
MODELACIÓN HIDRÁULICA Y MORFODINÁMICA DE CAUCES SINUOSOS APLICACIÓN A LA QUEBRADA LA MARINILLA (ANT)

HYDRAULIC AND MORPHODYNAMIC MODELING OF MEANDERING CHANNELS, APPLICATION TO THE MARINILLA STREAM.

Julian David Ceballos Lopez

*Ingeniero civil Escuela de Geociencias y Medio Ambiente - Estudiante de maestría en Ingeniería – Recursos
Hidráulicos - Universidad Nacional de Colombia*

Recibido para evaluación: 19 de Septiembre de 2011 / Aceptación: 30 de Octubre de 2011 / Recibida versión final: 21 de Noviembre de 2011

RESUMEN

En este trabajo se analizan los procesos de erosión y sedimentación en cauces aluviales tomando como caso de estudio tres tramos del cauce de la quebrada La Marinilla para conocer su movilidad, condicionada por la intervención antrópica y las fluctuaciones del nivel base (río Negro). Esta movilidad es evaluada a través del modelo numérico CCHE2D que permite simular los procesos de agradación y degradación del canal y los cambios morfológicos del mismo. De acuerdo a los resultados, las estructuras de puentes implementadas sobre el cauce de la quebrada La Marinilla y las fluctuaciones del nivel en el río Negro pueden modificar y limitar la movilidad del canal en el tiempo.

PALABRAS CLAVE: Erosión, geomorfología, meandro, sedimentación, sinuosidad, Marinilla, Antioquia, Colombia

ABSTRACT

This paper aims to evaluate the process of erosion and sedimentation in alluvial channels in three winding sections of the channel of the Marinilla stream, to identify its mobility conditioned by human intervention and base level fluctuations in the Negro River. This mobility is evaluated using the CCHE2D numerical model to simulate processes of aggradation and degradation on the channel and its morphological changes. According to the results, bridge structures implemented on the bed of the Marinilla stream and fluctuations in the level of the Negro River can modify and limit the mobility of the channel in time.

KEYWORDS: Erosion, geomorphology, meander, sedimentation, sinuosity, Marinilla, Antioquia, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

La predicción de las tendencias de evolución morfológica de cauces aluviales es importante para la planificación de actividades humanas en el ambiente fluvial, tanto sobre el cauce como sobre la planicie de inundación. Entre esas actividades pueden citarse la construcción de obras civiles tales como caminos, puentes o cruces de conductos, o bien actividades productivas, tales como agricultura y ganadería (Farias et al., 2007). Por tanto, se hace necesario conocer el comportamiento de los cauces que interactúan con estas intervenciones sobre el medio natural.

La extrema complejidad física de los procesos involucrados en la movilidad de cauces sinuosos y el escaso nivel de conocimiento actual de los mecanismos asociados a ellos hacen más difícil la cuantificación precisa de estos fenómenos,

fundamentalmente los referidos a las tasas de migración de los cauces. Sin embargo, hoy en día se tiene la disponibilidad de recursos importantes como técnicas de percepción remota (imágenes satelitales de alta resolución), con las cuales se puede evaluar la movilidad del canal a lo largo de la historia estimando las tasas de erosión en las bancas y se cuenta con modelos hidrodinámicos para simular los procesos que se presentan en los sistemas fluviales. La implementación de dichos recursos da una buena aproximación a la solución de la problemática asociada a estos procesos.

El modelo hidrodinámico CCHE2D, permite simular transporte de sedimentos, procesos de agradación y degradación de las bancas y cambios morfológicos del lecho; procesos con los cuales se puede identificar la evolución del cauce en la escala espacial y temporal. Este modelo se aplicará al cauce de La quebrada La Marinilla para conocer la movilidad del canal (evolución de meandros) que rigen la dinámica natural de la corriente.

2. PROCESOS FÍSICOS EN RÍOS SINUOSOS Y MODELOS HIDRODINAMICOS

La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural por el cual un río ajusta su pendiente cuando la del valle por donde fluye es mayor que la necesaria. La configuración y geometría de un cauce con meandros están determinadas por los procesos de erosión y agradación que ocurren en el canal. La Figura 1 muestra un esquema con los parámetros principales de un meandro. La movilidad de los meandros puede clasificarse en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todo el meandro y b) la expansión de la curvatura del meandro, su estrangulamiento y finalmente el corte del mismo. El desarrollo de meandros incrementa la longitud del río y por consiguiente disminuye la pendiente.

