

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/318120253>

METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE RETORNO ÓPTIMO DE DISEÑO PARA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES, CASO RÍO BOGOTÁ

Conference Paper · September 2014

CITATIONS

0

READS

645

2 authors:



Juan Pablo Quijano Baron

The University of Newcastle, Australia

17 PUBLICATIONS 98 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mario Diazgranados

Los Andes University (Colombia)

37 PUBLICATIONS 297 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



COUPLING HYDROLOGY, BIOCHEMICAL VEGETATION AND LANDFORM DYNAMICS FOR THE ASSESSMENT OF CLIMATE CHANGE IMPACTS [View project](#)



Water quality modeling of the Magdalena river and characterization of rainfall runoff and sewerage of Giradot city [View project](#)

**XXI SEMINARIO NACIONAL DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
VILLA DE LEYVA, BOYACÁ, 25 AL 27 DE SEPTIEMBRE, 2014**

**METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PERIODO DE
RETORNO ÓPTIMO DE DISEÑO PARA MITIGACIÓN DE
INUNDACIONES, CASO RÍO BOGOTÁ**

Juan Pablo Quijano, Mario Díaz-Granados

Universidad de los Andes, Colombia, juanpquijano26@gmail.com

RESUMEN:

Daños generados en inundaciones conllevan a evaluar y replantear las inversiones para la prevención y control de estos eventos naturales. Los programas de computador se han convertido en un instrumento útil para apoyar la toma de decisiones. Este estudio planteó una metodología, aplicada a un caso de estudio en la cuenca alta del Río Bogotá, Colombia, con el objetivo de hallar un periodo de retorno óptimo para el diseño a partir de herramientas computacionales. Se realizó un inventario de usos de suelo en la zona, se establecieron costos unitarios por área y cantidades. También se llevaron a cabo análisis hidrológicos que fueron la base para la modelación hidráulica. De allí se determinaron huellas de inundación para diferentes periodos de retorno, niveles, velocidades y alturas de jarillones. Se cruzaron las zonas anegadas con los usos de suelo para determinar los costos por daños, se hallaron los costos esperados y se establecieron los costos de construcción de los jarillones para cada uno de los periodos de retorno. Finalmente se determinaron los costos totales (costos esperados más costos de construcción), cuyo mínimo corresponde al periodo de retorno óptimo para el diseño.

ABSTRACT:

Damage and flooding events derive in the need of cost-effective investments for prevention and control. Computer programs have been turned in useful tools to support decision making. This study proposes a methodology applied in Bogota River upper watershed to find an optimal return period for design using several of these tools. A soil uses inventory was made, at the same time, unit costs and quantities were established for that area. Flood footprints, water height, velocities and levee height for different return periods were determined. Flooded areas were crossed with land use and damage costs were calculated. Total costs were established (expected cost plus levee construction costs for each return period) whose minimum was the optimal return period for design.

PALABRAS CLAVES: *Inundación, modelación, análisis económico, periodo de retorno óptimo.*

INTRODUCCIÓN

Las civilizaciones y personas tradicionalmente se han establecido alrededor o cerca de cuerpos de agua debido a la dependencia para consumo, agricultura, ganadería, recreación y saneamiento. Sin embargo, lo anterior implica la exposición a amenazas como inundaciones, maremotos y tsunamis, con el agravante de su aparente incremento, en frecuencia y magnitud, dado el cambio climático (Sanders, 2007).

En el segundo semestre de 2010 y el primer semestre de 2011 se presentó una ola invernal en Colombia que generó inundaciones en el centro y en el norte del país. La Presidencia de la República de Colombia calculó que durante los primeros cuatro meses del 2011 se habían destinado \$9 millones de dólares para obras de mitigación, además de \$4 millones de dólares gastados en obras correctivas sólo en el departamento del Atlántico (Presidencia de la República, 2011).

Eventos de inundación como los anteriormente mencionados indican la necesidad de estudios más detallados de los eventos hidrológicos, así como de una mejor gestión del recurso hídrico. Esto se refiere a una planeación, manejo y control de eventos extremos que deriven en intervenciones costo-efectivas y en reducciones en costos por daños (Torres, Sepulveda, Stull, & Hollaway, 2011).

Abordar la amenaza hidrológica a partir de herramientas computacionales ha sido una forma de afrontar la situación. Uno de los retos ha sido el acoplar análisis técnicos y económicos para seleccionar soluciones óptimas. En este estudio se planteó una metodología para la obtención del periodo de retorno de diseño óptimo entendido como aquel que genera el menor costo agregado de daños y costos de construcción de infraestructura de protección; en este caso se limita a la edificación de jarillones en tierra.

El caso de estudio se encuentra situado al sur de la cuenca Alta del Río Bogotá (ver Figura 1), municipio de Chía, en donde las inundaciones en los años 2010 y 2011 dejaron, vías anegadas, 862 hectáreas afectadas y pérdidas de ganado y alimentos. Además allí se concentran diferentes usos de suelo: universidades, conjuntos residenciales, zonas sub urbanas, áreas agrícolas y ganaderas.

