

Simulación hidrológica de los impactos del cambio climático en la cuenca del río Caimito, La Chorrera, Panamá Oeste

Hydrological simulation of the impacts of climate change in the Caimito river basin, La Chorrera, Panama Oeste



Moreno, Marta; Álvarez, Humberto; Chacón, Angelo; Biancheri, Italo

Marta Moreno

marta.moreno@utp.ac.pa

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Humberto Álvarez

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

Angelo Chacón

Universidad Tecnológica de Panamá,, Panamá

Italo Biancheri

Universidad Tecnológica de Panamá,, Panamá

Revista de I+D Tecnológico

Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá

ISSN: 1680-8894

ISSN-e: 2219-6714

Periodicidad: Semestral

vol. 17, núm. 2, 2021

orlando.aguilar@utp.ac.pa

Recepción: 20 Febrero 2021

Corregido: 01 Julio 2021

Aprobación: 01 Julio 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/339/3392429005/index.html>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: Las precipitaciones altas ocasionan el aumento en la carga hídrica en la cuenca de los ríos, originando desbordamientos que propician situaciones de amenaza. La zonificación de la amenaza y la evaluación de la vulnerabilidad por inundación son procedimientos fundamentales para la toma de decisiones desde el punto de vista de la planificación de un territorio y los estudios para la mitigación y gestión del riesgo. Utilizando los insumos hidrológico e hidráulico, se obtiene información de profundidad y velocidad del flujo según las características de la pendiente. En este estudio se utilizaron las técnicas, procedimientos y herramientas propios de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para conocer con exactitud las áreas de amenaza y vulnerabilidad por inundación, mediante el modelo de simulación hidráulica Hec-Ras, definiendo las cotas de inundación a través de perfiles transversales y modelado digital de terreno, con el propósito de realizar la zonificación de amenazas por inundación, que es una herramienta óptima para alcanzar un ordenamiento de la cuenca del Río Caimito, que permite la planificación estratégica de la cuenca y poder identificar las áreas de evacuación cuando se llegue a dar otro evento de inundación y así poder contribuir a la resiliencia de esa comunidad y que sirva como referencia a otros sectores.

Palabras clave: Resiliencia, vulnerabilidad, Modelado Hidrológico, Inundación, Riesgo de Inundación.

Abstract: High rainfall causes an increase in the water load in the river basin, causing overflows that create threatening situations. Threat zoning and flood vulnerability assessment are fundamental procedures for decision-making from the point of view of planning a territory and studies for risk mitigation and management. Using the hydrological and hydraulic inputs, information on depth and flow velocity is obtained according to the characteristics of the slope. In this study, the techniques, procedures and tools typical of a Geographic Information System (GIS) were used, to know exactly the areas of threat and vulnerability due to flooding, using the Hec-Ras hydraulic simulation model, defining the flood levels through cross-sectional profiles and digital terrain modeling, in order to carry out the zoning of flood threats, which is an optimal tool to achieve a management of the Rio Caimito basin, which allows the strategic planning of the basin and to identify the evacuation areas when another flood event occurs and thus be able to contribute to the resilience of that community and serve as a reference to other sectors.

Keywords: Resilience, vulnerability, Hydrological Modeling, Flood, Flood Risk.

1. INTRODUCCIÓN

Los impactos de las inundaciones alrededor mundo han generado pérdidas económicas y humanas, que han llevado a replantearse las prácticas de protección y gestión del riesgo, indagando en elementos de vulnerabilidad social y el manejo de cuencas. Las prácticas de la reducción del riesgo se han encaminado hacia la generación de medidas que eviten los impactos y en acciones de adaptación a las condiciones durante y después de una inundación. Muchas medidas se han centrado en la formación de capacidades sociales para que la población tenga fortalezas de encarar un impacto

y continuar posteriormente sus funciones; es decir, las acciones se encaminan a la formación de sociedades resilientes. Se ha comprobado que las poblaciones ubicadas en zonas inundables, como es el caso de las cuencas bajas de Tabasco, han sabido adaptarse a estas condiciones durante generaciones, al seguir habitando en dichos lugares. Sin embargo, desde tiempos prehispánicos cuando éstas ocurrían, los asentamientos humanos eran menos y la infraestructura podía rehabilitarse más fácilmente. Con el paso del tiempo, la población ha aumentado, generando más infraestructura, dañando los ecosistemas que protegen las cuencas, pero, sobre todo, olvidando prácticas de autoprotección y preservación [1][2].

Las inundaciones urbanas son un peligro natural crónico recurrente en términos del número de vidas pérdidas y el costo total de daños a la propiedad, infraestructura de obras públicas y recursos naturales. Las inundaciones representan aproximadamente un tercio de todos los desastres naturales en partes desarrolladas y en desarrollo del mundo. Las inundaciones también son responsables de más de la mitad de todas las muertes relacionadas con desastres y un tercio de la economía pérdidas de todas las catástrofes naturales. Por lo tanto, las inundaciones urbanas han sido consideradas como una amenaza emergente para las economías, las sociedades y la vida humana.

