

PROCESOS DE AGRADACIÓN-DEGRADACIÓN ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Edward Julián Sánchez, Luis Alfredo Berrio^a, Juan José Ramírez, Jorge Andrés Alzate, Lilian Posada y Juan Fernando Palacio

Posgrado en aprovechamiento de recursos hidráulicos Universidad Nacional de Colombia sede Medellín,
Profesor asociado universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

E-mail: edsanchezt@unal.edu.co, laberriom@unal.edu.co, jjramirezga@unal.edu.co, lposada@unal.edu.co, jfpalacio@isagen.com.co

Introducción

La entrada en operación de una central hidroeléctrica altera las tasas de transporte de una corriente natural aguas abajo del sitio de presa, debido al cambio en su régimen de caudales líquidos y sólidos. Con el fin de determinar dichas alteraciones inducidas por la operación del Proyecto Hidroeléctrico Sogamoso, se analizó un tramo del río Sogamoso de 80 km donde se identificaron tres sectores geomorfológicamente diferentes (recto, anastomosado y sinuoso). Se simuló procesos de agradación y degradación a partir de un modelo de transporte de sedimentos (Engelund y Hansen, Ackers y White, Toffaletti, etc.), previamente seleccionado de acuerdo al material del lecho de cada sector del río. Los resultados obtenidos en la modelación fueron validados con datos de campo del período 2015-2017, sugiriendo un buen ajuste del modelo al comportamiento del río; lo que permitió la realización de un pronóstico a 50 años de los procesos de agradación y degradación del río bajo las condiciones de operación esperadas de la central.

Los resultados del pronóstico sugieren que la operación de la central no va a generar grandes modificaciones en los procesos de agradación y degradación del río por la poca variación en la magnitud de los caudales con respecto al caudal natural medio y dado que, las mayores tasas de estos procesos ya se presentaron en el periodo inicial (2015-2017). Dichos procesos son más sensibles al control impuesto por el río Magdalena (nivel base), sobre todo en la zona de la desembocadura.

Zona de estudio

El río Sogamoso, ubicado en el noroccidente colombiano, se forma de la confluencia de los ríos Chicamocha y Suárez, en el departamento de Santander. El tramo de estudio consta de aproximadamente 80 km, que van desde el sitio de presa, localizado en el municipio de Betulia, hasta su desembocadura en el río Magdalena, municipio de Barrancabermeja (Figura 1).



Figura 1.- Localización de la zona de estudio.

El río es el eje de desarrollo de las comunidades ubicadas aguas abajo de la presa, donde las principales actividades económicas son la pesca, el transporte fluvial, la agricultura extensiva y la ganadería, siendo la última la menos sensible a la operación de la central hidroeléctrica.

El caudal medio del río es de aproximadamente 470 m³/s en su tramo inicial. El ancho del canal varía desde 160 m en el sitio de presa hasta 320 m al llegar a la desembocadura en el río Magdalena.

Metodología

El patrón de alineamiento del canal se analizó a partir de ortofotos (2008, 2014 y 2016), complementadas con imágenes satelitales del USGS (1977, 1987 y 1998).

- Tramo recto. Presenta un grado de confinamiento alto que no permite la divagación del río lateralmente posee barras.
- Tramo anastomosado. Con múltiples canales de flujo de ancho reducido con respecto a las dimensiones de las barras; estas poseen vegetación que indica la permanencia cuasi-permanente de dichas acumulaciones de sedimentos. Este tramo se subdividió en dos de acuerdo a la amplitud de su planicie de inundación.
- Tramo sinuoso. Conformado por tramos rectos interconectados por curvas, donde la más pronunciada se localiza en el sector de La Hortensia y desde la cual se han presentado derrames hacia la ciénaga El Llanito. En su margen derecha se localiza una terraza alta y en su margen izquierda una amplia llanura de inundación, regida en su parte final por la dinámica del río Magdalena.



Figura 2.- Clasificación geomorfológica del río en la zona de estudio.

En el sitio de presa, el río está controlado litológica y estructuralmente por un sinclinal que le imprime un alineamiento recto con lecho rocoso al tramo inicial. Hacia aguas abajo el material del lecho cambia su litología por una menos resistente, lo cual le permite dividirse en múltiples canales (sector anastomosado); en este trayecto las unidades geomorfológicas dominantes son las terrazas altas que limitan su planicie de inundación en un ancho aproximado de 1.0 km hasta llegar al sector de La Cascajera, donde la influencia de la falla La Salina hace que estas terrazas desaparezcan y la planicie de inundación se extienda hasta 4.0 km.

Después de La Cascajera, el río pierde su patrón de alineamiento anastomosado debido al control estructural que ejerce la Falla Infantas uniendo los canales de flujo y otorgándole un solo canal hasta llegar a la influencia de su nivel base (río Magdalena).

Se utilizaron las series de caudales con resolución horaria de dos estaciones E1 y E2 ubicadas, respectivamente, en Puente La Paz y en Puente Sogamoso (Figura 1) para estimar los caudales de diferentes frecuencias.

Durante las campañas de campo en el año 2017 se midieron caudales líquidos y sólidos; se caracterizó el material del lecho

en los tres sectores diferentes que definen el tramo de estudio (Figura 2).

Para validar el modelo de agradación-degradación implementado, se determinó la variación del lecho y taludes en 47 secciones a lo largo del río, en el período 2015-2017 (Figura 3).

