



SUELO Y AGUA
SOIL AND WATER

Estimación del riesgo de inundación en urbanismos y zonas agrícolas ubicadas en la planicie del Río Coro, Estado Falcón, Venezuela

Estimated of risk flood in urbanisms and agricultural zones in the Coro river's floodplain, Falcón State, Venezuela

Miguel Ángel Perozo Ynestroza¹ y Norberto V. Marrero de León²

RESUMEN. La planicie de inundación del río Coro en el Estado Falcón de Venezuela, se encuentra desde los últimos 30 años en un proceso de urbanización; además en parte de esta zona se desarrolla actualmente un proyecto agrícola. En dicho período, se han generado daños materiales en los urbanismos en esta zona producto de los desbordamientos del río, cuestión que impacta negativamente la calidad de vida de las comunidades que viven en dichos urbanismos. La urbanización cultiva la vulnerabilidad y con ello el riesgo de inundación, el cual se define como la probabilidad de que ocurran daños producto de este fenómeno. Asimismo, el proyecto agrícola ya que nace con un nivel de vulnerabilidad apreciable. Esto obliga a tomar las medidas necesarias para reducir este riesgo. Para tomar estas medidas se debe conocer cualitativa y cuantitativamente el riesgo de inundación. En este trabajo, se estima la probabilidad de que ocurran daños en términos monetarios, producto de las inundaciones, en las edificaciones residenciales que están asentadas a la margen derecha del río Coro, y en el área del proyecto agrícola. Este trabajo representa un aporte para los gestores del riesgo en la zona, ya que optimiza el proceso de toma de decisiones.

Palabras clave: vulnerabilidad, urbanización, gestores, daños.

ABSTRACT. The Coro river's floodplain, state of Falcón, Venezuela, has been under an urbanization process during the last 30 years. In addition, in a part of this zone an agricultural project is been developed at the moment. In this period, material damages have been generated by flooding, impacting negatively over the life quality of the communities living in these urbanisms. The urbanization process has increased the vulnerability and consequently the flood risk has also been increased, which is defined as the probability that damages can happen because of this phenomenon. Similarly, the agricultural project must take into account the problem, since it evolves with a high level of vulnerability. This situation forces to take necessary measures to reduce the flood risk. In order to take these measures it is necessary to know the risk from a qualitative and quantitative point of view. In this paper, the probability of damages occurrence in monetary terms was estimated, in the residential infrastructure located on the right border of Coro river's and in the area of the agricultural project, due to flooding. This estimation represents a contribution to risk managers in this zone, because it also contributes to optimize the process of decision making.

Keywords: vulnerability, urbanization, managers, damages.

INTRODUCCIÓN

En el Estado Falcón de Venezuela, específicamente en la cuenca baja del río Coro, existen antecedentes de inundación, los cuales indican que frecuentemente se presentan desbordamientos en la planicie del río, afectándose los urbanismos

asentados en la zona y como agravante de esta situación, cada año aumenta el desarrollo urbanístico, lo que provoca un aumento de la vulnerabilidad a la inundación en la zona en cuestión Perozo (2007). Además en la actualidad se está ejecutando un proyecto agrícola en el sector Butare-Las Calderas, el cual abarca un área aproximada de 689 ha, el cual se pretende usar

Recibido 20/06/10, aprobado 31/07/11, trabajo 33/11, investigación.

¹ M.Sc. Centro de Investigaciones en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda", Complejo Académico "Los Perozo", Teléfono: 0268-2528882, Apartado Postal 4101, Coro, Estado Falcón, Venezuela, E-✉: maperozo40@gmail.com.

² Dr.C., Prof. Titular, Centro de Investigaciones Hidráulicas del Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.

para el cultivo de hortalizas, frutales y forrajes. Ante este escenario, es necesario que los organismos encargados de la gestión de inundación en la región dispongan de la información necesaria para implementar las medidas que logren atenuar el riesgo de inundación, el cual es consecuencia de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad, Kron (2002).

Por lo tanto, cuantificar el riesgo es el primer paso necesario para la posterior implementación de medidas que logren re-

ducirlo. Basados en este planteamiento, surge la necesidad de realizar el presente trabajo, el cual tiene como objetivo estimar el riesgo de inundación en los urbanismos que se encuentran en la margen derecha de la planicie del río Coro, específicamente en 180 casas de la urbanización El Cardón, y en la zona agrícola Butare-Las Calderas, lo cual permitirá obtener los probables daños que pueden generarse ante el cumplimiento de dicha amenaza (Figura 1).