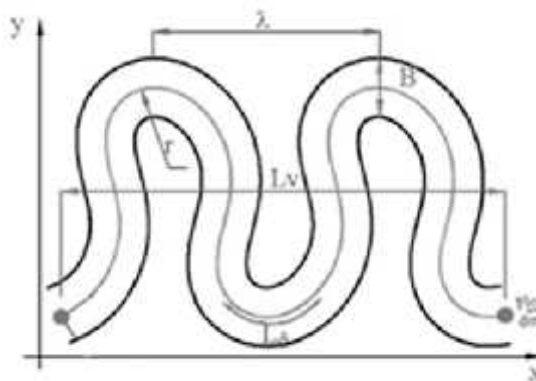


Figura 1. Parámetros principales de un meandro (Abad, 2006).

El movimiento de meandros se manifiesta mediante procesos de erosión y sedimentación actuando simultáneamente. Las velocidades del flujo en las curvas exteriores son significativamente mayores que las velocidades en las curvas interiores; mientras que en la curva exterior se espera erosión, en la curva interior se espera sedimentación.

2.1. Modelo de Erosión de Márgenes

La erosión de las orillas representa dos procesos, la erosión por fricción y la falla de la banca. La primera es causada directamente por el esfuerzo cortante en la superficie de la banca, y la segunda se debe al mecanismo de falla del material del talud iniciada en la pata del mismo, que también está determinado por el cizallamiento. El tiempo de la falla se relaciona con muchos procesos hidrológicos, tales como presión de poros, nivel freático, la densidad de la vegetación y las avenidas. EL modelo CCHE2D, utilizado como herramienta en este trabajo, incorpora todos estos procesos y es posible simular la migración del canal en función del estado de flujo local y las propiedades del material de la banca (Yafei Jia et al, 2001).

2.2. Tasa de Erosión y Sedimentación

La degradación de las márgenes inician cuando el material que las compone es arrastrado por el flujo, el sedimento es entonces transportado aguas abajo depositándose en la parte interna de las curvas. Estos procesos de acreción ó erosión en las bancas son determinados por el balance del flujo de sedimentos que ocurre en el canal. Considerando el balance de masa en un volumen de control cerca a la banca (Figura 2), la ecuación de continuidad del sedimento se puede escribir como:

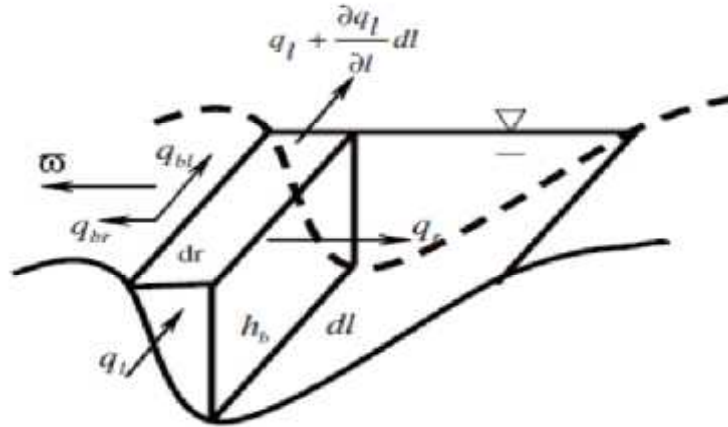


Figura 2. Variables que intervienen en el balance del flujo de sedimentos.

$$\left(q_l + \frac{\partial q_l}{\partial l} dl \right) \frac{dr}{2} - q_l \frac{dr}{2} + q_r dl - q_{br} dl = -\omega h_b dl \quad (1)$$

Donde ω es la tasa de erosión de la banca, dr es el ancho del volumen de control, q_l y q_r son respectivamente las tasas de transporte total en dirección longitudinal y transversal, q_{br} es la tasa de erosión transversal debida a la fricción y h_b es la profundidad del flujo.

