionó los parches de coberturas naturales (matorral, pasto, bosque) con información sobre la riqueza de especies y con métricas de paisaje elaboradas. Este estudio se basa en la aplicación de un modelo de análisis cartográfico sobre la distribución

de los principales tipos de vegetación en las márgenes del Río Pesquería y las características de riqueza de algunas especies de flora y fauna asociada, así como la condición de conservación de los ecosistemas que éstos representan y de especies características, usando algunos grupos taxonómicos e indicadores. Esta información servirá para desarrollar una metodología que permita determinar los daños directos por inundaciones específicas y se podrán evaluar, no sólo daños económicos y sociales sobre el río y sus márgenes, sino también la afectación ambiental, principalmente a la flora y fauna nativas.



CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión de la literatura se tiene que en los ríos y arroyos de México, que no cuentan con una delimitación y demarcación de su zona federal, no se establece físicamente la propiedad nacional y por lo tanto no se definen las áreas de amortiguamiento necesarias para el buen funcionamiento hidráulico, lo cual da como resultado que el ordenamiento territorial permita el uso de las riberas de los ríos para el crecimiento urbano y la colocación de infraestructura dentro de ellos, lo que incrementa los riesgos por inundación hacia la sociedad y su bienes.

Se han terminado a la fecha 4 de las 6 etapas de investigación, los resultados preliminares indican que se logró procesar, analizar, calibrar y validar el modelo hidrológico obtenido con el modelo matemático HEC-GeoHMS del Río Pesquería hasta la estación hidrométrica Canadá, concluyéndose que los valores obtenidos son aceptables para continuar con la investigación y generar el modelo hidráulico del río.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en particular ArcGis 10, ayuda a obtener y manipular la información digital para facilitar la definición de la modelación hidrológica e hidráulica de ríos, generando las bases de geodatos que permitió la extracción de información en forma precisa, ahorrando tiempo y reduciendo el error humano para definir posteriormente las manchas de inundación y con esto la delimitación de la zona federal. Por otra parte, la simulación hidrológica-hidráulica, aprovechando los avances de las herramientas computacionales, han demostrado al día de hoy, ser mecanismos indispensables para la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca, en este caso, determinando los caudales máximos asociados a periodos de recurrencia y sus correspondientes manchas de inundación, con lo cual se pueden definir las zonas federales y áreas de amortiguamiento de una forma rápida y precisa.

Una vez terminada esta propuesta metodológica se tendrá un instrumento que puede ayudar en la toma de decisiones sobre la intervención antrópica en los ríos, para tener un mejor ordenamiento territorial de las zonas urbanas colindantes a los cauces, para evitar el incremento o nuevos riesgos ante las crecientes.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los desastres LC/MEX/G.5, LC/L.1874, pp. 29-67. 2003.
- 2) CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. CNA-01-006 Concesión para la Ocupación de Terrenos Federales cuya ocupación compete a la Comisión Nacional del Agua, Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=5> (consultado 04/06/2015).
- 3) Organismo de Cuenca Río Bravo-Comisión Nacional del Agua-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/ocrb/> (consultado 04/05/2015).

- 4) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Ley de Aguas Nacionales, última reforma publicada DOF-07-06-2013. pp. 1, 8, 88. 2008.
- 5) Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, última reforma publicada DOF-24-05-2011. pp. 3. 2002.
- 6) Diario Oficial de la Federación, Órgano del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos, Reglamento Interior de la Comisión Nacional del Agua, Sexta sección. México, D.F., Disponible en: <http://www.dof.gob.mx> (consultado 04/08/2015).
- 7) Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/> (consultado 10/05/2015).
- 8) CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, Atlas del Agua en México (2011), Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/SGP-18-11.pdf> (consultado 11/06/2015).
- 9) CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, Serie: Planeación Hidráulica en México, Guía Incorporación de la variable ambiental. pp. 5. 2013.
- 10) CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, Comunicado de prensa No. 156-10, México D.F., 01 de julio. pp. 1-3.14. 2010.
- 11) USACE, CPD-74B "Technical Reference Manual HEC-HMS Hydrologic Modeling System." Version 3.5, March. pp. 4-9. 2000.
- 12) J.L. Oropeza M., Modelos matemáticos y su aplicación al manejo de cuenca hidrográfica. IX Congreso de Irrigación, Simposio 4 Manejo Integral de Cuencas Hidrológicas, Culiacán, Sinaloa, México, 27-29 de Octubre.1999.
- 13) USACE, CPD-68 "User's Manual HEC-RAS River Analysis System.", Version 4.1, January. 2010.
- 14) USACE, CPD-69 "Hydraulic Reference Manual HEC-RAS River Analysis System." Version 4.1, January. 2010.
- 15) Department of The Army, Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, CA 95616-4687. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil> (consultado 05/09/2015).

