

MODELACIÓN DE LA DINÁMICA DE UN MEANDRO EN COLOMBIA: UN CASO DE ESTUDIO EN EL RÍO MAGDALENA

J. Vargas, L. I. Guarín y P. Chang

Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

E-mail: juvargasbur@unal.edu.co, liguarinm@unal.edu.co, pchang@unal.edu.co

Resumen

El Río Magdalena, ubicado en Colombia tiene una longitud de 1550 km atravesando el país de sur a norte con un ancho promedio de 275 metros y una descarga anual promedio de 7200 m³/s. La ciudad de La Dorada se localiza a 5°27" latitud norte y 74°40" longitud este sobre la margen izquierda del Río Magdalena donde se presenta la evolución de un meandro. Esta ciudad se encuentra a 178 metros de altura sobre el nivel del mar, con una temperatura promedio de 34°C y ocupa una superficie de 574km² donde habitan aproximadamente 100 000 personas.

La Dorada ha sido afectada durante años por graves inundaciones y por un proceso de socavación debido a la evolución constante del meandro, poniendo en peligro a un gran número de habitantes.

Este estudio busca simular correctamente las características del flujo en el río en esta región con el objetivo de evaluar diferentes escenarios y medidas de mitigación relacionadas al control de la erosión.

Se realizaron 2 campañas durante las temporadas secas y lluviosas incluyendo levantamientos topográficos y batimétricos con el uso de un DGPS Topcon GR5 y un ADCP S5 Sontek River Surveyor. Adicionalmente, con el fin de caracterizar el proceso de transporte de sedimentos, se recolectaron muestras suspendidas del río y muestras del lecho. También se realizaron perforaciones mecánicas del suelo sobre las orillas del río para evaluar la profundidad máxima de socavación.

Usando un modelo de elevación digital y los datos recolectados en campo, se preparó un modelo hidráulico en tres dimensiones por medio del software comercial FLOW – 3D basado en el método de diferencias finitas en una malla estructurada. La calibración del modelo fue llevada a cabo comparando los datos históricos disponibles de la estación hidrológica más cercana.

El modelo fue capaz de predecir efectivamente los procesos del flujo en la región tales como los niveles del río, los componentes de la velocidad en tres direcciones y los procesos de erosión y deposición correspondientes al transporte de sedimentos en el río. Lo anterior permitió confirmar la hipótesis de la existencia de un flujo helicoidal que ocurre a través del meandro. Sin embargo, el cambio constante de la posición de las orillas del río como consecuencia del proceso de erosión disminuye la capacidad predictiva del modelo como herramienta de planeación.

Palabras clave: Meandro, transporte de sedimentos, hidráulica fluvial.

Introducción

El proyecto "Estudios y diseños para la mitigación integral de riesgos de erosión de orillas, y recuperación urbana de la ribera occidental del río Magdalena en el municipio de La Dorada – Caldas" busca caracterizar el río Magdalena desde la región de las motobombas hasta la región del Puerto con el fin de proponer soluciones de remediación al problema de

socavación que se observa a lo largo de la orilla occidental del río específicamente en el parque del barrio El Conejo (Fig. 1).

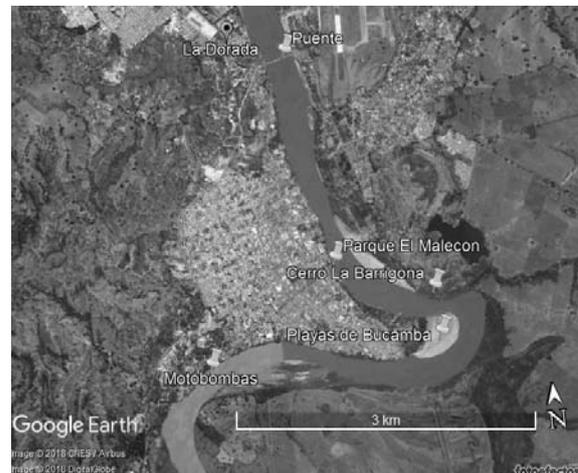


Figura 1.- Río Magdalena en el sector de La Dorada.

El presente estudio presenta los resultados preliminares de la modelación numérica realizada mediante el software FLOW – 3D de este tramo del río incluyendo el flujo helicoidal presente en el meandro.