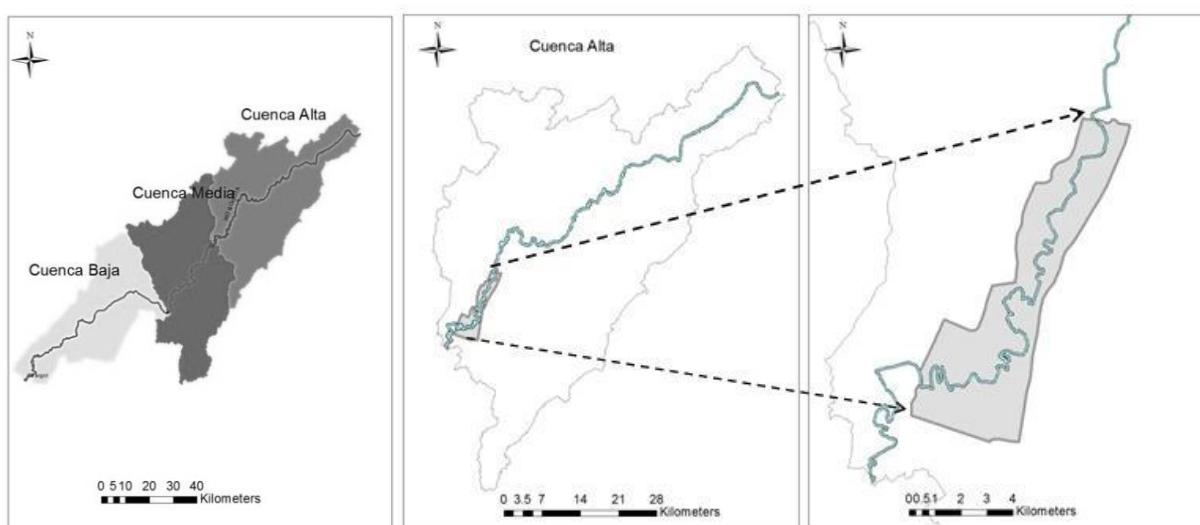


Figura 1. Cuenca Río Bogotá y zona de estudio.

METODOLOGÍA

La metodología planteada incluye la modelación hidrológica, hidráulica y económica incluyendo un proceso de calibración y validación preliminar en el caso de estudio seleccionado. Se estipularon dos escenarios: 1. Actual y 2. Prospectivo. El primero recrea la condición presente (a la fecha del estudio) en la cual se encontraba la zona con algunos jarillones en conjuntos residenciales y universidades de diferentes alturas. El segundo presenta un escenario el cual incluye la adecuación hidráulica del río (dragado y ampliación de la sección transversal) partiendo de una condición inicial sin ninguna protección. La metodología aplicada se resume en la Figura 2.

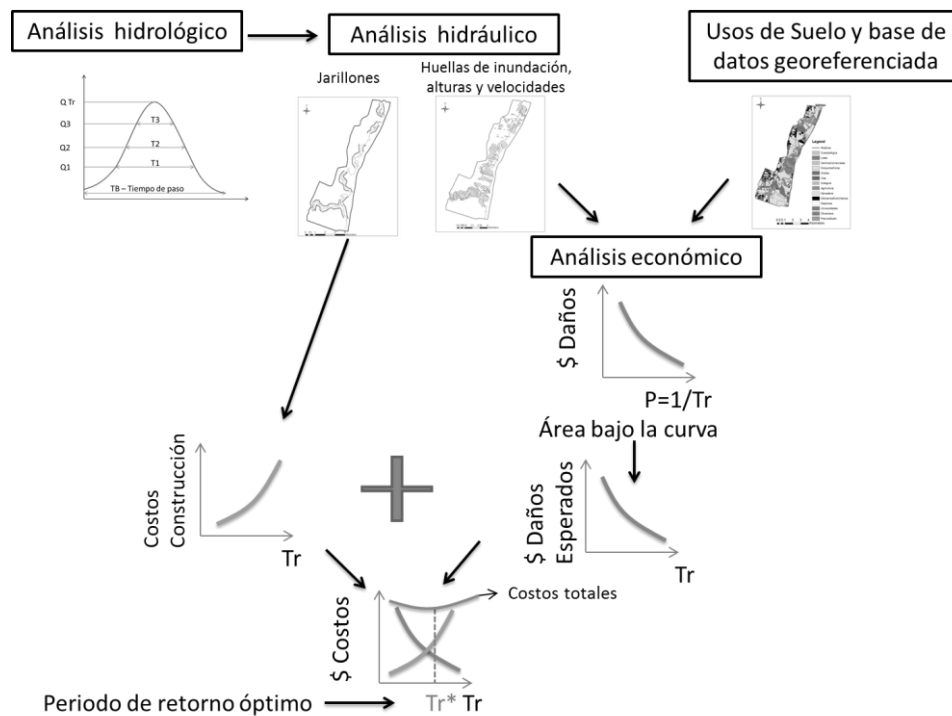


Figura 2. Diagrama para la obtención del periodo de retorno óptimo.

La modelación hidrológica consistió en un análisis de frecuencia de caudales y de volúmenes para la generación de hidrogramas sintéticos a partir de análisis de eventos históricos (periodos de retorno de 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000 años). La modelación hidráulica se basó en batimetrías del río y curvas de nivel de la zona con las cuales fue posible la creación de un modelo de elevación del terreno.

Se utilizaron dos software de libre distribución: River2D y HEC-RAS. El análisis hidráulico consistió en hallar los mapas de inundación, niveles, velocidades y cota de los jarillones para la cual no se genera desborde. Todos estos resultados fueron exportados a un Sistema de Información Geográfico (SIG).