Simplificando la ecuación 1, se obtiene la tasa de erosión de la banca como sigue:

$$\omega = \frac{\left(\frac{\partial q_l}{\partial l} \frac{dr}{2} + q_r - q_{br} \right)}{h_b} \quad (2)$$

La ecuación 2 establece que la banca se degrada cuando la tasa de transporte longitudinal de sedimentos se incrementa ó las corrientes secundarias transportan los sedimentos fuera de la banca. De otra manera, si esta tasa de transporte longitudinal disminuye ó si las corrientes secundarias mueven el sedimento hacia la banca, esta experimenta una agradación progresiva.

2.3. Flujo En Curvas

Debido a la fuerza centrífuga, en la parte externa de una curva el flujo presenta sobre-elevación, lo cual conlleva a que se presente una diferencia de presiones en la sección; éste fenómeno hace que se originen corrientes secundarias desde la parte superior hacia el fondo en una misma sección transversal (Posada, 1994).

Tarrab et al (2006), describe que esta sobreelevación del flujo ocasiona un movimiento helicoidal en respuesta a dicha corriente secundaria que se establece en dirección perpendicular al sentido del escurrimiento principal. La Figura 3 muestra un esquema de los procesos que exhibe el flujo en las curvas.

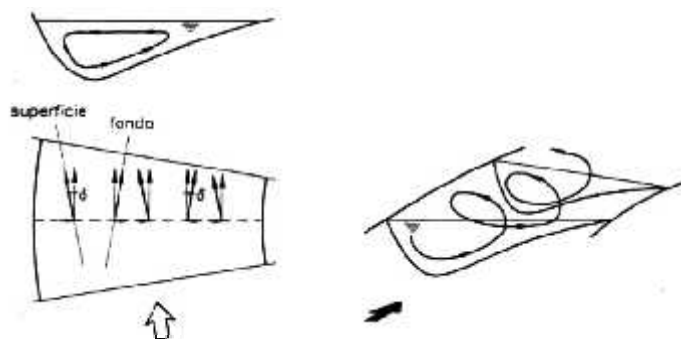


Figura 3. Corriente Secundaria (izquierda) – Flujo helicoidal (derecha), Tarrab et al 2006.

Una celda de circulación secundaria es, por definición, una celda cerrada donde el flujo neto transversal es cero. En una curva de un río, la acción de la fuerza centrífuga en superficie excede el gradiente de presión lateral y el agua es llevada hacia la margen externa. Por el contrario, la fuerza de presión es dominante en proximidades del lecho, puesto que la presión hidrostática adicional no se encuentra equilibrada por la aceleración centrípeta, y las partículas de agua se desvían hacia la margen convexa.

3. MODELOS HIDRODINÁMICOS Y MORFODINÁMICOS

En los últimos años numerosos modelos de una, dos y tres dimensiones se han desarrollado para la predicción del comportamiento del flujo en canales abiertos. Los ríos aluviales de tipo meandrónico presentan corrientes secundarias que inducen los procesos de movimiento del lecho a lo largo y ancho de la llanura de inundación, por lo anterior, la modelación de este tipo de sistemas es compleja y requiere sofisticadas técnicas numéricas y robustos algoritmos de programación que simulen en detalle los procesos físicos que acontecen en las corrientes aluviales.

El modelo hidrodinámico CCHE2D ha sido ampliamente utilizado para la simulación de procesos de migración y evolución de meandros, avances y retroceso de orillas, y ampliación del canal, según cita Duque, 2008 a Jia y Wang, 1999. Además, este modelo es de libre acceso para su manipulación y presenta una interfaz gráfica muy cómoda para el usuario lo que facilita y agiliza los procedimientos durante las modelaciones que se lleven a cabo. Por otro lado, el modelo hidráulico Hec Ras es ampliamente utilizado en el medio para la simulación de niveles del flujo en cauces aluviales lo que permitirá adquirir datos que sirvan como condiciones de frontera del flujo para la calibración del modelo CCHE2D.

Como ejercicio se utilizó el modelo RVR Meander para observar el comportamiento del canal en los tramos establecidos para el estudio. Este modelo permite predecir la forma en planta del cauce bajo ciertos parámetros, puede caracterizar y analizar la migración de meandros en ríos, lo que permite conocer la tasa de desplazamiento transversal y longitudinal del cauce.