Metodología

Con el objetivo de caracterizar el Río Magdalena en el sector de La Dorada, se realizaron dos campañas los días 25, 26 y 27 de febrero y 6, 7 y 8 de mayo de 2018. Estas salidas permitieron la recolección de datos topográficos mediante el uso de un DGPS Topcon GR5 a lo largo de aproximadamente 5.5 km, así como la recolección de datos batimétricos mediante un ADCP S5 River Surveyor en esta misma longitud. También incluyeron la recolección de muestras líquidas para determinar la calidad del agua y muestras del lecho del río en diferentes puntos del cauce y de las orillas con el fin de determinar la concentración de sólidos suspendidos, caracterizar la rugosidad del canal y establecer la granulometría in situ del suelo.

Además, se realizó un análisis hidrológico para establecer los caudales y niveles históricos del río basados en la estación hidrológica más cercana ubicada en el municipio de Puerto Salgar Estación #23037010 con datos desde el año 1956 hasta 2014. Este análisis determinó los caudales multi anuales, anuales y mensuales del río y los caudales correspondientes a diferentes periodos de retorno.

Finalmente, se preparó el modelo hidrodinámico del Río Magdalena en el tramo correspondiente desde las motobombas hasta el puente Ferro Atlántico aguas abajo con el objetivo de comprender el proceso de erosión que ocurre en este sector.

Resultados

La figura 3 presenta el mapa de rugosidad del cauce generado por interpolación en ArcGIS.

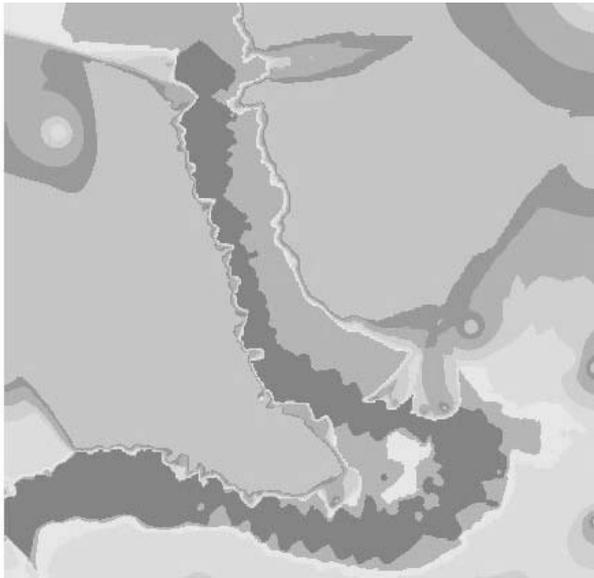


Figura 3.- Mapa de Rugosidad en el sector de La Dorada.

Las figuras 4 y 5 presentan la simulación realizada mostrando las velocidades en el canal a $t = 2170$ seg. para un caudal de $Q=435 \text{ m}^3/\text{s}$.

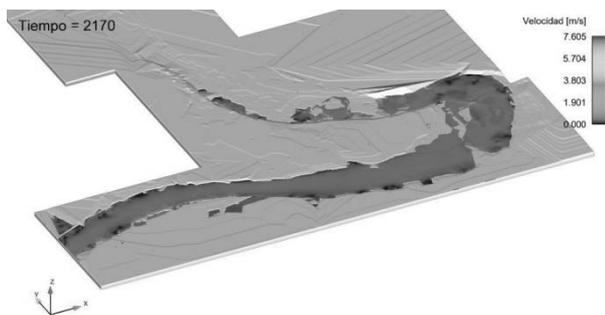


Figura 4.- Mapa de Velocidad en el sector de La Dorada $Q=435 \text{ m}^3/\text{s}$.