La calibración y validación de los modelos hidráulicos residió en la compilación de eventos históricos de inundación (ocurridos en los años 2010 y 2011) y marcas de agua en estructuras presentes en el lugar de estudio (a partir de visitas en campo) para comparar con los resultados arrojados por los modelos.

La modelación económica se dividió en dos segmentos: 1. Determinación de costos por daños económicos 2. Cálculo de costos por la construcción de jarillones. Ambos se realizaron a partir de programas realizados en el programa MATLAB.

- **Cálculo costo por daños**

El primero se realizó el inventario de usos de suelo trazándolos en SIG a partir de fotografías aéreas. Se establecieron 12 usos de suelo: agricultura, ganadería, conjuntos residenciales, manzanas suburbanas, colegios, universidades, clubes, lotes, centros comerciales, galpones, vías, y usos especiales.

A partir de información recolectada en campo e información secundaria, cada predio fue nutrido de diferentes datos según su uso de suelo (costos de terreno, estrato, cantidades de ganado o productos de agricultura, entre otros), permitiendo crear una base de datos con información relevante para el cálculo de costos.

Con la huella de inundación; obtenida del modelo hidráulico, y con los usos de suelo se obtuvieron los usos de suelo del área afectada por la inundación (ver Figura 3).



Figura 3. Diagrama para la obtención de los usos de suelo inundados.

Posteriormente se establecieron los principales costos para cada uno de los usos de suelo incluyendo la ganadería, la agricultura, los conjuntos residenciales, los galpones de flores, las vías, los colegios y centros comerciales. En primer lugar, a partir de las ecuaciones [1], [2], [3] y [4] para las zonas con uso de suelo de ganadería,

Perdida de ganado

$$\begin{aligned}
 &= \text{Cantidad de Vacas Doble Propósito} * \text{Precio Ganado Doble Propósito} \left(\frac{\$}{\text{unidad}} \right) \\
 &+ \text{Cantidad de Vacas lecheras} * \text{Precio Ganado lechero} \left(\frac{\$}{\text{unidad}} \right) \\
 &+ \text{Cantidad de Vacas Carne} * \text{Precio Ganado Carne} \left(\frac{\$}{\text{unidad}} \right)
 \end{aligned} \quad [1]$$

Pérdida de productividad

$$\begin{aligned}
 &= \left(\text{Cantidad de Vacas Doble propósito} * \text{Rendimiento de leche DP} \left(\frac{L}{\text{Día} * \text{Vaca}} \right) \right. \\
 &+ \left. \text{Cantidad de Vacas lecheras} * \text{rendimiento leche VL} \left(\frac{L}{\text{Día} * \text{Vaca}} \right) \right) \\
 &* \text{Costo de Leche} \left(\frac{\$}{L} \right) * \text{Tiempo de Permanencia de la Inundación (días)}
 \end{aligned} \quad [2]$$

Otros Costos Ganaderos

$$= \text{Cantidad de Ganado} * \text{Tiempo de Permanencia (días)} * \text{Costo unitario} \left(\frac{\$}{\text{Vaca} * \text{día}} \right) \quad [3]$$

$$\text{Costos Ganadería} = \text{Perdida de ganado} + \text{Pérdida de productividad} + \text{Otros Costos Ganaderos} \quad [4]$$

Para las zonas donde el uso de suelo está centrado en la agricultura, los costos por daño se determinaron con las ecuaciones [5], [6] y [7] donde se describen los daños por pérdida de cultivo, y readecuamiento del terreno respectivamente.

$$P\acute{e}rdida\ de\ Cultivo = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Rendimiento\ del\ Cultivo\left(\frac{kg}{m^2}\right) * Costo\ del\ Cultivo\left(\frac{\$}{kg}\right) \quad [5]$$

$$Readecuamiento\ del\ terreno = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Costo\ de\ fertilizantes, plaguicidas\ y\ mano\ de\ obra\left(\frac{\$}{m^2}\right) \quad [6]$$

$$Costos\ Agricultura = Perdida\ de\ Cultivo + Readecuamiento\ del\ terreno \quad [7]$$

El uso de suelo residencial, específicamente de daños en conjuntos residenciales y manzanas suburbanas, también fue considerado de acuerdo a la ecuación [8] donde el costo depende del área inundada, el costo unitario del terreno y de un factor de vulnerabilidad.

$$Costos\ Conjuntos\ y\ Manzanas = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Costo\ unitario\ del\ Terreno\left(\frac{\$}{m^2}\right) * Factor\ de\ vulnerabilidad \quad [8]$$

Dado que una de las actividades económicas predominantes en la zona de estudio es el cultivo de flores, los daños a estas zonas fueron considerados a través de la ecuación [12] cuyos términos son determinados con las ecuaciones [9], [10] y [11].

$$Perdida\ de\ Flor = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Rendimiento\ del\ flor\left(\frac{kg}{m^2}\right) * Precio\ Flor\left(\frac{\$}{kg}\right) \quad [9]$$

$$Readecuación\ del\ terreno\ flores = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Costo\ de\ fertilizantes, plaguicidas\ y\ mano\ de\ obra\ Flores\left(\frac{\$}{m^2}\right) \quad [10]$$

$$Costo\ estructural\ del\ Galpón = \acute{A}rea\ Inundada(m^2) * Costo\ Unitario\ Galpón\left(\frac{\$}{m^2}\right) \quad [11]$$

$$Costo\ Galpones = P\acute{e}rdida\ de\ Flor + Readecuación\ del\ terreno\ flores + Costo\ estructural\ del\ Galpón \quad [12]$$