3.1. Modelo CCHE2D

Este modelo requiere información básica de las siguientes variables: Geometría del cauce (secciones batimétricas), datos de caudal (curva de calibración de caudales o niveles), composición del material del lecho (granulometría de las muestras), caudales sólidos (datos de transporte de sedimentos de fondo o suspensión, distribución granulométrica). La resolución del modelo depende de la escala de la información cartográfica y batimétrica, y de del tipo de refinamiento de la malla en elementos finitos.

Ecuaciones de Momentum integradas en profundidad para la dimensión x.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial (h \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (h \tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor} v \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{xy}}{\rho h} + f_{Cor} u \quad (4)$$

Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

Donde u y v son las componentes de la velocidad integradas en profundidad en la dirección x y y , respectivamente; t es el tiempo, g es la aceleración de la gravedad, Z es la elevación de la superficie del agua, ρ es la densidad del agua, h es la profundidad local del agua, f_{Cor} es el parámetro de Coriolis, τ_{xx} , τ_{xy} y τ_{yy} son los esfuerzos de turbulencia de Reynolds integrados en profundidad y τ_{bx} , τ_{by} son los esfuerzos cortantes en la superficie del lecho.

3.1.1. Transporte de Sedimentos

A continuación se presenta una breve descripción de las características para la modelación del transporte de sedimentos en CCHE2D. Para mayor detalle véase el módulo de transporte de sedimentos en el manual de usuario del modelo CCHE2D (Wu, 2001).

El modelo CCHE2D considera las siguientes fórmulas de transporte de sedimentos: Fórmula de Acker's & White modificado (EPM, 1996), módulo SEDTRA, y fórmula de Engelund y Hansen modificado (EPM, 1996).

3.1.2. Módulo SEDTRA

El módulo SEDTRA utiliza tres diferentes fórmulas de capacidad de transporte para calcular la tasa de transporte para diferentes tamaños de clase del sedimento. Las fórmulas son: fórmula de Laursen (1958) para tamaños del sedimento entre 0.01 y 0.25 mm, fórmula para tamaños entre 0.25 y 2.0 mm y la fórmula de Meyer-Peter y Muller (1948) para tamaños entre 2.0 y 50 mm.

3.1.3. Modelo de Wu, Wang y Jia

La fórmula para determinar la capacidad de transporte de sedimentos de fondo de Wu et al (2000) es,

$$\phi_{bk} = 0.0053 \left[\left(\frac{n^*}{n} \right)^{3/2} \frac{\tau_b}{\tau_{ck}} - 1 \right]^{2/3} \quad (6)$$

$$\phi_{bk} = \left[\frac{q_{bk}}{p_{bk} \sqrt{(Y_s/Y - 1) g d_k^3}} \right] \quad (7)$$

$$n^* = d_{50}^{1/6} / 20 \quad (8)$$

donde ϕ_{bk} es la capacidad de transporte de fondo adimensional, q_{bk} es la tasa de transporte de fondo para el k-esimo tamaño de clase por unidad de ancho, p_{bk} es la gradación del material del lecho, n es el coeficiente de rugosidad de Manning debido al grano, τ_b es el esfuerzo cortante en el lecho, τ_{ck} es el esfuerzo cortante crítico, p_{hk} y d_k son las probabilidades de escondimiento y exposición del grano para el k-esimo tamaño de clase.

3.2. Modelo HEC – RAS

El modelo HEC-RAS desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, permite calcular los niveles de la superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente o no permanente y gradualmente variado, en un canal natural o artificial. El procedimiento básico de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por la ecuación de Manning y las pérdidas locales

por contracción y expansión del flujo, se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. Este programa se basa en el cálculo mediante el Método de Paso Estándar (Standard Step Method) que consiste en determinar la altura de escurrimiento de una sección a partir de la altura de escurrimiento de una sección adyacente (aguas arriba o aguas abajo, dependiendo del régimen de escurrimiento) mediante el balance de energía entre estas dos secciones. Este balance de energía se hace resolviendo la siguiente ecuación:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (9)$$

de:

Y_1, Y_2 : Profundidad de agua en cada una de las secciones transversales.

Z_1, Z_2 : Cota de fondo de las secciones transversales.

V_1, V_2 : Velocidades promedio en las secciones transversales.

α_1, α_2 : Coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis.

g : Aceleración de gravedad.

h_e : Pérdida de carga.

4. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a la cuenca de la quebrada La Marinilla (Figura 4) localizada al oriente del departamento de Antioquia, en el municipio de Marinilla. La quebrada La Marinilla nace en el alto de Perico y fluye de oriente a occidente hasta descargar sus aguas en el río Negro, a la altura del sector Alcaravanes, a una altura de 2068 msnm.

En la zona de estudio la quebrada La Marinilla recorre el municipio de Marinilla con una longitud aproximadamente 9 km, drenando el 45% del área total de la cuenca (97.1 km²). Este tramo del canal corresponde a la parte baja de la cuenca y presenta una pendiente media de 0.0016. En esta franja el cauce exhibe una llanura amplia, intervenida en gran parte por la infraestructura del municipio, morfológicamente el canal presenta un patrón de alineamiento meandrico donde el flujo es controlado en la desembocadura por el río Negro.



Figura 4. Localización quebrada la Marinilla. UdeA – Cornare, 2008.

Los círculos negros en la Figura 4 indican la ubicación de los tres tramos de la quebrada seleccionados para el análisis geomorfológico objeto de este trabajo. La descripción de estos tramos del cauce que en adelante se identifican como La Ramada, Simona Duque y Alcaravanes se muestra a continuación. Tramo La Ramada

Está situado en el casco urbano del municipio de Marinilla (Foto 2), iniciando a 1 Km aguas arriba del puente La Ramada y con una longitud igual a 1.5 Km. El tramo indica una sinuosidad $S = 1.5$ que de acuerdo a Leopold et al, caracteriza al tramo del canal como meandriforme. EL cauce en dicho tramo presenta además un ancho promedio de 12 m y una pendiente del lecho $S_o = 0.15\%$; la llanura de inundación es poco extensa y está confinada en su margen derecha por la vía hacia El Peñol (a 150m) y a menos de 20m por la autopista Medellín-Bogotá en la margen opuesta. Además, se exhibe una topografía plana cuya cobertura vegetal describe predios destinados al pastoreo con arbustos de tamaño medio y franjas arbóreas discontinuas directamente sobre la rivera de la quebrada.

Este tramo del canal se seleccionó teniendo en cuenta la estructura del puente La Ramada existente sobre el cauce ya que influye de manera directa sobre la evolución morfológica del cauce ya que limita la migración lateral y longitudinal de los meandros que lo componen.



Foto 1. Tramo del canal sector La Ramada. Foto aérea CF005461 - Cornare, 2005



Foto 2. Tramo del canal sector Simona Duque. Foto aérea CF005504 - Cornare, 2005

4.1. Tramo Simona Duque

Este tramo del canal se ubica finalizando el casco urbano del municipio de Marinilla (Foto 3), iniciando a 500m aguas abajo del puente Simona Duque. El cauce en este sector exhibe un patrón de alineamiento bastante sinuoso ($S=1.8$) y la llanura presentan una topografía plana con predios destinados al pastoreo y a diversos cultivos. Las bancas del canal al no estar protegidas por una cubierta vegetal continua, son altamente vulnerables a los procesos erosivos. El tramo del canal con una longitud de 1.5km, presenta en promedio un ancho de 16.0m y una pendiente S_o alrededor del 0.09%.

Se consideró este tramo del canal como objeto de análisis ya que el alineamiento de la quebrada en este sitio ha sido modificada por la intervención humana (implementación del puente Simona duque) además los niveles del río Negro durante las avenidas alcanzan este sector del puente lo que influencia en gran magnitud la dinámica del canal.

4.2. Tramo Alcaravanes

Se encuentra localizado en las afueras del municipio de Marinilla finalizando a unos 800m aguas arriba de la desembocadura de la quebrada en el río Negro y sobre predios del parque Alcaravanes (Foto 4). Este tramo con una

longitud de 1.6 Km presenta respectivamente un ancho B y una pendiente So promedio iguales a 12m y 0.09%. Se aprecia un canal bastante sinuoso ($S=1.9$) exhibiendo una geomorfología meandrica con curvas muy pronunciadas. Potreros y zonas aisladas con vegetación arbórea constituyen la llanura de inundación sobre ambas márgenes que actúan a su vez como franjas de amortiguación del flujo siendo constantemente anegadas durante las inundaciones. Para la elección y análisis geomorfológico de este tramo se tuvo en cuenta la influencia que tiene el río Negro actuando como nivel base de la quebrada La Marinilla y que es determinante en el desarrollo de los procesos físicos de la misma.