Se cree comúnmente que las inundaciones urbanas son inducidas por dos factores principales. Primero, rápido la urbanización ha inducido la alteración de la hidrología de cuencas hidrográficas a escalas de la ciudad [3], es decir, la tierra natural se convierte en superficies impermeables, lo que resulta en un proceso de infiltración debilitado [4] Segundo, el cambio climático ha causado patrones de precipitación para cambiar, es decir, la frecuencia y magnitud las tormentas han aumentado. Ambos factores han llevado a un aumento en los riesgos de generación de escorrentía e inundaciones urbanas y bajo estas circunstancias, las estrategias para la reducción de las inundaciones urbanas han atraído una atención creciente durante las últimas décadas los controles de inundación típicos dependen principalmente de la infraestructura gris convencional, incluidas las canaletas, alcantarillas pluviales, túneles, alcantarillas, cuencas de detención, tuberías y dispositivos mecánicos, que son utilizado colectivamente en un sistema para capturar y transmitir la escorrentía (USEPA, 2016). Sin embargo, esta estrategia es propensa al fracaso, porque la carga de drenaje ha aumentado [5] [6].

Este antecedente indica la necesidad de un cambio en la estrategia de gestión de inundaciones, dejando que el simple análisis de costo-beneficio de las medidas estructurales de control de inundaciones y sus resultados asuman un enfoque de gestión del riesgo de inundación, para internalizar el riesgo residual describen el riesgo residual como el riesgo de falla del sistema estructural o la ocurrencia de una inundación mayor que la utilizada para diseñar el sistema de defensa. Además de las posibles fallas estructurales y la ocurrencia de eventos de mayor magnitud que el evento del proyecto, aún pueden ocurrir cambios en los patrones de variabilidad hidrológica, y la infraestructura de control de

inundaciones no es más confiable para mitigar las incertidumbres de las inundaciones del proceso de cambio climático. El paso a seguir para crear y mantener ciudades que sean menos susceptibles a posibles daños por inundaciones es el reconocimiento y la internalización del riesgo residual en las estrategias de toma de decisiones que se adoptarán en la gestión de las aguas pluviales dentro de la gestión urbana. Para hacerlo posible, deben considerarse las diversas incertidumbres inherentes al proceso de inundación, como el cambio climático y las diferentes posibilidades de desarrollo urbano, incluido el crecimiento urbano incontrolado, como los barrios marginales [7] [8].

Comúnmente, la gestión de inundaciones hace frente al riesgo tratando de eliminarlo, y cuando la planificación urbana no considera las incertidumbres, se puede crear una falsa percepción del riesgo en la sociedad, lo que lleva a una exposición creciente de personas y propiedades. Por lo general, la eliminación del riesgo es imposible y poco práctico, por lo tanto, el objetivo de la gestión del riesgo no es su eliminación, sino la búsqueda de grados de riesgo residual adecuados y justificables. Para mantener un patrón aceptable de riesgo de inundación, las ciudades deben incorporar medidas de adaptación para permitir que la infraestructura urbana haga frente a los daños por inundación, considerando posibles cambios futuros en la probabilidad de eventos hidrológicos [9] [10].

2. OBJETIVOS

- Simular los flujos de agua en el cauce natural del río, tomando en cuenta los efectos de las variaciones en ancho, profundidad, cobertura vegetal, presencia de obstáculos, puentes, cajones hidráulicos, ramificaciones del cauce, zonas muertas, caídas, para simularla de una manera científica en comparación a los resultados anteriormente encontrados en campo.
 - Determinar la extensión del área inundada y la profundidad máxima.
 - Realizar un análisis de la inundación para determinar las áreas inundables y sujetas a deslizamientos que no puedan ser utilizadas para albergues temporales.
 - Realizar un mapa de zonificación por inundación, que contribuya a la evacuación oportuna de los moradores en momento de un desastre.
 - Analizar estos resultados dados por la simulación para planificar un plan de acción para aumentar la resiliencia comunitaria en este sector que sirva como referencia en otros puntos de interés.

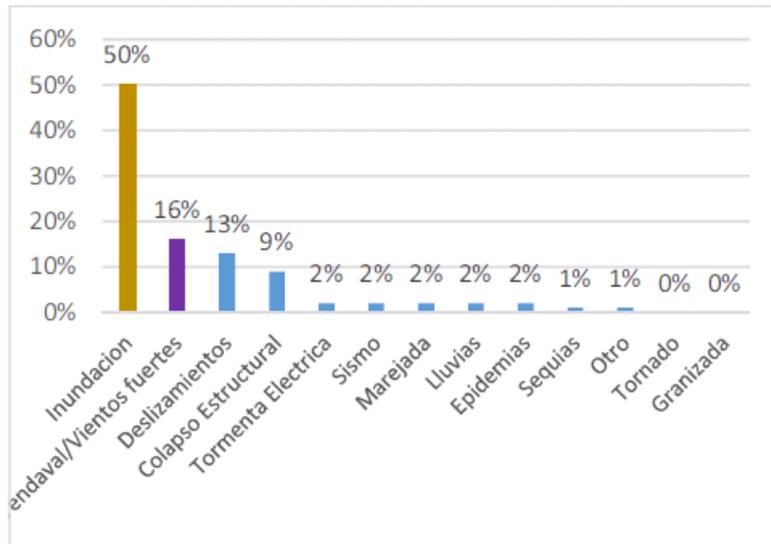
2.1 Justificación:

En la última década el Gobierno de Panamá realizó 8 declaraciones de emergencia de alcance nacional/regional. En diciembre de 2010, prolongadas precipitaciones provocaron serias inundaciones, impactaron seriamente al país y llevaron a declarar la emergencia nacional.

