

# Modelación de la erosión general en cauces naturales mediante software HEC RAS

**Jarol Oswaldo Lasso Martínez**

Estudiante Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

**Francisco Ricardo Mafla Chamorro**

Docente Ingeniería Ambiental

Universidad Mariana

## Introducción

La erosión fluvial puede darse tanto en las bancas como en el fondo, dependiendo los grados de libertad del cauce (Maza Álvarez y García Flores, 1996). La erosión natural del fondo en cauces naturales producida por un incremento del caudal líquido, sea por crecidas naturales o inducidas, es llamada erosión general, y la estimación de su profundidad es un tema de gran importancia en ingeniería fluvial, especialmente útil para la toma de decisiones en el diseño de obras de cruce a través del cauce, tales como puentes, tuberías, túneles subfluviales, etc. Farias (como se citó en Barbosa, 2013, p. 1)

El estudio de la erosión general puede ser de carácter determinístico, basándose en análisis de carácter cualitativo y cuantitativo, donde se emplean fundamentos teóricos y experimentales, ya que cada estudio a realizar depende de las condiciones a las que se encuentre el lugar de interés, conllevando esto entonces a la formulación de modelos semi- empíricos que dependen mucho del criterio del profesional evaluador.

Para ello, es necesario realizar un estudio morfológico en un cauce natural como los ríos, el cual puede estipularse en función de las condiciones climatológicas y meteorológicas de la zona donde se encuentre; así mismo, es preciso analizar la acción antrópica que puede holgadamente significar alteraciones sobre las condiciones físicas del cauce.

Por otro lado, el estudio hidrológico e hidráulico de las condiciones locales del cauce resultan ser fundamentales

en cuanto a las crecidas, ya que estas generan mayor turbulencia e incrementa la capacidad de arrastre en un cauce, provocando un aumento en la cantidad de sedimentos transportados.

“Cuando el caudal desciende a niveles normales, el sedimento se deposita en el fondo, reconfigurando el mismo a su nivel normal, excepto por algunos tramos que se ven afectados por la disminución del nivel del lecho, originando la socavación” (Toapaxi, Galiano, Castro, Hidalgo y Valencia, 2015, p. 1). Uno de los mayores problemas ocasionados por una crecida, y como agente seguido la socavación general, está fundamentado en la falla de las estructuras hidráulicas ubicadas sobre los cauces, gracias al choque agresivo que se puede presentar con la cantidad de sedimentos que se pueden acarrear.

Con ánimo de avanzar en este tipo de estudios, a partir de la década de los 60, se le dio un nuevo enfoque a las metodologías desarrolladas para calcular la profundidad de erosión y cantidad de material removido, “basadas en el equilibrio entre la velocidad de flujo y la velocidad crítica para el material que conforma el lecho, entre las que se destacan las formulaciones de Lischtvan & Lebediev (1959), Laursen (1963), Maza Álvarez (1973), Neill (1980)” (Barbosa, 2013, p. 2).

## Metodología

El Software del HEC-RAS es una herramienta computacional capaz de resolver unidimensionalmente el cálculo de perfiles hidráulicos, tanto en flujo subcrítico como supercrítico, considerando puentes, vertederos y otras obras urbanísticas. El método empleado es el

estándar por etapas, las cuales se calculan solucionando las ecuaciones de cálculo básico de perfil, subdivisión de secciones transversales, coeficiente de rugosidad de Manning para el canal principal.

Para la modelación de la erosión general se emplea el software Hec Ras versión 5.07, donde se contemplan tres procedimientos fundamentales, correspondiente a una geometría, análisis de flujo, análisis de sedimentos, un plan de corrida.

### Geometría del cauce

La información de la geometría del cauce se la obtiene mediante un procesamiento de la base planimétrica de la zona de estudio; para ello, se emplea el software Auto Cad Civil 3D, de donde se importa la geometría extraída directamente para las secciones de estudio al panel de análisis de geometría del Hec Ras (ver Figura 1).