Por otra parte, el costo asociado con la disrupción en las vías dado un evento de inundación fue considerado con la ecuación [15] que incluye los costos por el tiempo de desplazamiento adicional (ecuación [13]) y los costos por disrupción (ecuación [14]).

$$Costos\ por\ Tiempo\ adicional = Incremento\ en\ Tiempo\ (hora) * Velocidad\ Promedio(km/hora) * Precio\ Gasolina\ por\ Kilómetro\left(\frac{\$}{Km}\right) * Vehículos \quad [13]$$

$$Disrupción = Costo\ por\ Día * Tiempo\ de\ disrupción \quad [14]$$

$$Costos\ Vías = Costos\ por\ Tiempo\ adicional + Disrupción \quad [15]$$

Los eventuales daños ocasionados en colegios, universidades, clubes y centros comerciales fue considerado a través del costo unitario del terreno afectado con la ecuación [16]. Finalmente, el costo de oportunidad se determinó con la ecuación [17].

$$\text{Costos Varios} = \text{Área Inundada}(\text{m}^2) * \text{Costo unitario del Terreno} \left(\frac{\$}{\text{m}^2} \right) * \text{Factor de vulnerabilidad} \quad [16]$$

$$\text{Costos de Oportunidad} = \frac{\text{Tiempo de Permanencia}}{30} * \text{Área Inundada}(\text{m}^2) * \text{Costo unitario del Terreno} \left(\frac{\$}{\text{m}^2} \right) * \text{Factor de vulnerabilidad} \quad [17]$$

De este modo, dentro del área anegada se determinó el tipo de uso de suelo de cada predio y aplicando la ecuación respectiva se calcularon los costos por daños. Cabe resaltar que se tuvo en cuenta las velocidades y niveles promedio de agua en cada predio para establecer los factores de vulnerabilidad (velocidades mayores a 1 m/s y alturas mayores a 1 metro incrementan el factor).

El costo total por daños se determinó sumando los costos de daños de cada predio según su uso de suelo y posteriormente utilizando la Ecuación [18]:

$$\begin{aligned} \text{Costo Total Daños} &= \text{Costos Agricultura} + \text{Costos Ganadería} \\ &+ \text{Costo Conjuntos Residenciales y Manzanas Suburbanas} + \text{Costos varios} \\ &+ \text{Costos Galpones} + \text{Costos Vías} + \text{Costos de Oportunidad} \end{aligned} \quad [18]$$

El proceso anteriormente descrito se realizó a cada uno de los periodos de retorno (Tr) y de este modo se obtuvo la curva de daños (ver Figura 4 y Figura 5).

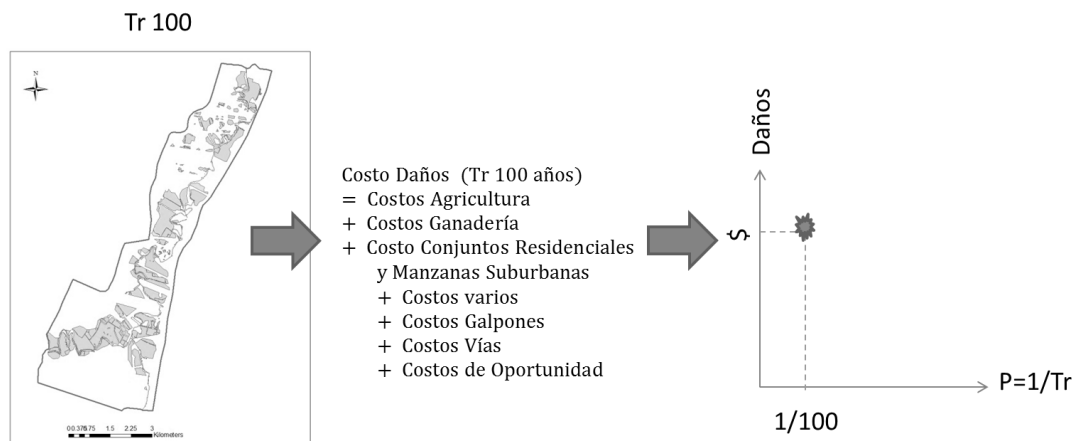


Figura 4. Ejemplo obtención Costo Daños para periodo de retorno 100 años.

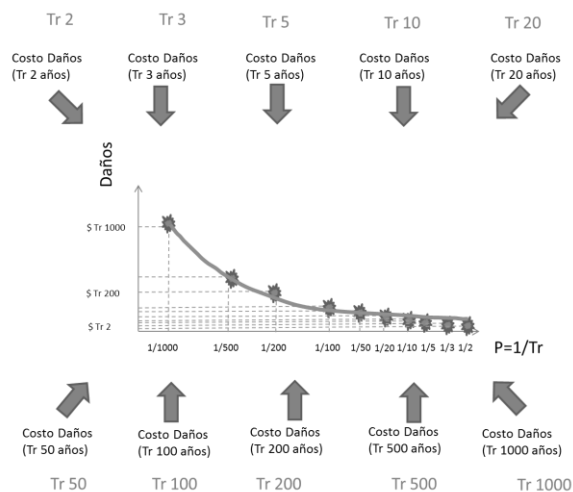


Figura 5. Diagrama para la obtención de la Curva de Daños.