Foto 3. Tramo del canal sector Alcaravanes. Foto aérea CF005510 - Cornare, 2005

5. DATOS UTILIZADOS EN LA MODELACIÓN

La información utilizada en las modelaciones se obtuvo del proyecto “Ajustes Y Actualizaciones a los Estudios y Diseños para el Control de las Inundaciones de la Quebrada La Marinilla en Jurisdicción de los Municipios de Marinilla y El Santuario – Antioquia”, ejecutado por la Universidad de Antioquia en el año 2009. De este estudio se retomó lo siguiente:

El levantamiento de secciones transversales cada 30m (extendidas hacia las márgenes unos 200m) y la geometría de puentes existentes sobre el cauce. Esta información se ingresó al modelo Hec Ras y se interpolaron las secciones transversales cada 2m con el objetivo de tener una topografía en detalle del lecho y las márgenes del canal. Con esta información se crearon las mallas de cálculo que definían el dominio físico del cauce.

Se utilizaron los niveles del flujo (obtenidos mediante el modelo Hec Ras) aguas arriba y aguas abajo en cada uno de los tramos estudiados y se utilizaron como condiciones de frontera en el modelo CCHE2D en cada una de las simulaciones. Estos niveles se obtuvieron realizando la simulación de los niveles del flujo en la quebrada La Marinilla para caudales asociados a diferentes periodos de retorno.

También se realizó un análisis e identificación de los perfiles del suelo a lo largo del cauce de la quebrada La Marinilla, a través de una serie de perforaciones y apiques en algunos sitios determinados. Se tomaron muestras para ensayos de laboratorio, que sirvieron para la caracterización geotécnica de los suelos de las márgenes de la quebrada.

Por otra parte se realizaron aforos líquidos y sólidos para calibrar los módulos de flujo y del sedimento del programa CCHE2D.

Para simular el embalse y desembalse del flujo en el canal que es el fenómeno que da lugar a los procesos erosivos sobre las orillas, Se transitó el caudal en flujo no permanente mediante el uso de datos registrados en la estación Alcaravanes (Figura 5).

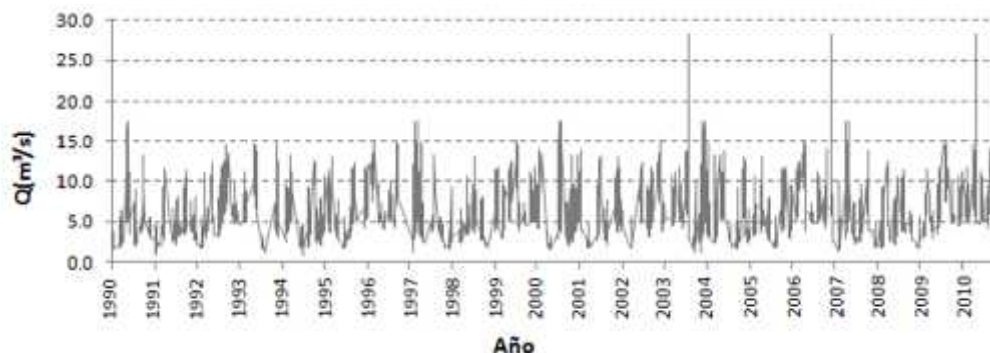


Figura 5. Fluctuación del caudal en el tiempo, puente Alcaravanes.

6. PROCESOS MORFODINÁMICOS

La acción del flujo moldea el canal debido a los procesos erosivos y/o de sedimentación. El lecho y las bancas del cauce evolucionan constantemente buscando un equilibrio en la dinámica del mismo. Durante el transito del caudal, el esfuerzo cortante del flujo actúa sobre el lecho y paredes erosionando cuando las velocidades se incrementan ó por el contrario hay agradación por una reducción de la pendiente ó de la velocidad misma.