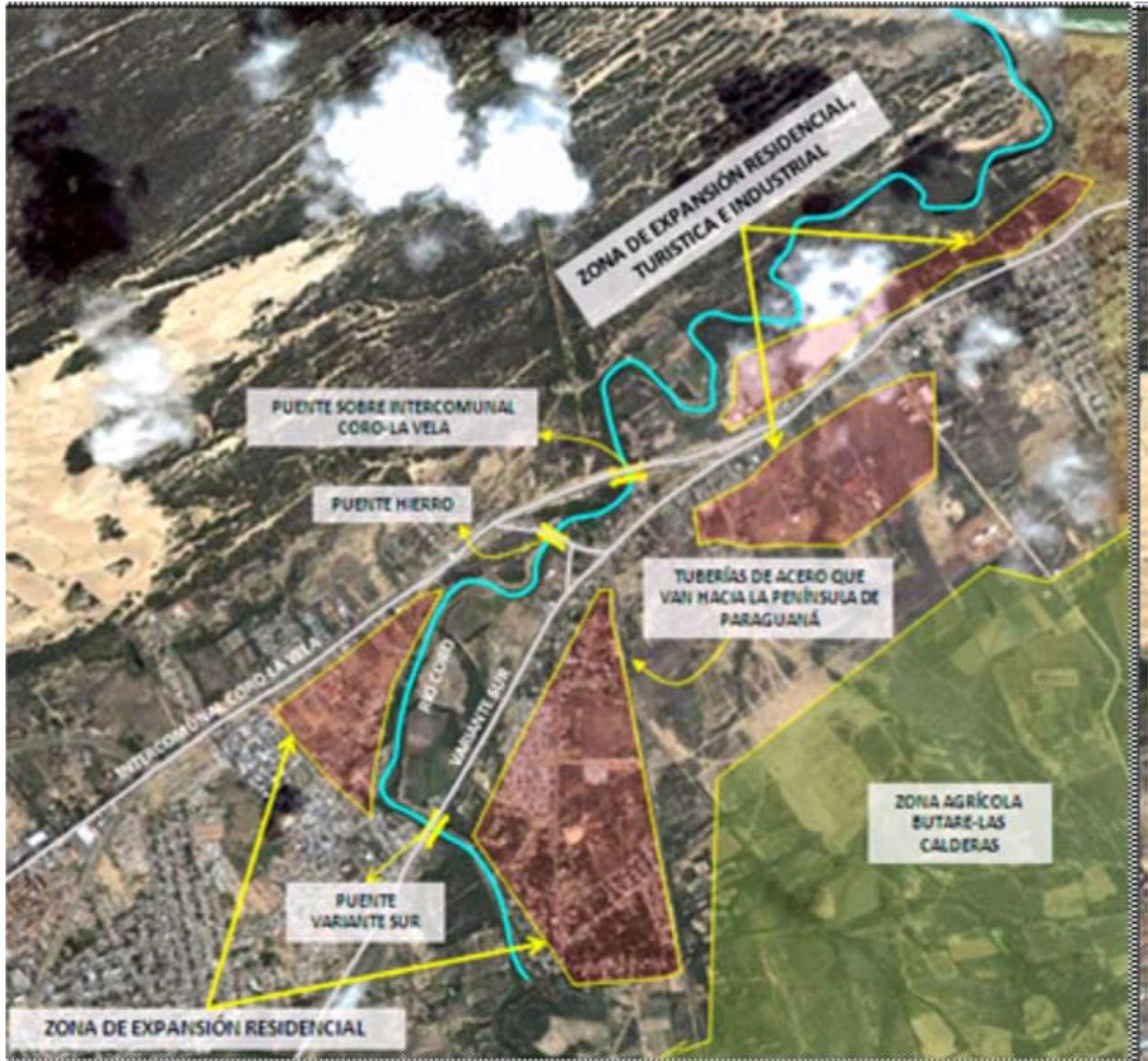


FIGURA 1. Vista aérea de un tramo del río Coro estudiando. Fuente: Google Earth.

