

MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y MORFOLÓGICA DEL RÍO LA ESTRELLA PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE MANCHAS DE INUNDACIÓN Y PELIGROSIDAD, LIMÓN, COSTA RICA

Fernando Watson^{1,2}, Isabel Guzmán^{1,3}

¹Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agrícola, Tel: (506)-2550-2271, 159-7050 Cartago, Costa Rica.
E-mail: fwatson@tec.ac.cr², iguzman@tec.ac.cr³

Resumen instrucciones generales

La Vertiente Atlántica de Costa Rica es una zona altamente vulnerable a inundaciones donde, a causa de su topografía y cambios en el uso de la tierra, se ha debilitado la capacidad de retención de agua en las cuencas y en consecuencia se ha aumentado la capacidad destructiva de las descargas extremas en los ríos. Un fenómeno que ha marcado el antes y el después en la evolución geológica y morfológica de las cuencas en esta zona es el terremoto de Limón en el año 1991, el cual llegó a modificar la dinámica tradicional y estabilidad de sus cauces. Dentro de las principales cuencas afectadas se encuentra la del Río La Estrella, principalmente en la parte baja, donde se localiza el Valle de la Estrella. En esta zona, se ha observado un aumento en la frecuencia y magnitud de los desbordamientos, una constante acumulación de sedimentos provenientes de las partes más altas y una inestabilidad en la dinámica del cauce. Esto ha aumentado la vulnerabilidad, ante los impactos por inundación y arrastre de sedimentos, tanto de sus habitantes, actividades productivas y ecosistemas que interactúan en esta área. En este proyecto se hace una evaluación de la hidrodinámica y transporte de sedimentos en la parte baja del río La Estrella (desde el Valle de la Estrella hasta la desembocadura) por medio del modelo matemático bidimensional IBER, logrando un mejor entendimiento del comportamiento del río, identificando condiciones y puntos críticos de flujo y transporte de sedimentos, y simulando posibles situaciones ante escenarios basados en ocurrencia de eventos extremos útiles para una adecuada gestión de la cuenca.

Introducción

El análisis de la dinámica de las inundaciones y su frecuencia han identificado que antes del sismo las inundaciones tenían una magnitud importante (700-900 m³/s) entre 5-6 a 9-10 años de períodos de retorno, contrario a la situación actual donde los eventos extraordinarios se presentan cada año o cada dos años (desde 1200 hasta 3496 m³/s), inclusive se han presentado dos a tres eventos extraordinarios durante un mismo año. Esto no sólo ha provocado pérdidas económicas para los pobladores que viven al margen de los ríos, sino también ha impactado directamente las actividades productivas de la región (Bruce y Casasola 2005).

Aguas arriba del puente del poblado de Atalanta, el río no logra remover, una vez pasada la avenida (ola de inundación), los materiales que llegan de las partes altas durante las inundaciones. Esta situación va provocando una significativa disminución de la sección hidráulica, aumentando la vulnerabilidad de los asentamientos y actividades productivas que se encuentran a lo largo de los márgenes del río.

Debido a esto es urgente entender la dinámica actual del río La Estrella con el fin de generar una herramienta confiable de prevención y diseño, capaz de contribuir en la toma de decisiones en la prevención de desastres que puedan potencializar el costo humano y productivo y además mejorar el cálculo de parámetros hidráulicos para el diseño de obras de protección y de infraestructura (diques, puentes, protección de márgenes, etc.).

El presente trabajo evalúa la hidrodinámica y transporte de sedimentos en la parte baja del río La Estrella (desde el Valle de la Estrella hasta la desembocadura, 35 km). Además, se han establecidos convenios con instituciones públicas como Corporación Bananera Nacional (CORBANA) y Comisión Nacional de Atención de Riesgo y Prevención de Desastres (CNE), en coordinación con otras instituciones como Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA), Dirección de Agua del MINAE y empresa privada, quienes tiene la responsabilidad de aplicar los resultados del estudio para adecuada gestión de la cuenca y mejorar en la toma de decisiones, beneficiando a productores, centros de población de la zona, infraestructura vial y ecosistemas relacionados.

Objetivo general ecuaciones

Entender el comportamiento presente del Río La Estrella por medio del modelado hidrodinámico y de transporte de sedimentos.