6.1. Evolución del cauce tramo La Ramada.

En la Figura 6, las líneas azules identifican el perfil inicial de la sección transversal, mientras que la línea negra indica el alineamiento final luego de la simulación. En general se aprecia una tendencia del cauce a desplazarse hacia la margen derecha cuando se tiene en cuenta la reducción de su capacidad hidráulica debido a la estructura del puente. De acuerdo con los resultados del modelo, el cauce experimenta una migración lateral con una tasa promedio de 0.50m/año.

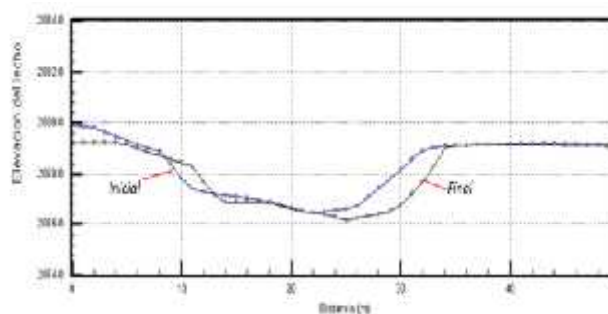


Figura 6. Retroceso de orilla simulado en el sector La Ramada

6.2. Evolución del cauce Tramo Simona Duque.

En este tramo se aprecia claramente la evolución del canal cuya tendencia es un desplazamiento lateral hacia la margen derecha y donde los resultados del modelo mostraron una tasa de migración alrededor de los 0.30m/año. Es claro el efecto de las fluctuaciones del nivel base (niveles del río Negro). De acuerdo con la simulación realizada en el modelo Hec Ras, los niveles de flujo durante las avenidas ocasionan un remanso en la quebrada La Marinilla; esto altera en gran medida la dinámica propia de la quebrada manifestándose una degradación progresiva del lecho hacia aguas arriba y ocasionando la movilidad lateral del cauce.

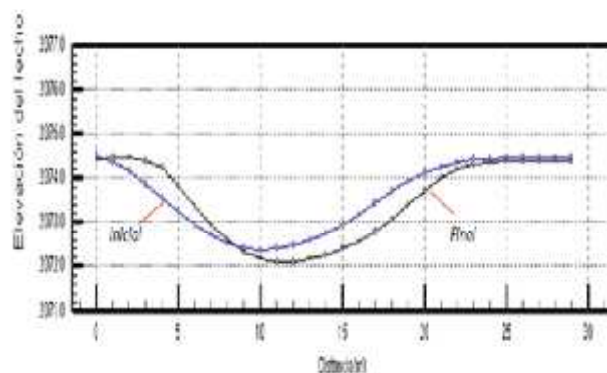


Figura 7. Retroceso de orilla simulado en el sector Simona Duque

6.3. Evolución del cauce Tramo Alcaravanes.

Para este escenario en que el cambio en el nivel base modifica la dinámica de la quebrada ocasionando la degradación del lecho, se aprecia un cambio más marcado aguas abajo del puente Alcaravanes, sitio donde el remanso en la quebrada ocasionado por el incremento el nivel del río Negro tiene su mayor incidencia. Se identifica un desplazamiento mayor aguas abajo del puente Alcaravanes (Figura 8) donde las fluctuaciones del nivel base alcanzan una mayor perturbación de los procesos geomorfológicos de la quebrada. El modelo CCH2D indicó una migración lateral promedio alrededor de los 0.50m/año.

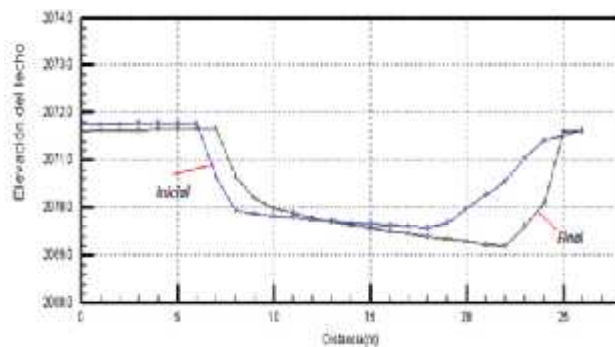


Figura 8. Retroceso de orilla simulado en el sector Alcaravanes

7. CONCLUSIONES

Los escenarios simulados en el modelo CCHE2D indican con bastante claridad el efecto directo que tiene la intervención antrópica y las fluctuaciones del nivel base sobre los procesos geomorfológicos que moldean y definen el patrón de alineamiento de la quebrada La Marinilla. El confinamiento que ofrecen los puentes implementados sobre los cauces ocasiona la reducción de su capacidad hidráulica alterando los procesos físicos derivados de los parámetros hidráulicos que intervienen. Las fluctuaciones del nivel base por su parte actúan como un control estricto que conllevan al desplazamiento lateral del cauce y permitiendo que de esta dinámica dependa el alineamiento del mismo.