Estas inundaciones dejaron a gran parte de la ciudad de Panamá sin agua potable por semanas y obligaron al cierre del tránsito en el Canal de Panamá.

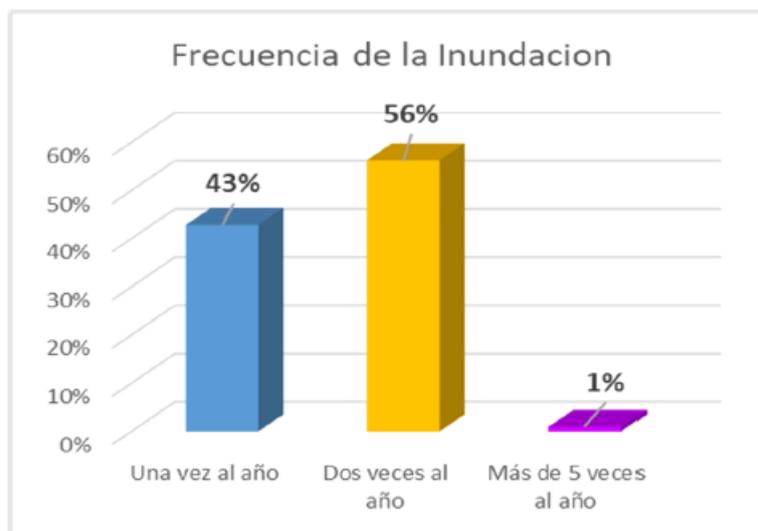
La asignación de fondos por sector para la respuesta y rehabilitación después de estas inundaciones superó la cifra de US\$ 149 millones.

Como podemos observar las inundaciones, vendavales y los deslizamientos son las amenazas naturales más frecuentes y en este sentido, inundaciones, vendavales y los deslizamientos agrupan el 79% de todos los eventos reportados en la base de datos del Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (DesInventar entre 1929 y 2015).



ESTADÍSTICAS DE AMENAZAS NATURALES EN PANAMÁ (1929-2015) FUENTE: BASE DE DATOS DEL SISTEMA DE INVENTARIO DE EFECTOS DE DESASTRES (DESINVENTAR).

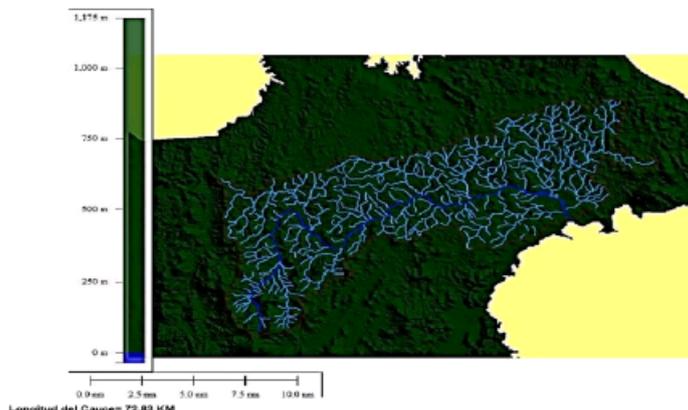
En este escenario Panamá al igual que cualquier otro lugar del mundo no puede considerarse exento de tener que enfrentar situaciones indeseables más graves que las descritas en el párrafo anterior. Y en estos casos donde se han ameritado planes de contingencia por parte del gobierno, así como de otras organizaciones han quedado descubiertos puntos críticos acerca de la organización y la comunicación entre los actores institucionales que participan en ellas, lo que afecta de manera directa el objetivo primordial de la logística humana, como es la recuperación de las personas afectadas [11].



En esta imagen se aprecia que los residentes del área afectada expresan su preocupación que las inundaciones se dan con una frecuencia de dos veces al año, tomando como referencia la inundación ocurrida, ya que pueden existir eventos similares.

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio



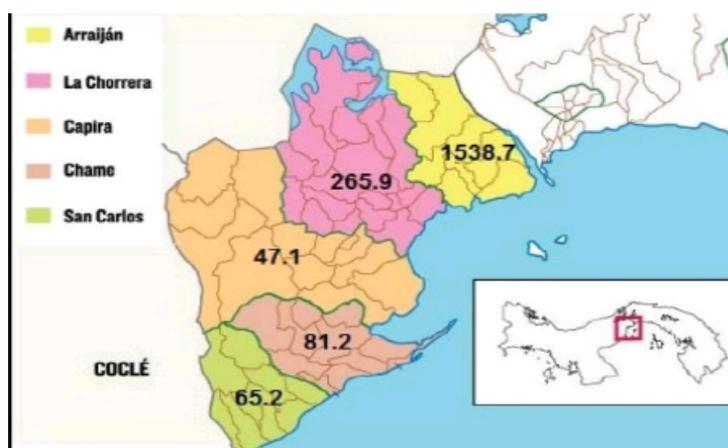
Cuenca del río Caimito, cuenca 140, cuenta con una extensión de 509 km² cuyo río principal es el río Caimito con una longitud de 72.83 Km.

Fuente: Ing. Manuel Arcia.

Panamá Oeste es una de las diez provincias de Panamá, creada el 1º de enero de 2014 a partir de territorios segregados de la provincia de Panamá ubicados al oeste del canal de Panamá. Está conformado por 5 distritos: Arraiján, Capira, Chame, La Chorrera y San Carlos; y un total de 58 corregimientos. Su capital es el Distrito de La Chorrera.