Una vez se obtuvo la curva de daños, se generó la curva de daños esperados. Los costos esperados para un periodo de retorno X son el resultado de la suma de todos los costos asociados a inundaciones superiores a ese periodo X y cada uno multiplicado por la probabilidad de ocurrencia de cada evento. Lo anterior se realizó a partir de la integración de la curva de costo de daños. En estas relaciones se supone que el periodo de retorno de daño es igual al del evento (Oliveri & Santoro, 2000).

- **Cálculo de costos por construcción**

Los costos de construcción de jarillones se calcularon a partir de tres variables: mano de obra, maquinaria y material (Ecuación [19]).

[19]

$$\text{Costos de Construcción} = \text{Costos de Mano de Obra} + \text{Costos de Maquinaria} + \text{Costos de Material}$$

Se determinó un costo de construcción que implica la realización de jarillones para cada uno de los periodos de retorno (2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 y 1000), según la longitud, altura y el tiempo de construcción que se requiere. En otras palabras, para cada huella de inundación, se determinaron los jarillones que evitan el desbordamiento y a esos jarillones se les determinaron sus costos de construcción (ver Figura 6). Mayores periodos de retorno implicarán la necesidad de construir jarillones más altos lo cual incrementa los costos de construcción.

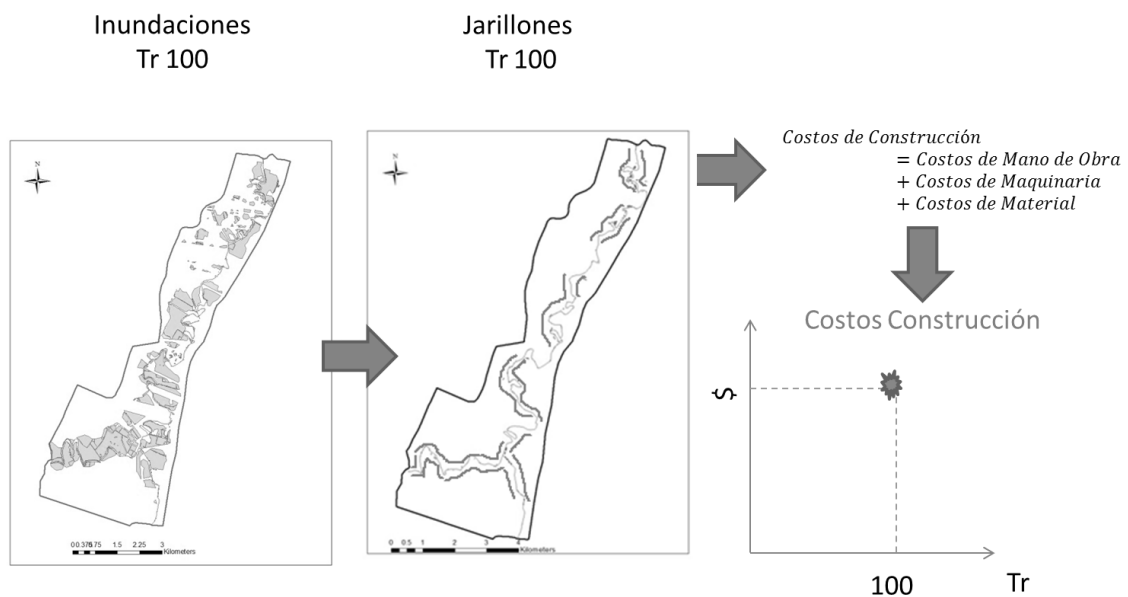


Figura 6. Ejemplo cálculo costos de construcción periodo de retorno 100 años.

Finalmente, sumando los costos de construcción y los costos esperados por daños se obtienen los costos totales, cuyo mínimo corresponde al periodo de retorno óptimo para el diseño.

RESULTADOS

Con los análisis de frecuencia hidrológicos se obtuvieron los valores de caudal, volumen mínimo, máximo y promedio de un hidrograma típico en el río para los diferentes periodos, que derivan en hidrogramas sintéticos (ver Figura 7) utilizados en los modelos hidráulicos.

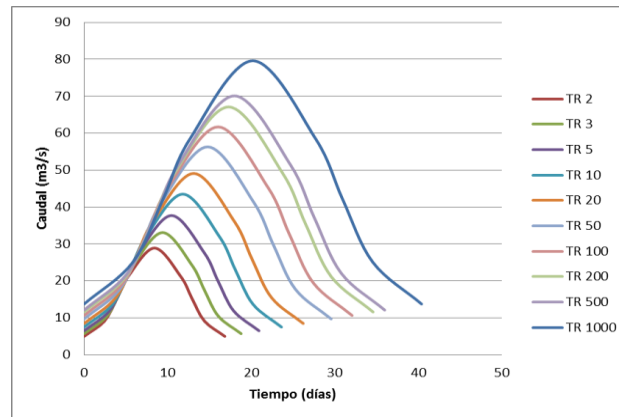


Figura 7. Hidrogramas sintéticos generados para diferentes periodos de retorno (Tr).