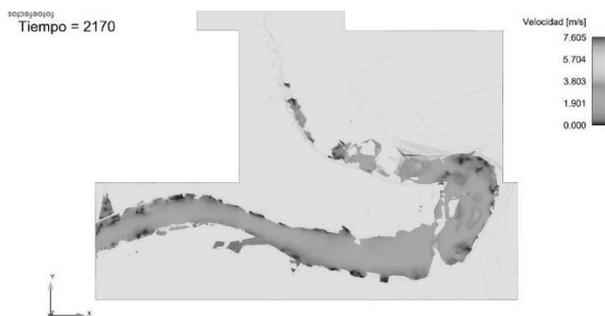


Figura 5.- Velocidades a lo largo del cauce $Q=435 \text{ m}^3/\text{s}$

La modelación 3D tenía principalmente como alcance la comprobación de la presencia de un flujo secundario helicoidal que actúa inicialmente hacia abajo desde la curva exterior en la región del El Conejo, luego a través del ancho del canal y finalmente hacia arriba.

Se cree que este flujo transversal provocó la grave erosión de la orilla en esta área. Estas condiciones de flujo no se podrían representar en un modelo bidimensional, dado que las velocidades verticales descendentes que generan un vórtice que no se podría representar en este tipo de modelos.

Se consideró que la configuración natural del río es el factor principal para explicar los importantes procesos de erosión en esta área, aunque no está claro en esta etapa si esta situación está relacionada con las características del lecho del canal, o los

efectos de la turbulencia y las condiciones de presión no hidrostática a través del canal.

El modelo 3D fue capaz reproducir de manera general los eventos históricos identificados, incluyendo la dinámica tridimensional del flujo en el sector de El Conejo.

También la simulación realizada determinó correctamente la orientación del campo del vector de velocidad general a lo largo del meandro, prediciendo áreas de alto esfuerzo a proximidad de "El Cerro de la Barrigona" y el barrio "El Conejo" lo que permite evaluar correctamente los patrones de flujo cerca de la orilla.

La profundidad pronosticada del agua también fue consistente con los datos de campo observados, el modelo entregó los resultados dentro de un margen de error del 5% para las condiciones simuladas.

Sin embargo, se evidencia que la resistencia al flujo sea una función del caudal y de las características geométricas del cauce incluyendo la profundidad hidráulica y la sección del cauce en el sector analizado. Esta situación impide el proceso de calibración y de validación de los eventos extremos, reconociendo que el río Magdalena presenta variaciones importantes de caudales a lo largo del año.

Además, el fenómeno de deposición y socavación activa en el meandro genera una dinámica fluvial difícil a reproducir considerando la rápida progresión de la erosión de enero a mayo 2018 y la difícil identificación de eventos válidos para permitir una óptima calibración del modelo, requiriendo una constante actualización del modelo de elevación digital.

Como se ha demostrado, aunque el modelo puede relacionar correctamente el caudal y el nivel de la lámina a lo largo del canal, el mismo puede no ser adecuado como herramienta para pronosticar eventos extremos incluidos los procesos de erosión importantes en el sector.

Este estudio resalta también cómo la influencia de la topografía del lecho puede ser un factor dominante en la dinámica del transporte de sedimentos, específicamente en el caso de meandros, lo que confirma que la principal debilidad de los modelos hidráulicos de río 1D o 2DH está relacionada con los procesos hidrodinámicos ocultos que se producen en la profundidad del canal.

Conclusiones

El presente trabajo informa sobre algunos resultados iniciales de la caracterización y el estudio del meandro ubicado a lo largo del perímetro urbano de La Dorada (Colombia).

El análisis se basa en observaciones realizadas en dos campañas de campo que conducen a un modelo hidrodinámico 3D por diferencias finitas en FLOW – 3D.

El estudio pretende reproducir las características del flujo helicoidal a través el meandro con el fin de proponer soluciones viables para resolver el problema de socavación que se viene presentando en la orilla oeste del río Magdalena frente al malecón del barrio El Conejo. El modelo fue capaz de reproducir los eventos históricos identificados, incluyendo la dinámica tridimensional y las condiciones de presión no hidrostática a la salida de la curva del meandro.

Sin embargo, un impedimento del modelo es la dificultad para evaluar la rugosidad o resistencia del cauce en el caso de analizar eventos extremos, sin posibilidad de calibración previa, por lo tanto, se reduce la validez del modelo como herramienta de pronóstico a corto plazo.

Este estudio infiere que solo un modelo 3D sería capaz de representar correctamente la distribución del campo de velocidad a través de la curva del canal lo que permite identificar las zonas más susceptibles a la erosión y a la socavación a través el meandro e inferir que estos procesos están relacionados con las características del lecho del canal.