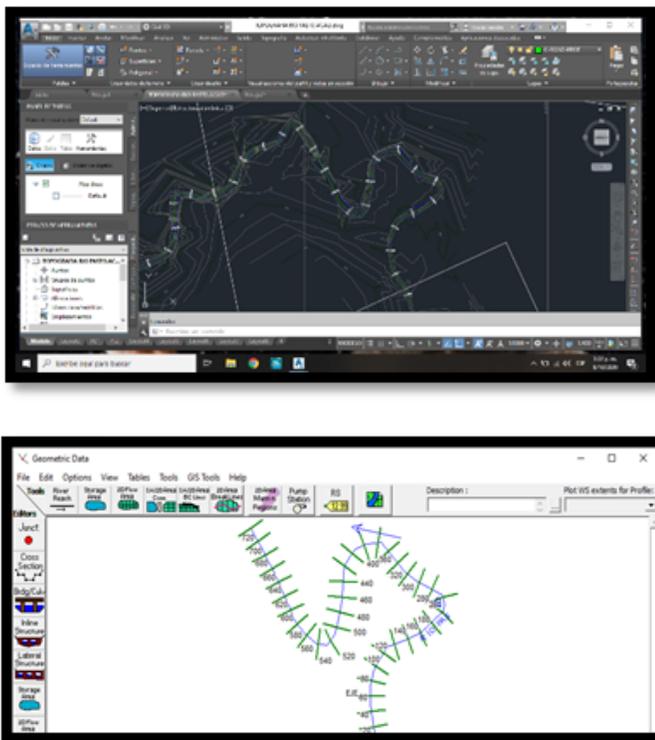


Figura 1. Procedimiento para obtención de la geometría.

### Análisis de flujo Quasy unstaedy Flow

El análisis de flujo se desarrolla para condiciones casi permanentes, según especificaciones del manual de usuario del software, para ello, se simula un hidrograma de crecida, correspondiente a 24 horas de flujo, pasando en

condiciones casi inestables sobre el cauce para periodos de retorno de 1.5, 5 y 8 años para caudales obtenidos mediante ajuste de Gumbel. Las condiciones de entrada y salida de flujo se especifican con el hidrograma de crecida y un valor de pendiente normal respectivamente.

### Análisis de sedimentos

El análisis de sedimentos es el corazón de la modelación, con base en la información aquí especificada se presentan los resultados.

La ventana de dialogo de este apartado presenta dos componentes fundamentales, donde se ingresa la información correspondiente. En la primer ventana se ingresa la información correspondiente a la granulometría de la zona de estudio, donde se debe atribuir a cada clase el valor porcentual que pasa sobre cada uno de los tamiz con los cuales se realizó el procedimiento granulométrico, en la opción de % de finos, en la misma área se debe incluir los valores de borde derecho e izquierdo que se toman de la información geométrica y, finalmente, se ingresa los valores de máxima profundidad de erosión que puede alcanzar cada sección transversal, tomada en la metodología como la mayor cota en m s. n. m. existente en la zona de estudio.

Las condiciones de régimen de modelación, según el modelo, se adoptan generalmente en condiciones de carga en equilibrio, siendo referente a un análisis geomorfológico de cauces, los cuales presentan características de erosión y depositación de sedimentos desde la parte alta del cauce hasta la zona media o baja del mismo, o se pueden adoptar configuraciones más avanzadas según los requerimientos de visualización, principalmente, si se desea evaluar elementos sobre el cauce como puentes, pilas o estribos.

### Plan de corrida

Finalmente, después de haber ingresado la información correspondiente, se genera un plan con el fin de correr la simulación y visualizar los resultados, en este caso la salida de datos se debe precisar cómo nivel 6, puesto que este carácter permite visualizar la información respecto a sedimentos y el transporte del mismo, como también el cambio en el lecho del canal; una vez el programa

corra completamente y a satisfacción, está listo para la interpretación y análisis de los resultados.

### Resultados y Análisis

En los procesos de modelación de la erosión general sobre el cauce es necesario vincular las principales características de los sedimentos, en cuanto a tamaño y la forma de transporte para cada tramo, puesto que este ítem es fundamental para el presente estudio.