Objetivos específicos

- Evaluar el régimen de flujo del río La Estrella.
- Evaluar el transporte de sedimentos en suspensión y de arrastre.
- Validar el modelo en 1D y 2D para las condiciones de flujo de Costa Rica.
- Evaluar el aumento del riesgo de inundación.

Revisión bibliográfica

La cuenca del río La Estrella tiene una extensión cercana a los 704 km², distribuida en 12 sub cuencas hidrográficas y 3 áreas de drenaje disperso. Se localiza entre las coordenadas geográficas 9°35' – 9°50' de latitud norte y 82°50' – 83°20' de longitud Oeste. El Valle La Estrella se ubica en la parte inferior de la cuenca con un área de aproximadamente 55 km², superficie que representa un 7.8 % del total de la cuenca (Figura 1) (Segura y Casasola 2012).

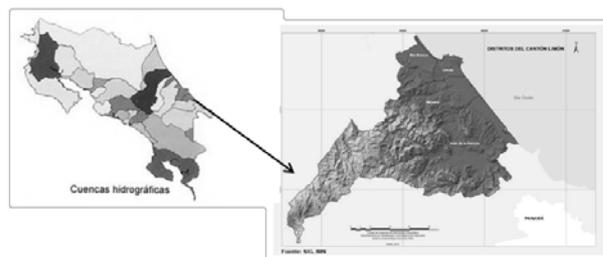


Figura 1. - Ubicación geográfica de la cuenca del Río La Estrella, Cantón de Limón (Fuente IGN 2011).

La gestión de inundaciones se considera un proceso complejo donde interactúan aspectos hidrológicos, hidráulicos,

geotécnicos, ambientales, económicos y sociales. Utiliza además, un sistema para la toma de decisiones basado, principalmente, en herramientas de modelado debido a la complejidad que envuelve el manejo de las inundaciones. Se manejan modelos de acceso remoto, para sistemas de información geográfica, para simulaciones (hidrológicas, hidráulicas, meteorológicas, etc), para el análisis de riesgo y de políticas, ente otros (Ahmad y Simonovic 2006).

Metodología

El modelo de elevación digital (MED) se creó a partir de secciones transversales del cauce principal y sus afluentes, batimetría cada medio metro, curvas de nivel del cauce principal, afluentes y desembocadura, además del uso de MED nacional para completar las áreas colindantes con los cauces y se utilizaron imágenes aéreas para la clasificación de uso de suelo.

El modelo hidrológico realizo con el programa HEC-HMS, los datos de lluvia se obtuvieron del proyecto Misión de Medición de Precipitaciones Tropicales conocida por sus siglas en inglés como TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), el hietograma de calibración corresponden al evento de lluvia que provoco la mayor crecida registrada en el limnigrafo ubicado en la localidad de Pandora y que corresponde al periodo del 30/11/2002 al 02/12/2002 (Figura 2)

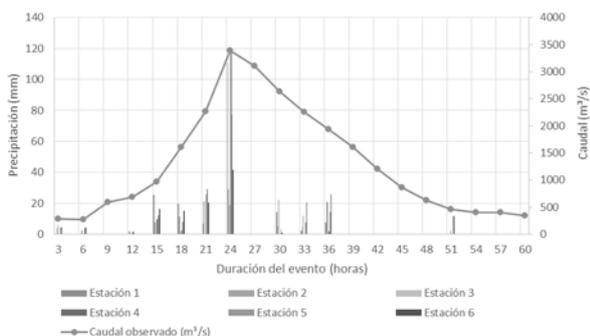


Figura 2.- Histograma y caudal observado del evento de mayor magnitud registrado a la altura del puente en la localidad de Pandora.

Para optimizar los recursos, en la modelación bidimensional, la geometría se clasificó por zonas de talle, lo que significa la asignación un tamaño de malla menor o mayor en función de la complejidad de la topografía, dimensiones de los cauces, y vulnerabilidad.

Las condiciones de contorno comprenden 8 entradas de caudal (contempla caudal sólido y caudal liquido), para hidrógramas de crecida de 1, 25, 100 y 500 años de periodo de retorno, realizando una corrida por periodo de retorno.

La salida de flujo del modelo, es el mar Caribe, por lo que se simulo la fluctuación de los niveles de marea, con escenarios de marea máxima y mínima observada. Los mapas de peligrosidad se realizaron en función de la profundidad y velocidad de flujo, según se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.- Criterios de peligrosidad por inundación (IMTA, 2015).