Limita al norte con la provincia de Colón, al sur con el océano Pacífico; al este con la provincia de Panamá y al oeste con la provincia de Coclé.

Cuenta con una extensión territorial de 2467.1 Km², para una población estimada en el 2014 de 518,013 habitantes y una densidad poblacional de 210 hab./Km² siendo una de las más altas a nivel nacional. El Distrito de Arraiján el de mayor densidad (1538.7 hab./Km²) y Capira el de menor densidad (47.1 hab./Km²) [11].



Densidad de población de Panamá Oeste, año 2014
Sistema Regional de Salud Panamá Oeste. Departamento de Registros y Estadística de Salud.

3.2. Localización de la cuenca

La cuenca del río Caimito, cuenca 140, cuenta con una extensión de 509 km² cuyo río principal es el río Caimito con una longitud de 72.83 Km y un perímetro de 185.75 Km. Sus afluentes más importantes son: el río Aguacate con sus afluentes río Cáceres, San Bernardino y Potrero, en el Distrito de Arraiján. En el distrito de la Chorrera se tienen afluentes importantes como son: Río Congo, Río Caimitillo y Río Martín Sánchez, en el Distrito de Capira, donde tiene el nacimiento el Río Caimito, el principal afluente es el Río Caimitillo, lo demás lo constituyen quebradas de menor importancia. La cuenca ocupa gran parte de los distritos de La Chorrera, Arraiján y una pequeña porción del Distrito de Capira. De los tres distritos, el de La Chorrera es el que tiene el mayor territorio, seguido del distrito de Arraiján y en menor proporción el distrito de Capira. El Distrito de La Chorrera, a pesar de ocupar el mayor territorio de la cuenca del río Caimito, la población se encuentra concentrada en la ciudad de La Chorrera. Aquí los corregimientos urbanos como Barrio Colón, Balboa y el Coco poseen la más alta densidad, alcanzando cifras que superan también los 1000 habitantes por kilómetro cuadrada [11].



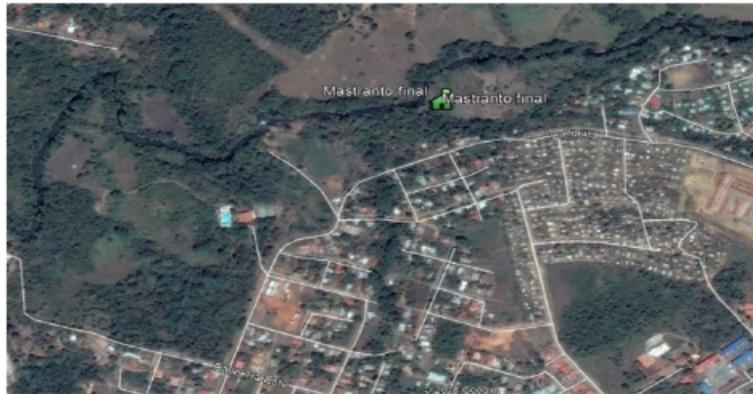
Corregimientos dentro de la cuenca del Río Caimito

Ing. Ricardo De León.

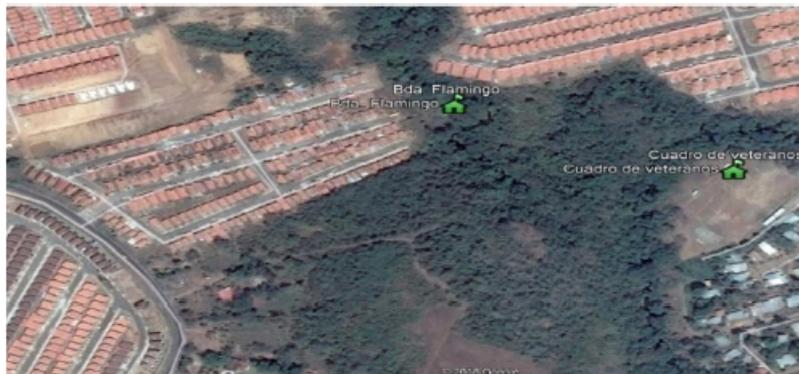
Según el artículo 23 de la ley 1 del 3 de febrero de 1994, establece: Las áreas que bordean los ojos de agua que nacen en los cerros en un radio de doscientos (200) metros, y de cien (100) metros si nacen en terrenos planos. Para este análisis utilizamos la cobertura de poblados al cual se le establece un buffer con un corredor de 100 metros para verificar viviendas que se encuentran en esta área [11].

3.3 Ubicación del área de estudio

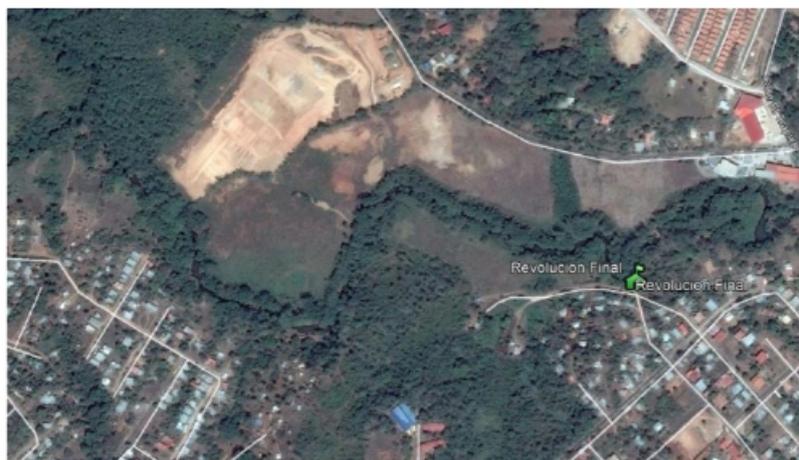
Mastranto final, ubicado en el corregimiento de Barrio Colón, Distrito de La Chorrera, es uno de los sitios de estudio que fueron más afectados por esta inundación, con 114 casas afectadas y un total aproximadamente de 470 personas afectadas [11].