Es clara la incidencia de la construcción del puente La Ramada sobre el cauce de la quebrada La Marinilla ya que influye directamente sobre la dinámica de la quebrada disminuyendo su capacidad hidráulica y convirtiéndose en un confinamiento para la evolución morfológica (migración lateral y longitudinal) del canal. Esto se ve reflejado en el incremento de la sinuosidad aguas abajo de dicho puente luego de su edificación.

El diseño e implementación de puentes sobre cauces naturales ó vías aledañas debe ser analizado teniendo en cuenta las

características geomorfológicas y tasas de movilidad de estos canales ya que en gran parte de esto dependerá su vida útil.

De acuerdo con el análisis geotécnico realizado en los sitios estudiados, y luego de determinar los tipos de materiales que afloran y sus características geotécnicas; es claro tener en cuenta que las márgenes de la quebrada presentan sectores afectados por procesos de erosión lateral, lo cual se favorece por el tipo de material existente en las márgenes que se relacionan con suelos arenosos y limosos. Esto, porque este tipo de suelos se comportan de manera muy sensible cuando se someten a efectos erosivos por agua lluvia y de escorrentía, especialmente si no hay una cubierta vegetal que los proteja.

La cubierta vegetal sobre las bancas del canal influyen directamente sobre la estabilidad de la misma; el esfuerzo cortante del flujo actúa directamente sobre las paredes del canal ocasionando el desprendimiento del material con mayor facilidad permitiendo así el colapso del talud. Por esto es importante tener muy en cuenta la magnitud de la rugosidad al momento de realizar modelaciones ya que esta tiene gran relevancia en los procesos físicos propios del cauce.

Los resultados obtenidos con el modelo CCHE2D permitieron conocer las tasas de movilidad y las tendencias de migración del cauce de la quebrada La Marinilla las cuales son de gran apoyo para futuras intervenciones del cauce ó de obras proyectadas en la llanura de inundación.

Se realizaron simulaciones de la estructura de los puentes sobre el canal de forma indirecta, caracterizando los nodos que conforman la malla de cálculo como “no erodables” y se obtuvieron los resultados antes discutidos. Sin embargo, se tendría una simulación más real utilizando el modelo CCHE3D que permite modelar el comportamiento del flujo al interactuar con estructuras hidráulicas que son ingresadas a este modelo con la geometría real.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad J. D., García, 2005. RVR Meander: A toolbox for Remeandering of Channelized streams. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA.
- Farias. H, Trejo. J, Domínguez. J, Lascano. E. 2007. Modelo Morfodinámico Simplificado Para Estimar Las Tasas de Migración Lateral en Ríos de Llanura. XXIº Congreso Nacional del Agua 2007. Tucumán
- Yafei Jia and Sam S.Y. Wang. CCHE2D 2001. Verification and Validation Tests Documentation National Center for Computational Hydroscience and Engineering.
- Tarrab L, Vionnet C.A. y Rodríguez A. 2006. Análisis de la Relación de Aspecto Ancho/Tirante (b/h) En los Flujos en Curva. Centro de Estudios Hidro-Ambientales – CENEHA. Argentina.
- Duque, O, 2008. Simulación Hidráulica de Confluencias y Difluencias, Aplicación Al Río León en el Urabá Antioqueño. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Medellín,
- Posada, Lilian, 1994 Transporte de Sedimentos. Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas. Medellín.
- Empresas Públicas de Medellín – Unal, 1996. Modelo para el Cálculo del Transporte de Sedimentos en Suspensión y de Fondo en Cauces Naturales. Medellín.
- Duan. G, Jia. Y, Wang. S, 1999. Simulation of Meandering Channel Migration Processes with the Enhanced CCHE2D. The Center for Computational Hydroscience and Engineering (CCHE). University of Mississippi.