El análisis de los sedimentos se lleva a cabo mediante un estudio granulométrico desarrollado en el laboratorio EAR, estudio de suelos, construcción e ingeniería de la ciudad de Pasto; del cual se tienen los resultados de tamaño de partícula y se determina el porcentaje de las fracciones presentes en la muestra (637.4 g) (ver Tabla1).

Tabla 1. Análisis granulométrico

Peso inicial			637,4 g	
Tamíz	Apertura	Tipo	%retenido	%que pasa
6"	152,40	LC	0,00	100,00
5"	127,00	SC	0,00	100,00
4"	101,60	SC	0,00	100,00
3"	75,00	SC	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	VCG	0,00	100,00
2"	50,00	VCG	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	VCG	0,00	100,00
1"	25,00	CG	0,00	100,00
3/4"	19,00	CG	0,00	100,00
1/2"	12,50	MG	0,00	100,00
3/8"	9,50	MG	0,00	100,00
N°4	4,75	FG	0,00	100,00
N°10	2,00	VFG	1,1	98,9
N°40	0,43	MS	2,5	96,4
N°200	0,08	VFS	33,6	62,8
PN°200			62,8	0,00

Según la caracterización del tipo de materiales presentes en el lecho, Hec Ras propone una tabla resumen donde se identifica los límites entre los diámetros de cada clase, empleando para la modelación de sedimentos la opción de % de finos, el cual hace referencia a la curva de gradación acumulativa con el porcentaje de finos asociados con la media geométrica de cada clase de grano. El diámetro establecido para cada clase es el límite superior de dicha clase, los valores se ingresan en porcentaje, asociado al porcentaje que pasa sobre el tamiz. De la muestra analizada se determinaron las siguientes clases de grano.

Tabla 2. Tipo de materiales

Nombre	Traducción	Siglas	Diámetro (mm)
Large Cobbles	Adoquines grandes	LC	181
Small Cobbles	Adoquines pequeños	SC	90.5
Very coarsel Gravel	Grava muy gruesa	VCG	45.3
Coarsel Gravel	Grava gruesa	CG	22.6
Medium Gravel	Grava media	MG	11.3
Fine Gravel	Grava Fina	FG	5.66
Very fine Gravel	Grava muy fina	VFG	2.83
Medium Sand	Arena media	MS	0.354
Very fine Sand	Arena muy fina	VFS	0.088

Finalmente, se puede determinar de manera cuantitativa y cualitativa la erosión general presente en la zona de Meandro sector Morasurco cuenca media del río Pasto, complementando con la estimación de los valores de depositación que se han presentado.

### Variación del fondo de canal

**Variación del lecho del canal para periodo de retorno de 1.5 años.** Con la simulación de un flujo constante de 35m<sup>3</sup>/s, se puede identificar que el canal ha sufrido un proceso de erosión notoriamente, puesto que el nivel del lecho, después de haber transcurrido 24 horas de flujo, está por debajo de la cota inicial con una variación de 3.5 metros en la zona más crítica, correspondiente a la sección 20 (ver Figura 2) y de 0.001 m para la sección 140 (ver Figura 3), que fue la que presentó menor variación en todos los procesos de simulación; las mediciones se realizaron en los puntos más bajos del canal, antes del transcurso del flujo y después de haberse presentado el evento.

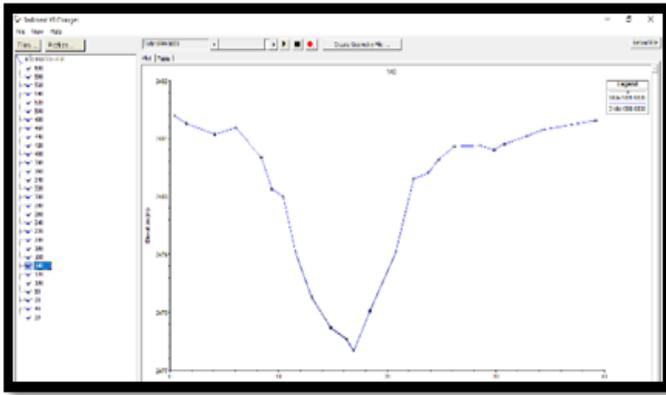


Figura 2. Sección 20.