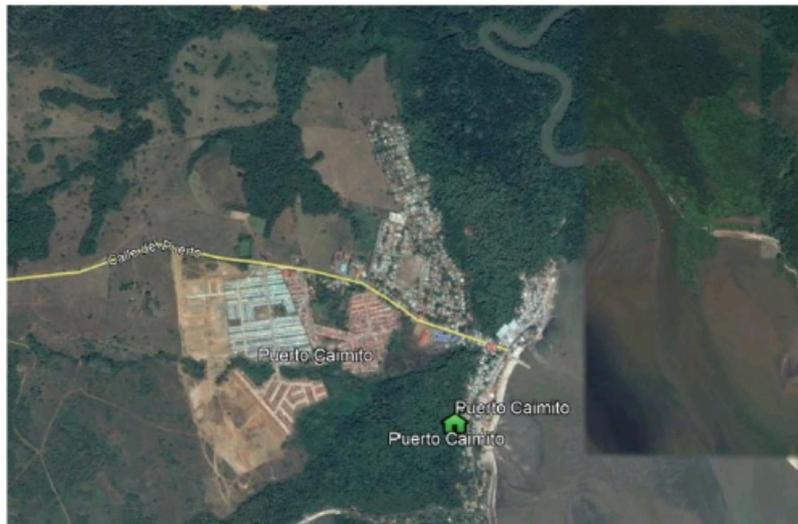
Ubicación satelital del área de Mastranto final
Lic. Italo Biancheri.



Ubicación Satelital de la barriada Flamingo y el Cuadro de Veteranos
ubicados en el corregimiento de Barrio Balboa, Distrito El Trapichito.
Lic. Italo Biancheri.



Ubicación satelital del área de Revolución Final ubicado en el
Distrito del El Trapichito, Corregimiento de Barrio Balboa.
Lic. Italo Biancheri.



Ubicación del Puerto Caimito, Distrito de Puerto Caimito

Lic. Italo Biancheri.

3.4 Justificación de Modelado Hidrológico

Las inundaciones son un fenómeno global que causa víctimas y pérdidas de propiedad en todos los continentes habitados. Probablemente sea los más desastres naturales devastadores, generalizados y frecuentes para los seres

humanos sociedades. Por otro lado, el impacto de las inundaciones no siempre es negativo, ya que es parte de un ciclo natural y puede tener grandes beneficios ambientales y sociales, particularmente en áreas que han sufrido una sequía prolongada. Las inundaciones periódicas de socavación son incluso cruciales para los ecosistemas en la mayoría de los humedales ribereños y costeros. A lo largo de la historia de la humanidad, ha habido un esfuerzo constante por comprender, evaluar y predecir las inundaciones y su impacto. Por lo tanto, los modelos de inundación por inundación se desarrollan para cumplir este propósito. Dado que las inundaciones representan una proporción significativa del número total de desastres naturales notificados que ocurren en el mundo, y durante los últimos 30 años esta proporción ha ido en aumento, el desarrollo y la aplicación de modelos de inundaciones y la investigación se ha convertido en un esfuerzo global [12].

Los esfuerzos sistemáticos dentro de la comunidad de investigación desde la década de 1970 han mejorado enormemente la capacidad de modelar inundaciones. Los modelos se utilizan ampliamente en mapeo de riesgo de inundaciones, evaluación de daños por inundaciones, pronóstico de inundaciones en tiempo real, ingeniería relacionada con inundaciones y planificación de recursos hídricos, además de haber servido como un prerrequisito importante para investigar la erosión de las riberas de los ríos y el transporte de sedimentos en las llanuras aluviales, transporte de contaminantes, ecología de llanuras aluviales, hidrología del sistema fluvial e hidrología de cuencas hidrográficas. Combinado con modelos climáticos, modelos hidrológicos y modelos de ríos, la aplicación de modelos de inundaciones se ha extendido a modelos que apuntan a formular estrategias de adaptación climática y mitigación de riesgos.

La simulación confiable y robusta de las características de las inundaciones también ha hecho posible planificar de manera efectiva los caudales ambientales para mantener ecosistemas acuáticos saludables [13].