Para la estimación de la amenaza de inundación se realizó un análisis hidrodinámico del tramo del río en cuestión, apoyados en el uso del software HEC-RAS y HEC-GeoRAS, y para estimar la vulnerabilidad y el riesgo de inundación se estimó el valor de las edificaciones residenciales que componen los urbanismos en cuestión, a través de avalúos de bienes inmuebles, y el porcentaje que puede ser dañado producto de las profundidades de inundación esperadas usando funciones de daños relativas adecuadas para el tipo de edificación. Para la zona agrícola se utilizaron funciones de daños absolutas que relaciona directamente el área afectada con los daños en términos monetarios. Todo este procedimiento se realizó apoyado en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Así mismo, se identificó el área afectada y profundidades de inundación en las zonas a cultivar, y se usaron las funciones de daños absolutas que son las aplicables de acuerdo a la información disponible. Finalmente, se obtuvieron los mapas de riesgo de inundación para 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años de período de retorno, y el daño anual esperado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología para materializar el trabajo en cuestión constó de siete (7) fases; en la **fase 1** se recopiló la información básica disponible referida a: 1) el modelo de elevación digital de la planicie del río Coro, (escala 1:5000); 2) caudales máximos de los hidrogramas de la cuenca que drena hasta la planicie para 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años de período de retorno, esto se obtuvo de Linárez (2001); 3) información catastral disponible de los urbanismo, González *et al.* (2009); 4) ubicación de la zona del proyecto agrícola Butare-Las Calderas. En la **fase 2**, se realizó la evaluación hidrodinámica del tramo apoyados en el uso del modelo HEC-RAS y su aplicación HEC-GeoRas, lo cual permitió optimizar el análisis geoespacial de dicha evaluación a partir del uso de Sistemas de Información Geográfica (ArcView GIS). Los resultados obtenidos en García *et al.* (2009) y Samaan *et al.* (2009) fueron insumos importantes en esta fase; en esta fase, se realizó el levantamiento plani-altimétrico del cauce del río Coro en el tramo desde la urbanización “Las Calderas” hasta la desembocadura al Mar Caribe, el cual tiene una longitud aproximada de 10 kilómetros. Este levantamiento se integró al modelo de elevación digital de la planicie. En la **fase 3** se estimó la amenaza de inundación de los urbanismos ubicados en la planicie del río Coro para los períodos de retorno mencionados. Para ello, se usó ArcView GIS, Global Mapper y Surfer, con el propósito de optimizar la delineación de la

mancha de inundación. En la **fase 4**, se realizó un inventario de los bienes muebles e inmuebles de las edificaciones residenciales en la zona, a partir de valuaciones para los inmuebles, y para los muebles se diseñó y aplicó un instrumento (encuesta) que permitió recopilar la información de éstos, los cuales fueron valorados con los precios de mercado actual en el país. En esta fase, también se seleccionaron las funciones de daños por inundación con las particularidades de la zona en estudio, con el propósito de conocer la propensión al daño de cada edificación. Para este caso, al estimarse el valor de las edificaciones (inmuebles y muebles), se trabaja con funciones de daños relativos. González *et al.* (2009), aportaron aspectos metodológicos valiosos en esta fase. En la **fase 5**, se selecciona una función de daños para la zona agrícola, la cual al no conocerse aún con precisión el tipo y extensión de cada cultivo, obliga a recurrir a funciones absolutas, las cuales relacionan el área unitaria cultivada con los daños directamente en términos monetarios. En la **fase 6** se combinaron los resultados de la amenaza de inundación y la propensión al daño, apoyados en el uso del SIG, para obtener el riesgo de inundación de los urbanismos y zona agrícola en cuestión y su distribución espacial. En la Figura 2 se muestra el procedimiento general de esta operación de forma esquemática. Finalmente, en la **fase 7** se estimó el daño anual esperado de acuerdo con la curva de riesgo obtenida la cual relaciona los daños versus su probabilidad de ocurrencia (Figura 3).