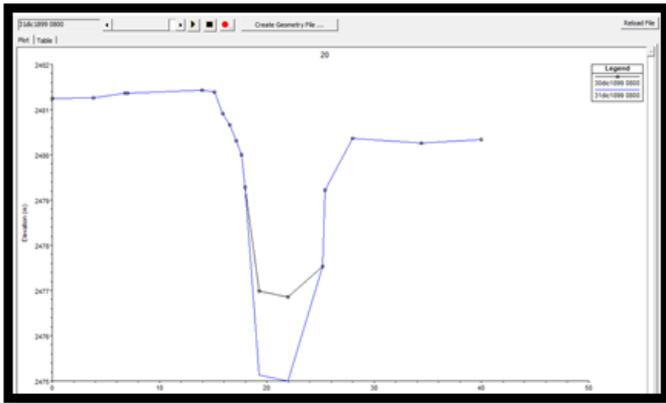


Figura 3. Sección 140.

**Variación del lecho del canal para periodo de retorno de 5 años.** El caudal asociado a este periodo de retorno es de  $61 \text{ m}^3/\text{s}$ , bajo estas condiciones es posible apreciar que el canal ha sufrido alteraciones en su condición geométrica, que corresponde a fenómeno de erosión entre las secciones 20 hasta la 120; debido a que el nivel en el fondo del canal se encuentra por debajo después de haber transcurrido 24 horas de flujo. La variación del fondo del canal sucede con valores que oscilan entre los 5.24 m en el punto más crítico de erosión, correspondiente a la sección 20, hasta un valor de 0.03 m en la zona de menor influencia del fenómeno para este proceso de simulación; por su parte, los valores de depositación corresponden a 0.106, 0.752 y 1.374 m para las secciones 140, 160 y 180 respectivamente., evidenciado en la Figura 4.

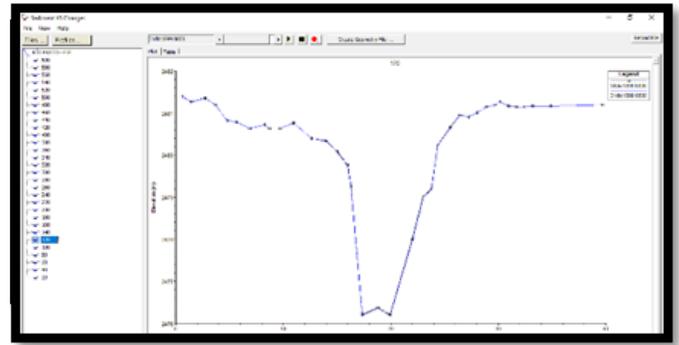


Figura 4. Sección 20 y sección 120.

**Variación del lecho del canal para periodo de retorno de 8 años.** El último proceso simulado corresponde a un tiempo de retorno de 8 años, para el cual el flujo toma un valor proyectado de  $65.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; en este caso, el fenómeno de erosión se representó en las primeras secciones de análisis identificadas entre las secciones 20 y 140. Los valores pico de erosión en esta simulación se representan en las secciones 200 y 120 con valores máximo y mínimo respectivamente, con una longitud de profundización sobre el canal de 5.572 m y 0.032 m en el mismo orden; y por su parte, la depositación toma valores de 0.149, 0.847 y .276 para las secciones 140, 160 y 180 (ver Figura 5)

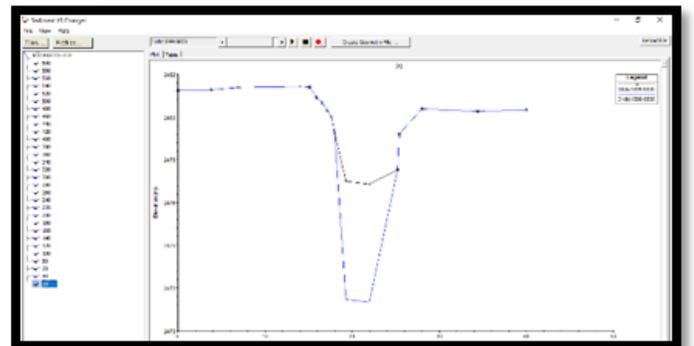
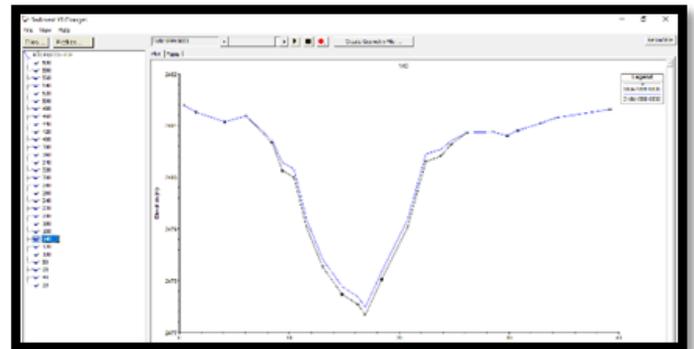