A partir de la modelación hidráulica se obtuvieron las huellas de inundación para cada uno de los periodos de retorno en una grilla de 20x20 metros en donde además se encuentra el nivel y velocidad de agua (ver Figura 10 y Figura 12). Se realizó la validación a partir del evento de marzo del 2011 y niveles plasmados en estructuras. En la Figura 8 se observa la comparación entre el evento simulado en HEC-RAS y el histórico (línea gris). Se observó que los resultados fueron similares para extensiones y niveles de la inundación, por lo que se procedió a ejecutar los diferentes escenarios.

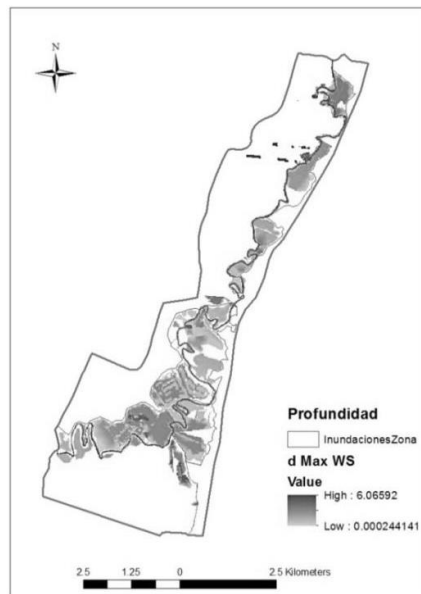


Figura 8. Comparación evento simulado e histórico.

La digitalización de cada uno de los usos de suelo finalizó con un mapa georeferenciado (Figura 9) en donde cada polígono contaba con información de costos unitarios e inventarios de principales entidades en la zona.

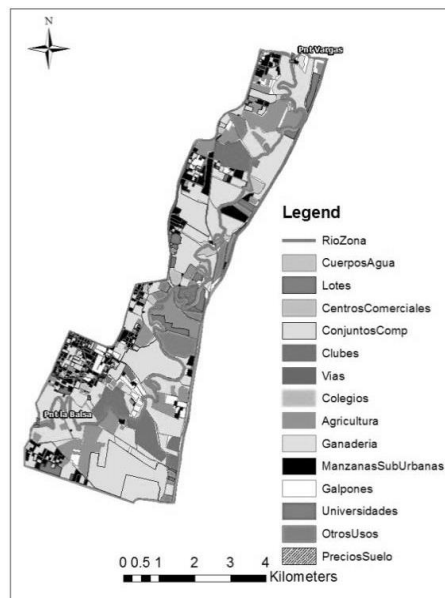


Figura 9. Usos de suelo en la zona de estudio.

- **Escenario actual**

Las huellas de inundación para cada uno de los periodos de retorno se muestran en la Figura 10. A medida que el periodo de retorno aumenta, se generan inundaciones más extensas o más profundas, lo que conlleva a mayores daños.

Tras aplicar la metodología anteriormente descrita se determinó que el periodo de retorno óptimo de diseño para este caso es de 150 años (Figura 11). Lo anterior significa que desde el punto de vista económico sería recomendable construir el jarillón en la zona con una elevación tal que prevenga inundaciones para caudales con periodos de retorno de hasta 150 años.

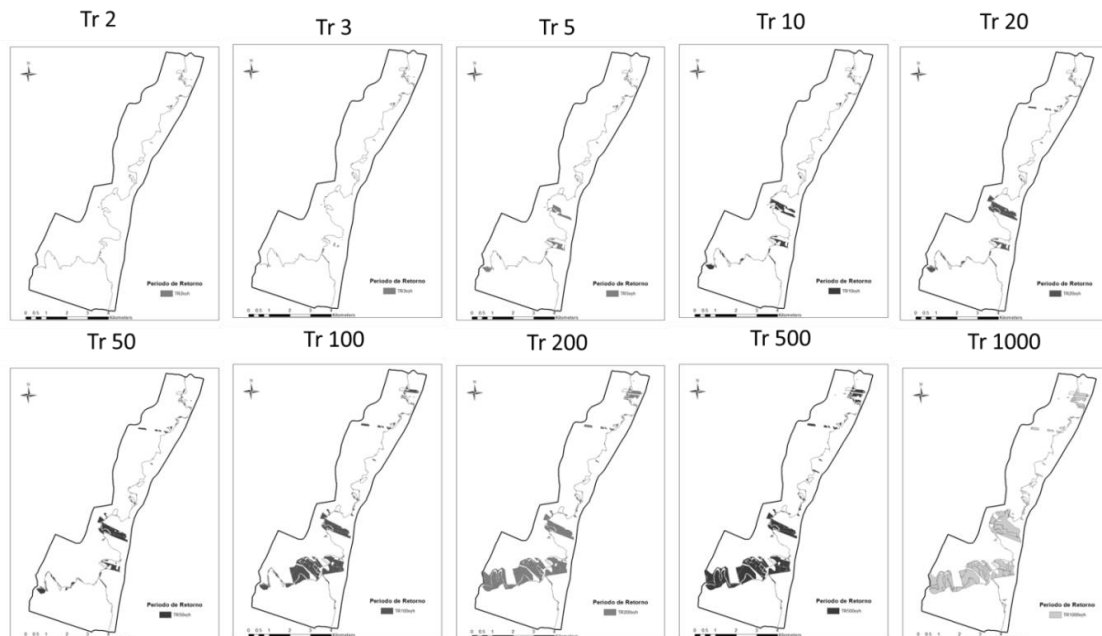


Figura 10. Huellas de inundación Escenario Actual.