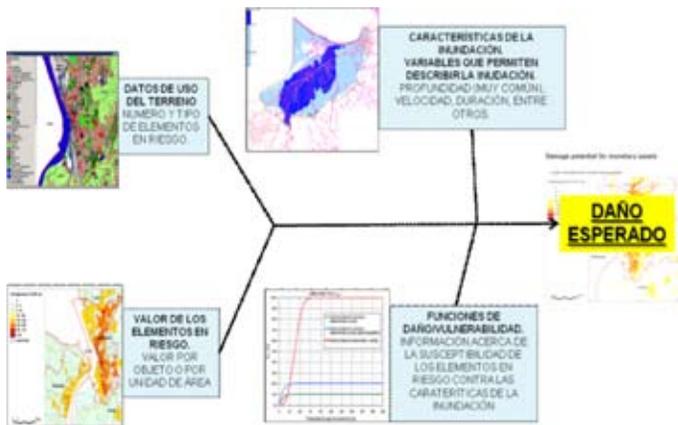


FIGURA 2. Metodología empleada para estimar el riesgo de inundación.

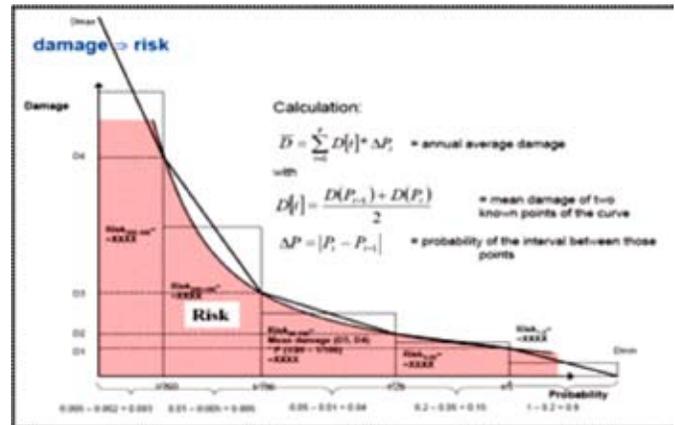


FIGURA 3. Curva que describe y permite estimar el riesgo de inundación. Fuente: Meyer (2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de urbanismos para el análisis de riesgo de inundación

La Figura 4 muestra la ubicación del urbanismo y casas seleccionadas (180) en esta primera etapa para el análisis, y la zona agrícola proyectada, los cuales se encuentran en la ribera derecha del río, para la cuantificación del riesgo de inundación.

FIGURA 4. Urbanismo y zona agrícola ubicada en la ribera derecha del río Coro



Estimación de la amenaza de inundación en la planicie del río Coro

A continuación, se presentan los resultados de la estimación de la amenaza de inundación en la planicie del río Coro para los periodos de retorno de 2 y 500 años (Tabla 1 y Figura 5).

TABLA 1. Caudales picos o máximos para diversos periodos de retorno

Periodo de retorno, año	2	5	10	25	50	100	200	500
Caudales máximos, m ³ /s	314,1	512	628,9	773,9	851	978,5	1068,7	1229,8

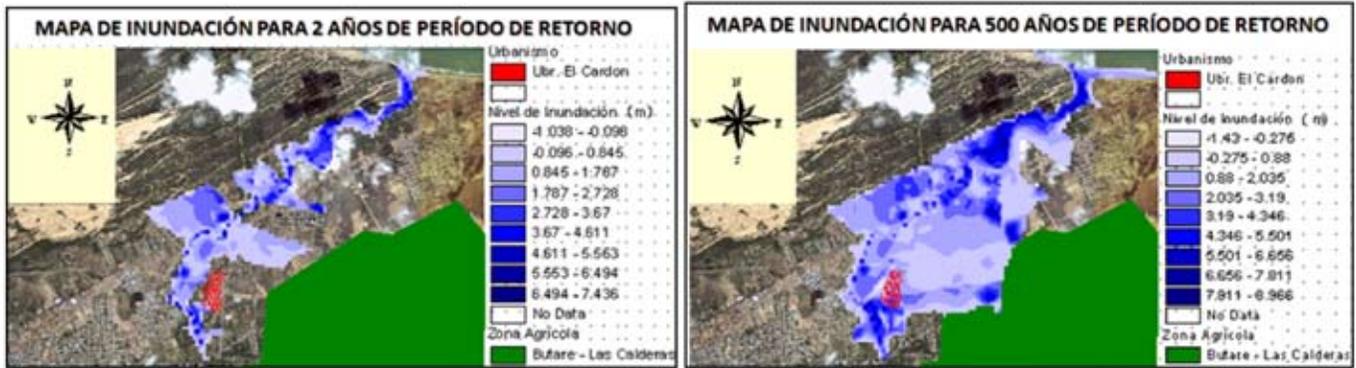


FIGURA 5. Mapas de amenaza de inundación para 2 y 500 años de período de retorno.