En el último siglo, se acercaron a dos grupos que se acercaban un mayor enfoque y tema de la investigación actual: Métodos empíricos como mediciones, investigación, teledetección y modelos estadísticos que continuaron utilizando estos métodos basados en datos); y modelos hidrodinámicos. Estos últimos incluyen metodologías unidimensionales (1D) y metodologías tridimensionales (3D) simularon el movimiento del

agua comparando las pérdidas asociadas con la aplicación de leyes físicas y el movimiento flotante con diversos grados de complejidad. En los últimos años, el tercer

grupo de enfoques se ha vuelto cada vez más popular para modelos de resultados muy grandes (por ejemplo, para coordinar los riesgos de inundaciones a escala nacional) y regiones con datos insuficientes. Estos modelos pueden denominarse modelos conceptuales simplificados, se basan en una comprensión más modesta de los procesos físicos y su tiempo de ejecución es órdenes de magnitud más corto que el de los modelos hidrodinámicos. Son especialmente adecuados para grandes áreas de estudio y

/ o modelos estocásticos para la evaluación probabilística del riesgo de inundaciones donde a pesar de la investigación activa en esta área, el modelado de inundaciones rápido y preciso con alta resolución espacio-temporal sigue siendo un desafío importante en la investigación hidrológica e hidráulica. Esto se debe a la compleja y caótica tierra de las inundaciones y la incertidumbre que surge actualmente en el modelado de inundaciones [14] [15].

3.5 Modelado Hidrológico

Se realizó una simulación para el caudal de inundación del río caimito específicamente en el evento de inundación en noviembre de 2012.

Sig Aplicado A La Extracción De La Topografía Tanto Del Cauce principal del tramo utilizando el método estándar de secciones transversales cada 100 m. Programa Utilizado: ArcMap 10.6, Esri. Extensión Hecgeoras Para Arcgis 10.6 (Última Versión Disponible)

Modelado Hidráulico Del Tramo Analizado. Programa utilizado: Hec-Ras 5.0.7 (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System).

Sig aplicado al cálculo de la superficie de agua y la planicie de inundación. programa utilizado: Arcmap 10.5, ESRI. extensión Hec-Georas para Arcgis 10.6

SIG aplicado a la extracción de la topografía. insumos:

Imagen digital a colores. Fuente: World Imagery (WGS84) Service by ESRI. Imágenes Satelitales SPOT TerraColor de 15 m de precisión e imágenes satelitales SPOT para el mundo.

modelo digital del terreno (DTM o Digital Terrain Model) de 5m de precisión. Fuente: IGN "Tommy Guardia".



Imagen digital a colores del terreno estudiado

Ing. Ricardo De León.



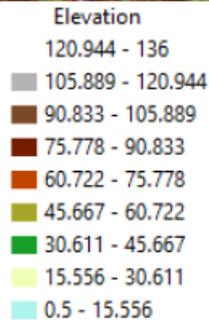
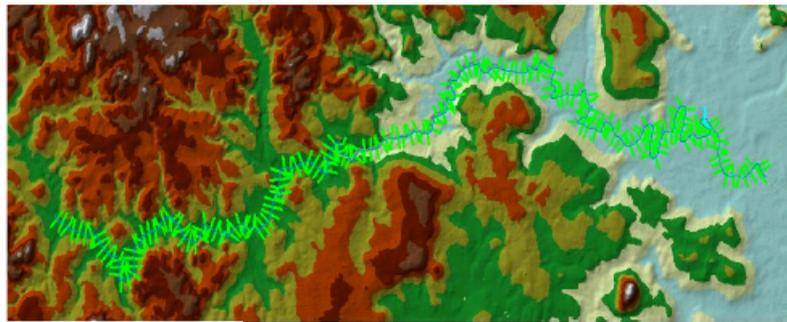
ESQUEMÁTICO DEL ÁREA DEL ESTUDIO REALIZADO
Ing. Ricardo De León.



Las secciones transversales creadas son líneas rectas del editor de ArcMap.
Ing. Ricardo De León.



Modelo digital del terreno (DTM)
Ing. Ricardo De León

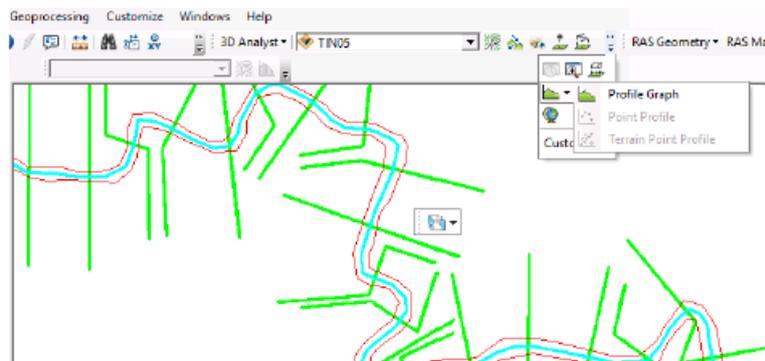


TIN (Triangulated Irregular Network) de elevaciones y coordenadas WGS84 de los puntos de cada sección transversal.

Ing. Ricardo De León.

Condiciones de Borde para Flujo Permanente.

- # Profundidad Normal.
- # Pendiente Ponderada del tramo.
- # Datos de Flujo



Editor de ArcMap de las secciones transversales

Ing. Ricardo De León.