Figura 5. Sección 20 y sección 140.

En síntesis de la información presentada en cuanto a la variación del fondo del canal, se evidenció que se presentan mayores valores en la magnitud de profundización para el periodo de retorno de 8 años, cuyo caudal es de  $65.5 \text{ m}^3/\text{s}$  con un valor total de profundización sobre el canal de 5.5 m; de igual forma, los procesos de deposición se ven favorecidos en cuanto incrementan los valores de flujo, presentando para el periodo de retorno de 8 años altura de deposición sobre el lecho del canal en el punto más crítico de 1.276 m.

### **Determinación de la erosión general**

#### **Erosión general para un periodo de retorno de 1.5 años.**

La sección 40 resulta ser la sección más erosionada con un valor total en toneladas de 248.8 de material removido, alcanzando un descenso en el fondo del canal de 3.507 metros tras haberse presentado un flujo constante de  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  por un periodo de 24 horas.

Del total de la erosión, 52 toneladas corresponden a arenas finas y 50 toneladas corresponden a arenas medias; sumando entre las dos clases un total de 102 toneladas, lo cual se traduce en un 41 % del total de material removido, el otro 59 % está distribuido entre las 10 clases de materiales restantes.

#### **Erosión general para un periodo de retorno de 5 años.**

La sección 40 es la sección en la cual se encuentran los mayores valores de erosión general en el fondo del canal con un valor de material removido de 201 toneladas de sedimentos, conformado principalmente por un total de 41.5 toneladas de arenas finas y 50.5 toneladas de arenas medias, completando entre las dos clases 92 toneladas, equivalentes a un 46 % del total de material distribuido en las clases pertinentes; alcanzando un descenso en el lecho del canal de 5.24 metros, para un flujo constante por 24 horas de magnitud  $61 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### **Erosión general para un periodo de retorno de 8 años.**

La sección 40 resulta ser la sección con más alteración en las condiciones geométricas del canal con un total de material removido de 210 toneladas, lo cual representa una variación en el fondo del canal de 5.572 metros.

De la erosión correspondiente a esta sección, 44 toneladas corresponden arenas finas (FS) y 54 corresponden a

arenas medias (MS), si se suma estos dos valores se tiene un total de 98 toneladas, equivalente a un 47 % del total de material removido en la sección transversal.

### **Discusión**

Los resultados, respecto a las condiciones hidráulicas de la zona, permiten justificar las altas tasas de erosión y alteración en gran medida de la geometría del cauce; según el estudio realizado por Acosta (2016), quien afirma que "la naturaleza y extensión [de procesos de erosión] depende de la energía cinética de la corriente, y ésta, a su vez, depende de la cantidad de agua, de la forma y tipo de cauce y del gradiente de la corriente" (p. 31).

Al respecto, en la zona de estudio se identificó que existe una relación de erosión/depositación de 14.1:1; lo cual significa que por cada 14.1 toneladas de material erosionadas en secciones transversales aguas arriba, 1 de ellas es depositada aguas abajo; con un total de material erosionado para un periodo de retorno de 1.5 años de 647.3 toneladas, mientras que existe una depositación de 46.04 toneladas para la misma simulación.