Estimación del valor de las edificaciones residenciales

En el mapa que se muestra en la Figura 6, se presenta la distribución espacial del valor de los bienes muebles e inmuebles de los urbanismos, así como las características de cada casa. Esto se realizó gracias al inventario realizado y la respectiva valuación de los inmuebles en la zona de estudio seleccionada, para el cual se utilizó el método de Ross-Heideck.

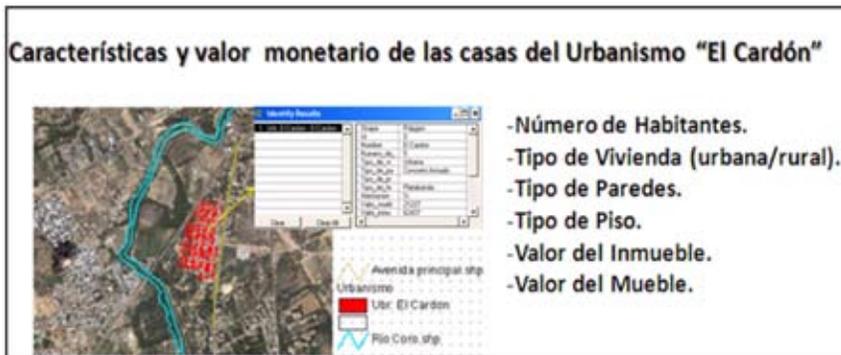


FIGURA 6. Representación espacial de los bienes inmuebles de las edificaciones residenciales.

Selección de las funciones de daños por inundaciones para edificaciones residenciales

Luego de realizar un análisis de las diversas funciones de daños encontradas en la literatura, se decidió trabajar con las funciones propuestas por Moreno (2008), las cuales presentan aspectos similares a las condiciones de las edificaciones en cuestión. Estas funciones se presentan en la Figura 7.

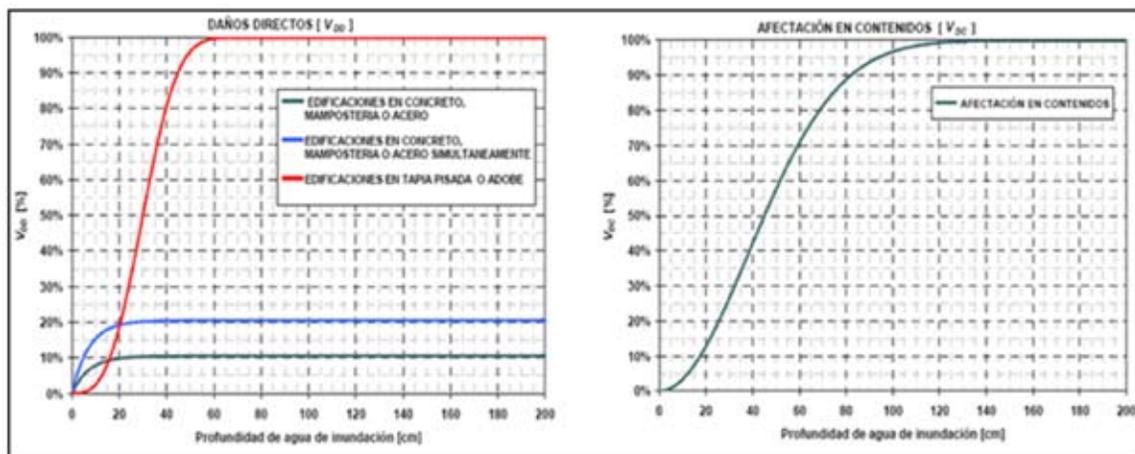


FIGURA 7. Funciones de daños (curva de vulnerabilidad típica) para estimar los daños directos (izquierda), y afectación de contenidos (derecha).

Estimación del riesgo de inundación en urbanismo seleccionado

En la Figura 8 se presentan los mapas de riesgo de inundación para 2 y 500 años de período de retorno.