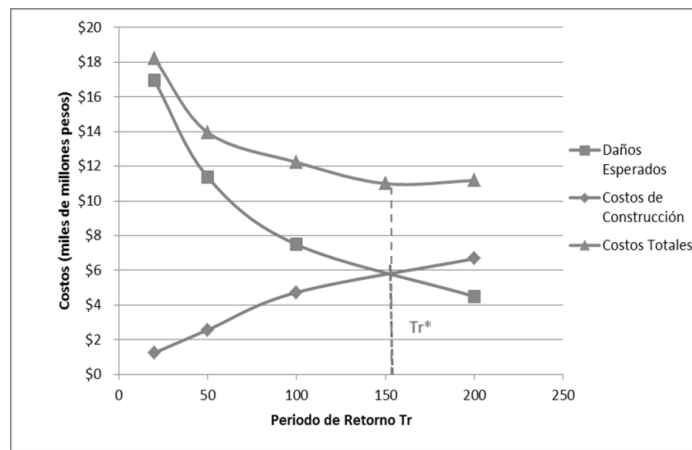


Figura 11. Costos vs Periodo de Retorno – Escenario Actual

- Escenario prospectivo**

De igual forma, para el Escenario prospectivo se hallaron las huellas de inundación (Figura 12), la curva de daños esperados y la curva de costos de construcción. En la Figura 13 se observa que el mínimo de la curva de costos totales corresponde a un periodo de retorno óptimo de 125 años.

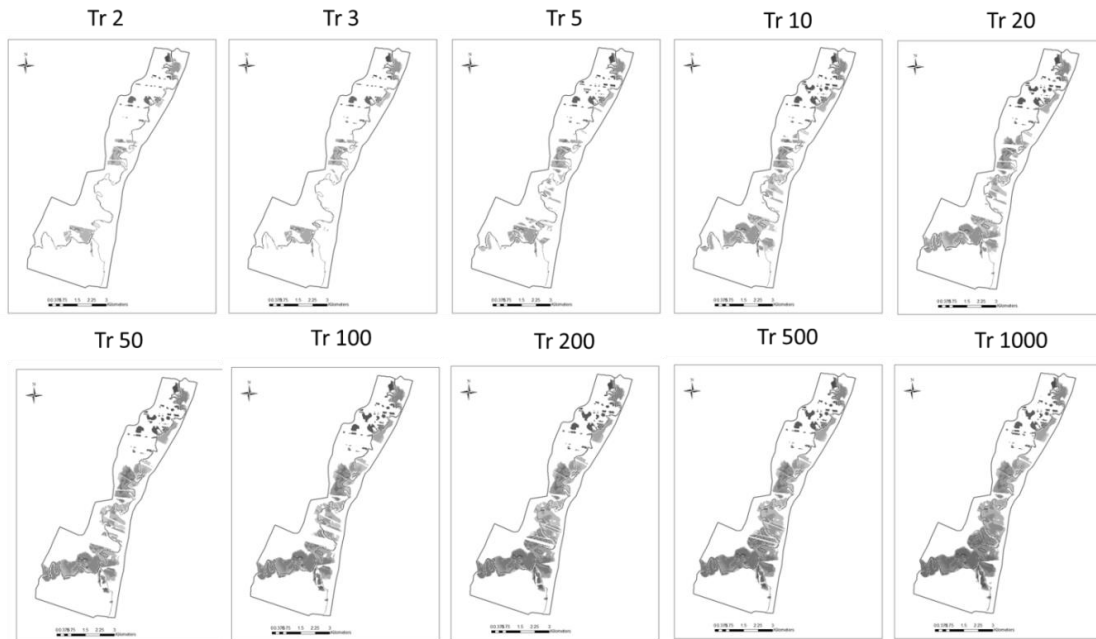


Figura 12. Huellas de inundación Escenario Prospectivo.

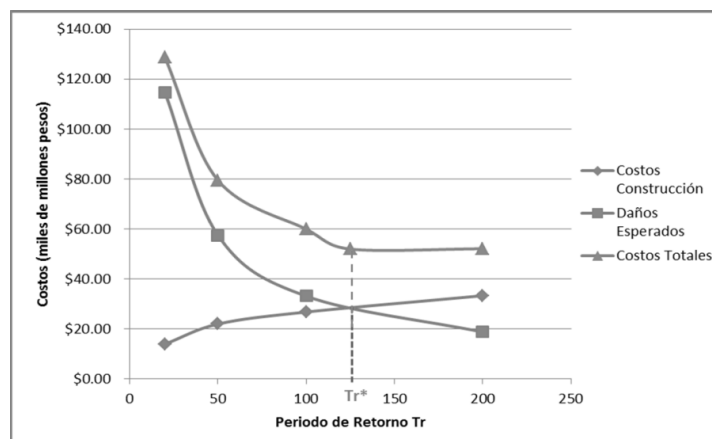


Figura 13. Costos vs Periodo de Retorno – Escenario Prospectivo

CONCLUSIONES

El manejo de las inundaciones se ha caracterizado por el levantamiento de diques en sitios puntuales, sin análisis económicos de la zona a intervenir. Esto conlleva a transferir el problema a vecinos o aguas abajo, es por eso que se justifica la utilización de análisis técnicos y económicos a cuencas hidrológicas.