De ello, 137.9 toneladas corresponde a arenas finas (FS) y 138.4 toneladas corresponden a arenas de tamaño medio (MS); mientras que 371 toneladas del material erosionado se distribuyen entre las 10 clases diferentes de materiales identificados en la granulometría. Por su parte, la depositación presenta unas tasas que corresponden a 6.5 toneladas para arenas muy finas (VFS), 4.01 toneladas corresponde a arenas finas (FS) y 17.83 toneladas de arenas de tamaño medio (MS), mientras que 17.65 toneladas están distribuidas igualmente entre las 10 clases de sedimentos restantes.

Lo anterior se fundamenta en el estudio realizado por González y García (1995), quienes identificaron que el perfil longitudinal de un río presenta alteraciones principalmente por erosión y sedimentación, disminuyendo desde las zonas de máxima erosión (zona cóncava) en la parte alta del río a las de depositación en la parte baja (zona convexa).

Adicional a ello, "la realidad actual hace que las características de las concentraciones de sedimento en

los ríos dependan, casi exclusivamente, de las actividades humanas (manejo de la tierra) a nivel de cuencas hidrográficas” (García-Chevesich, 2010, p. 18).

Finalmente, y como síntesis de la información presentada respecto a los procesos de erosión presentes en la zona de Meandro sector Morasurco cuenca media de río Pasto, se aborda la caracterización para la descripción de la degradación de suelos y niveles de intensidad por erosión hídrica propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), con el fin de puntualizar, según estándares normativos, las condiciones en que se encuentra el cauce.

En cumplimiento a ello, la caracterización parte en la determinación de un cauce con evidente erosión hídrica y depositación, como se ha expresado en apartados anteriores, con un total de área afectada por procesos de erosión y depositación del 100 %, puesto que ninguna sección en el tramo analizado presenta un equilibrio total frente a los procesos con grado de erosión moderado, caracterizado por la evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo.

Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas (este último se evidencia en la zona de estudio, puesto que existe algunas zonas donde anteriormente existía vegetación riberena y producto de una crecida esta zona fue destruida) y, según el periodo de actividad de la erosión, se cataloga como activa actualmente, ya que es notorio el continuo proceso de erosión en el cauce.

### Conclusiones

En la presente investigación se puede identificar que los procesos de erosión a los que se encuentra sometido, principalmente el lecho del canal, es superior al 20 % de la lámina del flujo, para un caudal de diseño de  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondiente a un periodo de retorno de 1.5 años.

Los procesos de erosión general sobre cauces naturales están en constante representación, por lo cual, el estudio, obedeciendo a la metodología propuesta, lo evalúa en función de flujos con periodos de retorno bajos, pero con alta probabilidad de ocurrencia, puesto que el fenómeno no es atribuible únicamente a eventualidades de crecida con altas tasas de caudal.

La selección del modelo para la simulación de la erosión general resulta un ítem muy importante, ya que este debe contar con la facilidad de ajuste de la información con la que se cuente, incluyendo el mayor número de variables que permitan representar, en la mejor manera posible, las condiciones de la cuenca de estudio y el objetivo para el cual se desarrolla la simulación, por ello, es pertinente, además de la caracterización geomorfológica e hidrodinámica, estudiar a profundidad la vegetación, las variables meteorológicas como es el caso del viento que puede tener influencia en los resultados, tasas de evapotranspiración e incluso estudios edafológicos que pueden ayudar a comprender la dinámica que presenta el lecho con el flujo del cauce y puede ser influente también en la alteración de las características geométricas del cauce.

### Referencias

- Acosta, D. (2016). *Evaluación del impacto ambiental sobre morfología del cauce del río Porce, por retención de sedimentos en los embalses Porce II y Porce III, en el tramo comprendido entre el sitio de presa y el río Nechí* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1404&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1404&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Barbosa, S. (2013). *Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/19485255.pdf>
- García-Chevesich, P. (2010). Factores que afectan la erosión y la sedimentación. En J. Brea y F. Balochi (Eds.), *Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas* (Vol. I) (pp. 9-21). Unesco.
- González, M. y García, J. (1995). Restauración de ríos y riveras. Universidad Politécnica de Madrid.
- Toapaxi, J., Galiano, L., Castro, M., Hidalgo, X. y Valencia, N. (2015). Análisis de la sacavación en cauces naturales. *Revista politécnica*, 35(3), 1-11.