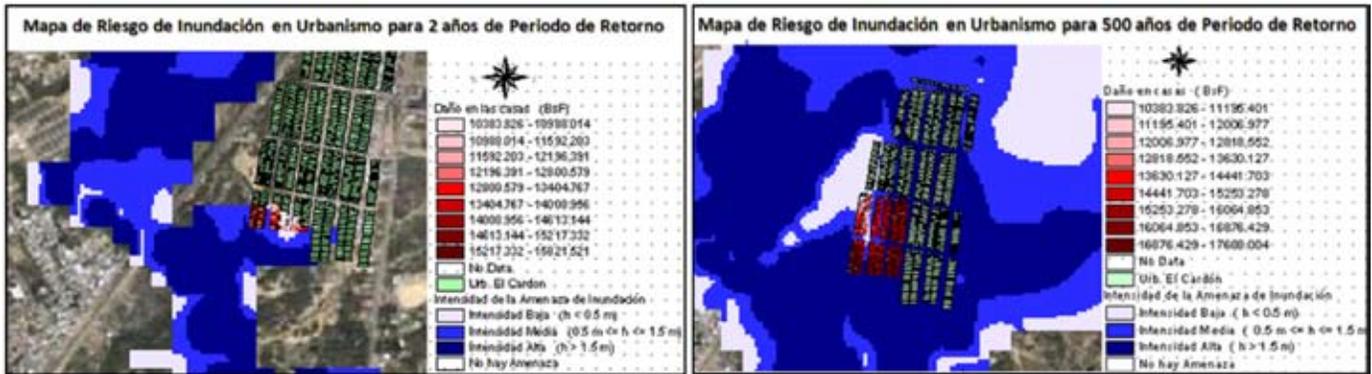


FIGURA 8. Riesgo de inundación para 2 y 500 años de período de retorno.

Estimación del daño anual esperado en el urbanismo seleccionado

El área bajo la curva, que se presentan en la Figura 9, permite estimar el daño anual esperado en los urbanismos analizados producto del desbordamiento del río Coro.

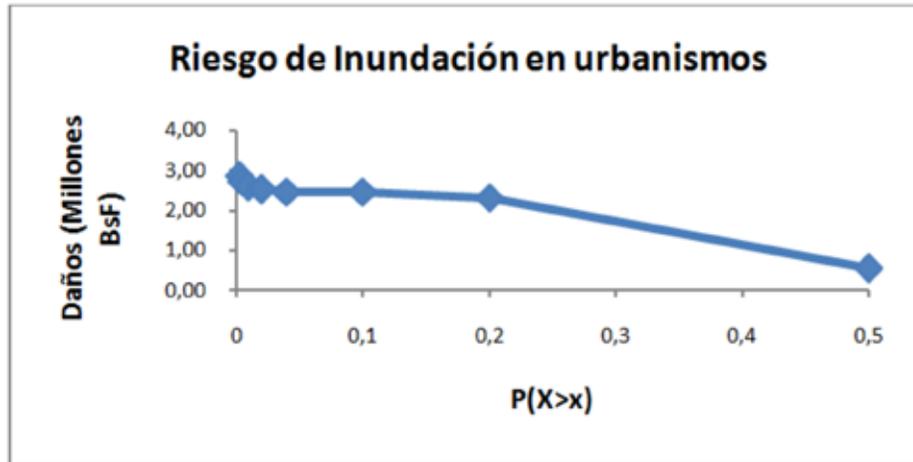


FIGURA 9. Curva de riesgo de inundación para el urbanismo seleccionado.

De acuerdo con estos resultados, al estimar el área bajo la curva de riesgo en el sector seleccionado de la urbanización El Cardón, se obtiene la cifra de un daño aproximado de **917 709.7 BsF/año.**, lo que equivale a **213 420.9 \$/año.**

Estimación del riesgo de inundación en zona agrícola Butare–Las Calderas

La afectación de la zona agrícola Butare–Las Calderas producto de las probables inundaciones que se pueden generar en la zona en estudio, no representan un impacto significativo a las 689 ha previstas para este proyecto; de hecho, para la mayor afectación producida por la mancha de inundación de 500 años de período de retorno, son inundadas 84 ha, lo cual representa un 12,54% del área total. Las áreas afectadas para los periodos de retornos considerados se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2. Área agrícola afectada para diversos periodos de retorno