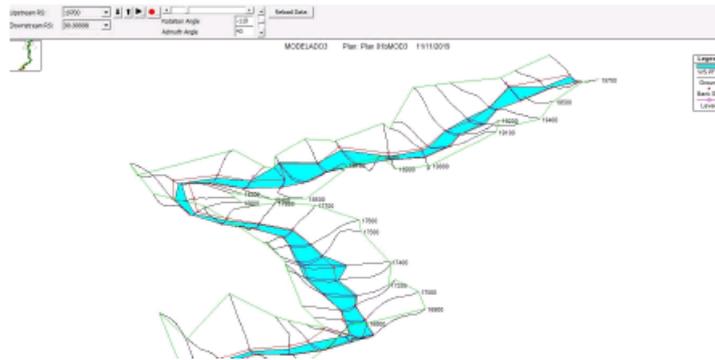
Perfil longitudinal para el cálculo de la pendiente única representativa del tramo
Ing. Ricardo De León

Diferencia de Elevación: 40 metros

Longitud del Tramo: 20 Km

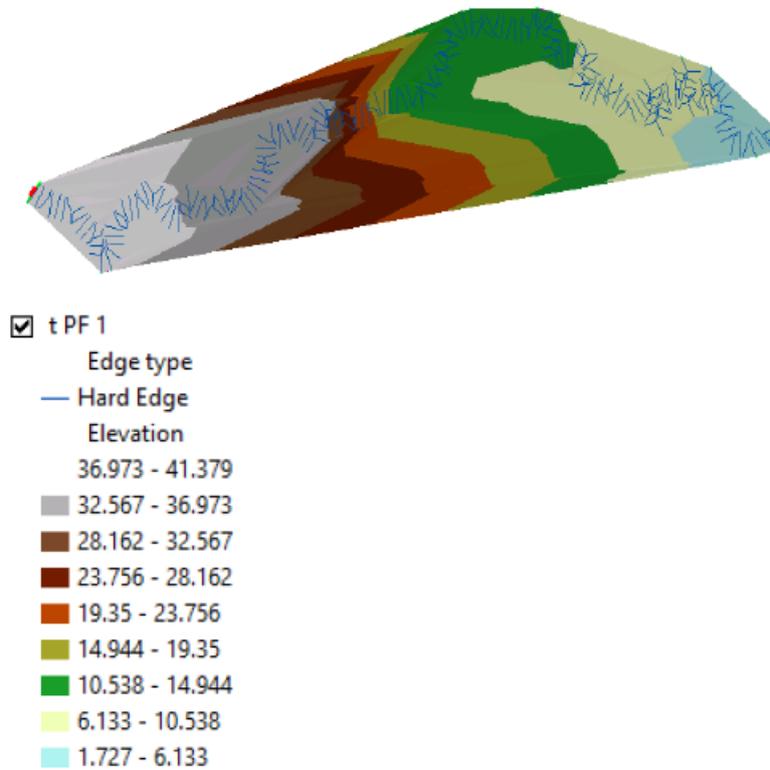
Pendiente: 0.002

4. RESULTADOS



Resultados del Hec-Ras

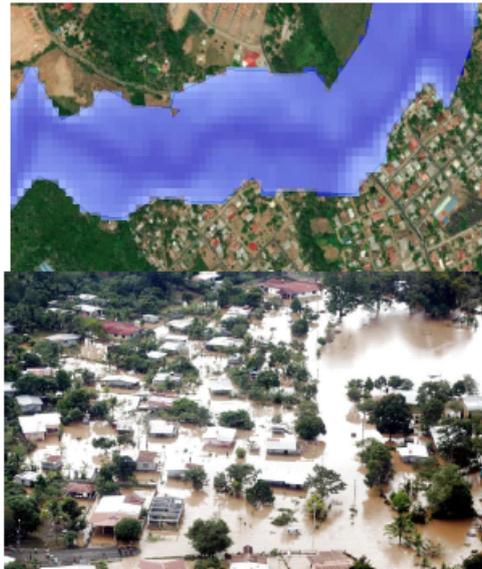
Ing. Ricardo De León



Superficie de agua generada, la cual muestra las elevaciones máximas del agua con respecto al NMM en los diferentes puntos del terreno inundado.



Planicie de Inundación Generada presentando las profundidades de agua por encima del terreno inundado



Comparación de los resultados de la Simulación con los registros fotográficos del evento real de noviembre de 2012.

Punto 1. El Trapichito: Barrriada el Campesino-Toma de Agua IDAAN Barrriada El Campesino Toma de Agua

Tanto la simulación como la fotografía muestran la salida del río de su cauce natural.



Punto 2. El Trapichito: Los Flamingos

Tanto la simulación como la fotografía muestran la salida del río de su cauce natural afectando el área de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Punto 3. Maribel-Villa Diana-El Machtetazo-Monte Limar- Autopista
Posibles causas de la diferencia:

- La inundación en Villa Diana, a un costado del Puente Maribel pudo haberse debido a obstrucciones (árboles caídos, objetos grandes arrojados al río o arrastrados por éste, etc.) más allá de la que representa dicho puente con sus estribos y columnas inferiores.
 - La inundación en el Machtetazo, el antiguo On the Run y en Parque Hato Montaña, la cual obstruyó la vía interamericana, se debió a la contribución de una quebrada que no fue contemplada en el tramo analizado, pero recorre el área afectada.