La metodología presentada en este trabajo permite determinar un periodo de retorno óptimo desde el punto de vista económico para la mitigación de inundaciones. Los resultados mostraron periodos de retorno óptimos razonables y que se encuentran dentro de los recomendados por la literatura y manuales técnicos, pero con la ventaja de contar con un fundamento técnico y económico.

En el escenario actual el periodo de retorno óptimo fue de 150 años, mientras que en el escenario prospectivo fue de 125 años. La diferencia de estos dos es que en el prospectivo se le da una mayor capacidad hidráulica al río a partir de dragado y ampliación de la sección transversal, requiriendo menores alturas de jarillones para contener los diferentes caudales. Sin embargo a estos costos sería necesario adicionar los costos de la adecuación hidráulica.

Finalmente, se observó que es necesario tomar en cuenta factores económicos y sociales en la zona antes de diseñar jarillones, con el objetivo de reducir costos por daños y alcanzar un óptimo desde el punto de vista económico.

ACKNOWLEDGEMENTS

Asocolflores, CAR, Alcaldía de Chía, FEDEGAN, EUCO Ltda.

REFERENCIAS

- Arbeláez, J.** (2010). Evaluación de Herramientas Informáticas para el Análisis de Amenaza por Inundaciones.
- Baldassarre, G. D., & Uhlenbrook, S.** (2011). Is the current flood of data enough? A treatise on research needs for the improvement of flood modelling. *HYDROLOGICAL PROCESSES*.
- Baumann, C.** (2011). Utilizing Interfacing Tools for GIS, HEC-GeoHMS, HEC-GeoRas, and ArcHydro. *World environmental and water resources congress 2011*.
- Baumann, C. A., & Halaseh, A. A.** (2011). Utilizing Interfacing Tools for GIS, HEC-GeoHMS, HEC-GeoRAS and ArcHydro. *World Environmental and Water Resources Congress 2011*.
- CAR.** (2006). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Bogotá*. Bogotá.
- Colby, J. D., & Dobson, J. G.** (2010). Flood Modeling in the Coastal Plains and Mountains: Analysis of Terrain Resolution. *Natural Hazards Review, Vol.11, No. 1*.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.** (2008). *Proyecto de adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá*
- Díaz, J.** (2011). *Desarrollo de una metodología para la generación de mapas de inundaciones utilizando los programas HEC-RAS e ISIS*.
- Díaz-Granados, M.** (2011). Algunas reflexiones sobre el diseño hidrológico a propósito de la reciente ola invernal. *XIX Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología y el I Foro Nacional sobre la seguridad de Embalses*. Bogotá.
- Hansson, K., Danielson, M., & Ekenberg, L.** (2008). A framework for evaluation of flood management strategies. *Journal of Environmental Management*, 465–480.
- Jonkman, S., Bockarjova, M., & Bernardini, P.** (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economist* 66, 77-90.
- Kellenberg, D., & Mobarak, M.** (2011). The Economics of Natural Disasters. *The Annual Review of Resource Economic*.
- Martin, P. H., LeBoeuf, E. J., Dobbins, J. P., Daniel, E. B., & Abkowitz, M. D.** (2005). Interfacing gis with water resource models: a state-of-the-art review. *Journal of the American Water Resources Association*.

- Merwade, V., Cook, A., & Coonrod, J.** (2008). GIS Techniques for Creating River Terrain Models for Hydrodynamic Modelling and Flood Inundation Mapping. *Environmentak Modelling and Software*, 1300-1311.
- Oliveri, E & Santoro.** (2000). Estimation of urban structural flood damages - the case study of Palermo. *Urban water* 2, 223-234.
- Presidencia de la República.** (2011). Gobierno ha destinado \$18 mil millones para obras del Canal del Dique en Atlántico. Obtenido de http://wsp.presidencia.gov.co/Prensa/2011/Mayo/Paginas/20110531_02.aspx
- Quijano, J.P.** (2013). Análisis Técnico Y Económico Para La Determinación Del Periodo De Retorno Óptimo De Diseño Para Mitigación De Inundaciones Mediante Herramientas Computacionales. Universidad de los Andes.
- Sanders, B. F.** (2007). Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources* 30, 1831–1843.
- Scharffenberg, W., & Harris, J.** (2008). Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System, HEC-HMS: Interior Flood Modeling. *World Environmental and Water Resources Congress 2008*.
- Torres, J., Sepulveda, C., Stull, C., & Hollaway, C.** (2011). Economic Modelling of Flood Damages in Near Flat Topographic Cities: Key Considerations. *World Environmental and Water Resources Congress 2011*.
- U.S. Army Corps of Engineers.** (1996). *Risk-Based analysis for flood damage reduction studies*. Washington, DC.
- University of Alberta.** (2012). *River2D*. Recuperado el 20 de 04 de 2012, de <http://www.river2d.ualberta.ca/>
- Yang, C. R., & Tsai, C. T.** (2000). Development of a gis-based flood information system for floodplain modeling ani damage calculation'. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol 36 NO 3.