T, año	2	5	10	25	50	100	200	500
Área afectada, ha	0	28	55	57	64	82	83	84

Meyer, *et al.* (2005), propone una función absoluta que relaciona el daño directo e indirecto esperado con el área de inundación; esto en el caso de que la inundación sea nociva para el cultivo. El daño directo se relaciona con el impacto directo al cultivo en términos monetarios, y el indirecto relacionado con las pérdidas ocasionadas por la merma de la producción de los bienes y servicios que implica esta actividad; Los daños directos son 1.4 Euros/m² (7.2 BsF/m²) y los indirectos 1.6 Euros/m² (8.3 BsF/m²). En función de los resultados obtenidos, se obtiene la curva del riesgo de inundación en la zona agrícola en cuestión 8 (Figura 10).

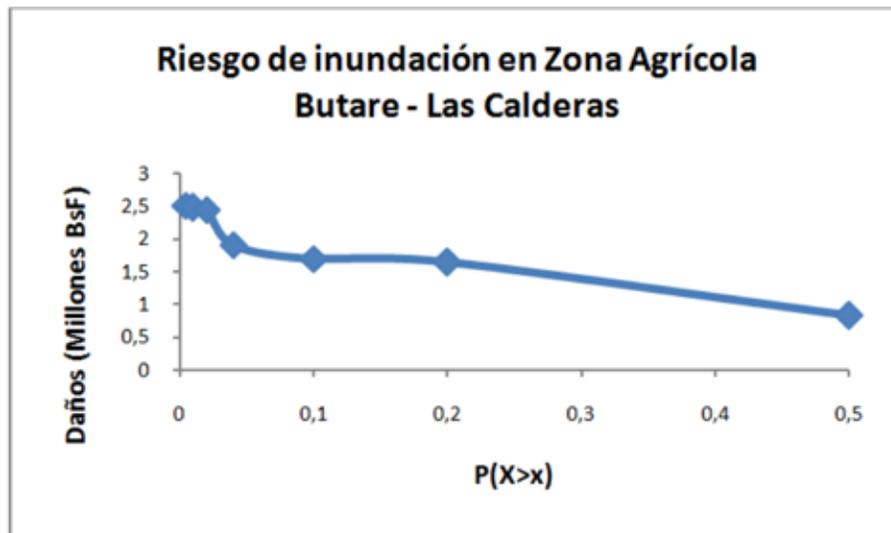


FIGURA 10. Curva de riesgo de inundación en la zona agrícola Butare-Las Calderas.

De acuerdo con estos resultados, al estimar el área bajo la curva de riesgo en el zona agrícola Butare-Las Calderas, se obtiene la cifra de un daño aproximado de 731 475 BsF/año., lo que equivale a 170 110.4 \$/año.