6. CONCLUSIONES

- Existieron coincidencias entre la extensión de la planicie de inundación en el área de interés del estudio: El Trapichito, a pesar de haberse realizado un modelado de flujo permanente en lugar de flujo inestable que se ajusta más a las condiciones del fenómeno estudiado.
 - Se pudo simular, con una mayor coincidencia a la esperada, un fenómeno natural tan complicado, a pesar de haberse utilizado un DTM de precisión 5m y una imagen digital reciente, teniendo presente que el evento sucedió en 2012 y el río Caimito ha sido dragado variando las condiciones geométricas del cauce existentes al momento del evento. Además de haberse despreciado los efectos de 4 puentes existentes: Trapichito, Puente Velásquez, Puente Maribel y Puente Autopista, ya que no representaron impedimento alguno para la crecida.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los poblados alrededor de la cuenca del Río Caimito es un área de frecuentes inundaciones que provocan daños recurrentes sobre la infraestructura y actividades económicas, como las ocurridas en los años 2006, 2010, 2012 e incluso en el 2018.
 - Una vez obtenido los resultados de este modelado hidráulico, podemos realizar La zonificación de amenazas por inundación que nos permitirá la planificación estratégica de la cuenca del Río Caimito, por medio de la identificación de las unidades o formas geomorfológicas propias de la llanura aluvial y su potencial inundable. para dar a conocer a la población los lugares seguros producto de esta investigación para que así se puedan salvar más vidas y aumente la resiliencia comunitaria frente a estas y otras inundaciones venideras.
 - La obtención de los períodos de retorno de las áreas inundables sirve como base para la planificación física del territorio. En función del nivel de amenaza es posible planificar la densidad del uso del suelo, un ejemplo claro es el caso del poblado que

este alrededor de la Cuenca del Río Caimito, el cual tiene una inapropiada ubicación debido al alto potencial de inundación que este presenta.

- La inundación ocurrida en el 2012 reafirma la utilidad que tiene esta herramienta para evitar que se presente este tipo de desastre de manera recurrente.

Se recomienda posteriormente este estudio de modelado hidrológico, generar un mapeado de las zonas de riesgo para dar a conocer a la población los lugares seguros producto de esta investigación para que así se puedan salvar más vidas y aumente la resiliencia comunitaria frente a estas y otras inundaciones venideras.

REFERENCIAS

- [1] A. D. Nobre et al., «Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model», *J. Hydrol.*, vol. 404, n.o 1, pp. 13-29, jun. 2011, doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.051.
- [2] F. Karim et al., «Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet–dry tropics of northern Australia», *J. Hydrol.*, vol. 522, pp. 80-94, mar. 2015, doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.12.005.
- [3] K. Beven, «Changing ideas in hydrology — The case of physically-based models», *J. Hydrol.*, vol. 105, n.o 1, pp. 157- 172, ene. 1989, doi: 10.1016/0022-1694(89)90101-7.
- [4] G. Le Cozannet et al., «Evaluating uncertainties of future marine flooding occurrence as sea-level rises», *Environ. Model. Softw.*, vol. 73, pp. 44-56, nov. 2015, doi: 10.1016/j.envsoft.2015.07.021.
- [5] G. Arduino, P. Reggiani, y E. Todini, «Recent advances in flood forecasting and flood risk assessment», *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol. 9, n.o 4, pp. 280-284, oct. 2005, doi: <https://doi.org/10.5194/hess-9-280-2005>.
- [6] J. J. Monaghan, «Smoothed Particle Hydrodynamics», *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, vol. 30, n.o 1, pp. 543-574, sep. 1992, doi: 10.1146/annurev.aa.30.090192.002551.
- [7] S. Marriott, «Textural analysis and modelling of a flood deposit: River severn, U.K.», *Earth Surf. Process. Landf.*, vol. 17, n.o 7, pp. 687-697, 1992, doi: <https://doi.org/10.1002/esp.3290170705>.
- [8] S. Blazkova y K. Beven, «Uncertainty in flood estimation», *Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 5, n.o 4, pp. 325-332, ago. 2009, doi: 10.1080/15732470701189514.
- [9] K. Beven, «Distributed Models and Uncertainty in Flood Risk Management», en *Flood Risk Science and Management*, John Wiley & Sons, Ltd, pp. 289-312.
- [10] B. Merz, H. Kreibich, R. Schwarze, y A. Thielen, «Review article “Assessment of economic flood damage”», *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 10, n.o 8, pp. 1697-1724, ago. 2010, doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>.
- [11] M. Moreno, H. Álvarez, y A. Chacón, «Estudio de percepción social en las vivencias postdesastre, para determinar el nivel de resiliencia y afectación comunitaria en el distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste», *ID Tecnológico*, vol. 16, n.o 1, Art. n.o 1, ene. 2020, doi: 10.33412/idt.v16.1.2432.
- [12] M. Mure-Ravaud, G. Binet, M. Bracq, J.-J. Perarnaud, A. Fradin, y X. Litrico, «A web based tool for operational real-time flood forecasting using data assimilation to update hydraulic states», *Environ. Model. Softw.*, vol. 84, pp. 35-49, oct. 2016, doi: 10.1016/j.envsoft.2016.06.002.
- [13] M. B. Abbott, J. C. Bathurst, J. A. Cunge, P. E. O’Connell, y J. Rasmussen, «An introduction to the European Hydrological System — Systeme Hydrologique Europeen, “SHE”, 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system», *J. Hydrol.*, vol. 87, n.o 1, pp. 45-59, oct. 1986, doi: 10.1016/0022-1694(86)90114-9.
- [14] P. A. Sleigh, P. H. Gaskell, M. Berzins, y N. G. Wright, «An unstructured finite-volume algorithm for predicting flow in rivers and estuaries», *Comput. Fluids*, vol. 27, n.o 4, pp. 479-508, may 1998, doi: 10.1016/S0045-7930(97)00071-6.

- [15] F. Pappenberger, K. Beven, M. Horritt, y S. Blazkova, «Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations», *J. Hydrol.*, vol. 302, n.o 1, pp. 46-69, feb. 2005, doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.06.036.