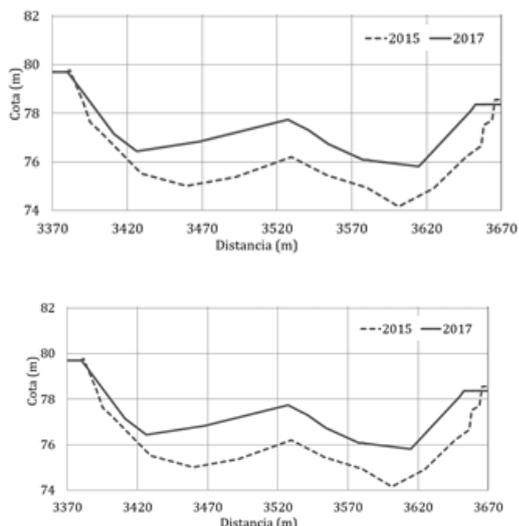


Figura 3.- Sección transversal de la abscisa K50+029 con cero en el sitio de presa, para los años 2015-2017.

En la Figura 4 se muestra en detalle el perfil altimétrico del tramo anastomosado, donde se identifican dos zonas de agradación (K15 -K20 y K46 - K50, aproximadamente), mientras que la mayor parte del sector muestra procesos de degradación. El perfil total se muestra en el recuadro de la Figura 4, donde se aprecia que el resto del canal ha tenido una leve variación del lecho dominando el proceso de agradación.

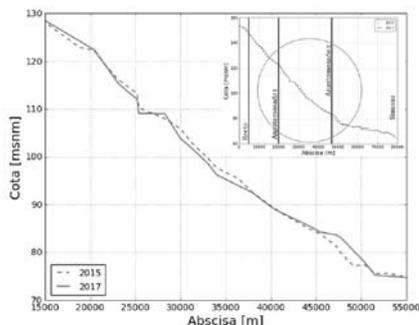


Figura 4.- Variación del perfil longitudinal en el tramo anastomosado de la zona de estudio en el período 2015-2017.

Simulación hidrodinámica

Para la simulación hidrodinámica del tramo de estudio, se utilizó el software HEC-RAS, el cual posee un módulo de sedimentos que, junto con los parámetros hidráulicos del canal, el tamaño del sedimento presente en el lecho, permite emplear distintos modelos de transporte como Engelund y Hansen, Ackers y White, Toffaletti, entre otros. Según la morfología de cada tramo se seleccionó el modelo más representativo de transporte. Igualmente se empleó la ecuación de continuidad de sedimento o la ecuación de Exner (Ecuación 1), para definir los procesos de agradación y degradación.

$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad [1]$$

Donde B es el ancho del canal, η es la elevación del canal, Q_s es el caudal sólido, x y t son el espacio y el tiempo respectivamente y λ_p es la porosidad de la capa potencialmente erosionable.

Con base a la información obtenida y generada se alimentó el modelo hidrodinámico con los parámetros necesarios para la simulación de acuerdo a la fundamentación teórica, posteriormente se calibró y validó el modelo, y finalmente se realizó el pronóstico de evolución vertical del lecho en los próximos 50 años, dadas unas condiciones de caudales específicas.

Análisis y validación de resultados

Se cuantificaron las variaciones del lecho en el período 2015-2017 (ascenso o descenso del lecho, Figura 3) en cada una de las secciones transversales y se simuló las condiciones de flujo históricas del período de dos años para calibrar el modelo de transporte.

La serie histórica para los dos años desde el comienzo de la operación de la central, que incluye los caudales de generación, se replicó durante 50 años para obtener el pronóstico de evolución del lecho, a partir de 2017, en todo el tramo de estudio.

El resultado mostró una serie de puntos en el río donde los procesos de agradación y degradación se hacen presentes con magnitudes muy variables (Ver tabla 1).

Tabla 1.- Variaciones del lecho del río Sogamoso estimadas por UNAL (2017) y el diseñador del proyecto.

Tramo	Variación del lecho (m)	
	UNAL 2017-2067	Diseñador 1996 - 2046
Recto- K2+500	+0.03	-0.50
Recto- K3 +500	-0.10	-0.50
Anastomosado- K24+000	-0.20	-0.20
Anastomosado- K32+000	-0.10	-0.45
Anastomosado- K41+200	-0.60	+0.20
Anastomosado- K51+200	+0.05	-2.00
Sinuoso- K54+000	+0.30	-2.40
Sinuoso- K70+300	-1.00	-1.50
Sinuoso- K73+200	+0.40	-1.80
Sinuoso- K75+000	-0.80	-2.30
Sinuoso K80+000	-0.20	0.00

Conclusiones

En los dos primeros años de operación de la Central Hidroeléctrica Sogamoso se presentaron los máximos niveles de agradación y degradación del lecho del río Sogamoso, puesto que la variación del fondo del canal mostrado en el pronóstico a 50 años es mínima comparada con la del 2015 -2017. Además, el nivel base del río Magdalena ejerce un control en la magnitud de los procesos de variación del lecho del río Sogamoso, en los últimos kilómetros del tramo sinuoso.

Referencias

- Julien, P.** (1994). *Erosion and Sedimentation* (2nd ed.). Cambridge.
- Knighton, D.** (1984). *Fluvial Forms and Processes*. Great Britain.
- Múnera, C.** (2013). *Análisis comparativo de los modelos hec-ras, cch2d, g-stars y bri-stars, para la modelación hidráulico morfológica en un cauce aluvial. aplicación al río negro (antioquia)*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Posada García, L.** (1994). *TRANSPORTE DE SEDIMENTOS* (1st ed.). Medellín: Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos..
- US Army Corps of Engineers.** (2010). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*.