CONCLUSIONES

- Se puede constatar que el riesgo de inundación, producto del desbordamiento del río Coro, en los urbanismos y la zona agrícola que se proyecta actualmente, es capaz de provocar importantes pérdidas materiales, e inclusive, existe una alta posibilidad de que en algunas zonas debido a profundidades de inundación que alcanzan cerca de los 4 y 5 metros, la vida de las personas que habitan en dicha zona sea puesta en peligro.
- La metodología empleada para estimar el daño por inundación puede ser extrapolada a cualquier SIG que use sus estructuras de datos tradicionales, sin tener que recurrir necesariamente a software comerciales. Además ésta estimación en términos monetarios, representa una novedad en Venezuela, y un aporte muy valioso para los gestores del riesgo en este país.
- Las funciones de años absolutas, utilizadas en este caso para la zona agrícola, deben ser usadas con cuidado, ya que estas normalmente nacen de las particularidades de la región donde se desarrollaron.
- La representación espacial del riesgo de inundación representa un aporte muy valioso, ya que ello permite mostrar la variación de dicho riesgo en cada elemento, y por lo tanto, no todos requieren el mismo nivel de protección; esto permite optimizar la gestión del riesgo de inundación en la zona y representa una de las tendencias bien definidas de la comunidad científica actual en el tema en cuestión.
- Finalmente, es necesario recalcar la importancia que representa la concientización del problema por parte de las comunidades y productores agrícolas afectados y de los propios gestores, ya que este hecho sólo representa el inicio exitoso del plan de gestión de riesgo que debe diseñarse e implementarse en la planicie del río Coro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GARCÍA, J. y J. MIQUILENA: *Evaluación hidrodinámica del río coro desde el sector Las Calderas hasta la Intercomunal Coro-La Vela*, 212pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Civil)**, Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, Coro, Estado Falcón, Venezuela, 2009.
- GONZALEZ, D. y Y. JIMÉNEZ: *Análisis de vulnerabilidad y estimación de daños materiales producto del desbordamiento del río Coro en la Urbanización La Paz y desarrollos aledaños, Municipio Miranda, Estado Falcón*, 189pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Civil)**, Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, Coro, Estado Falcón, Venezuela, 2009.
- KRON, W.: *Keynote lecture: flood risk = hazard x exposure x vulnerability*. Geo Risks Research Dept, Munich Reinsurance Company, Munich, Germany, Flood Defense 2002, Science Press, New York Ltd., ISBN 1-880132-54-0. Munich, Germany, 2002.
- LERMONT, L y HERNÁNDEZ, D. *Diseño hidráulico del sistema de riego Butare – Las Calderas, Municipio Colina, Estado Falcón*, 148pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Mecánico)**, Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, Coro, Estado Falcón, Venezuela, 2011.
- LINÁREZ, I. *Análisis de la Respuesta Hidrológica de la Cuenca del Río Coro apoyados en el uso de Sistemas de Información Geográfica*, 163pp., **Tesis (en opción al título de Especialista en Recursos Hidráulicos)**, Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”, Barquisimeto, Venezuela, 2011.
- MORENO, M y HERNÁNDEZ, G. Determinación de zonas de riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales. Colombia 2008, En: **Memorias del XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica**, Cartagena de Indias, Colombia, 2008.

- MEYER, V.: *A multicriteria flood risk assessment and mapping approach*, 41pp., *FloodRisk*, 2008, Oxford, United Kingdom, 2008.
- MEYER, V and F. MESSNER: *National Flood Damage Evaluation Methods*, 49pp., A Review of Applied Methods in England, the Netherlands, the Czech Republic and Germany, UFZ-Discussion Papers, (Reseña), Germany, 2005.
- PEROZO YNESTROZA, M.: *Sistema integral de medidas para la reducción del riesgo de inundación en llanura del río Coro*, 20pp., Anteproyecto Tesis Doctoral, Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, 2007.
- SAMAAN, D. y J. RAMÍREZ: *Evaluación de la amenaza de inundación del río Coro y sus adyacencias entre la Intercomunal Coro–La Vela y el Mar Caribe, Municipio Colinaç- Estado Falcón*, 156pp., **Trabajo de Diploma (en opción al título de Ingeniero Civil)**, Universidad Nacional Experimental “Francisco de Miranda”, Coro, Estado Falcón, Venezuela, 2009.



A NUESTROS COLABORADORES
Las instrucciones para la presentación de los trabajos y otros detalles relacionados con la recepción de artículos, aparecen en el reverso de la contracubierta de la revista con el título: NORMAS DE PRESENTACIÓN. Pueden publicar en la revista investigadores, profesores y especialistas cubanos y extranjeros.



TEMAS QUE SE PUBLICAN

- **Agricultura de Conservación.**
- **Construcción de operación de máquinas e implementos agrícolas y pecuarios.**
- **Explotación y administración de la maquinaria agrícola.**
- **Pruebas de tractores y máquinas agrícolas.**
- **Fiabilidad, reparación y mantenimiento de las máquinas agrícolas y tractores.**
- **Portadores energéticos y uso de los desechos en la producción de energía renovable.**
- **Computación y matemáticas aplicadas a la Ingeniería Agrícola.**
- **Construcciones e instalaciones pecuarias.**
- **Protección del medio ambiente rural.**
- **Suelo y agua.**
- **Docencia y capacitación en la Ingeniería Agrícola.**
- **Tracción animal.**
- **Otros temas de Ingeniería Agrícola.**

Informaciones

Para cualquier otra información sobre la revista dirija su correspondencia a:



Dr.© Héctor de las Cuevas Milán
Centro de Mecanización Agropecuaria
Autopista Nacional y Carretera de Tapaste. km 23, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. Apdo. 18-19
Tel.: (53)(47) 864346
E_mail: hector@isch.edu.cu