Zona de peligrosidad	h (m)	vh (m ² /s)	V ² h (m ³ /s ²)
Alta	≥ 1.5	≥ 1.5	≥ 1.23
Media	0.5 ≥ 1 < 1.5	0.5 ≥ vh < 1.5	0.5 ≥ v ² h < 1.23
Baja	0.3 ≥ 1 < 0.5	0.3 ≥ v < 0.5	0.3 ≥ v ² h < 0.5
Nulo	≥ 0.3	≥ 0.3	≥ 0.3

Resultados

Se generaron las simulaciones hidráulicas para eventos de 1, 25, 100 y 500 años de periodo de retorno, generando como produ-

ctos primarios, manchas de inundación, de profundidad y velocidad del flujo, además de mapas de diámetro crítico, erosión y sedimentación en el trayecto de estudio.

Para los mismos periodos de retorno se generaron mapas de peligrosidad, tal como se muestra en la Figura 3.

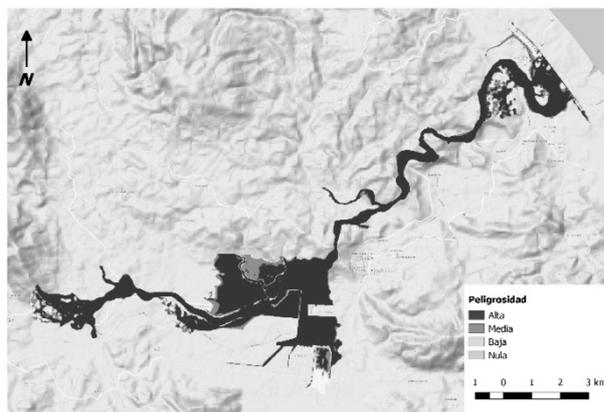


Figura 3.- Mapa de peligrosidad para una crecida producida para un evento de precipitación de 500 años de periodo de retorno.

Las áreas de alta peligrosidad en su mayoría responden a plantaciones de banano y plátano, con pequeños poblados y centros de vivienda de los trabajadores de las fincas agrícolas. Se calcula un área de 352 ha con uso de suelo forestal y tacotal que se consideran como zonas de amortiguamiento, ya que genera un efecto regulador, disminuyen la caudal pico de la crecida.

Conclusiones

Los resultados obtenidos constituyen una muestra de la amplia gama de escenarios que se pueden lograr con el modelo obtenido; entre otros, se pueden generar corridas de la modelación para diferentes caudales según periodos de retorno, se pueden visualizar velocidades de flujo, profundidades, puntos de desbordamiento, puntos de erosión, puntos de deposición de material sedimentado, combinación de diferentes variables, modelación de obras hidráulicas así como caudales provenientes de proyecciones de cambio climático.

El modelo y los mapas generados serán entregados bajo convenio a la Comisión Nacional de Prevención del Riesgo para su utilización en la prevención y atención de desastres como parte del programa de actualización del mapa de inundaciones de Costa Rica gestionado por esa entidad.

Referencias bibliográficas

Ahmad, S; Simonovic, S. (2006). An intelligent decision support system for management of floods. *Water Resources Management* 20: 391-410.

Bruce, P; Casasola, R. (2005). Diagnóstico de Inundaciones Valle La Estrella. En *Diagnostico Inundaciones Valle La Estrella*. Costa Rica. p 60.

IMTA (2015) Estudio de riesgos de inundaciones en zonas urbanas de la república mexicana del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Sobre el Agua (FSIDSA) Conagua-Conacyt. Clave del proyecto: Conagua-2011-167009. *Jiutepec, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*.

Mora, C.C; Chavarría, B.J. (2008). Factores que afectan la cuenca del Río La Estrella y recomendaciones para la gestión ambiental en su zona costera (Caribe de Costa Rica). *International Journal of Tropical Biology*, 56(4): 191-203.

Segura, L; Casasola, R. (2012). Modelación hidráulica aplicando Hec-Georas como una herramienta en la gestión del riesgo de inundaciones: caso río La Estrella, Limpon, Costa Rica. *XI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola*, Universidad Nacional Agraria La Molina Perú, del 7-9 de noviembre.