

## CORRELACIÓN ENTRE LA CARGA SEDIMENTOLÓGICA DEL RÍO CAUCA (COLOMBIA) Y PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE SU CUENCA

Otoniel Niño P. - I.C., M.Sc. y Carlos Eduardo Cubillos P. - I.C., M.Sc.

Egresado Maestría en Ingeniería – Recursos Hidráulicos, Docente Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola  
Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá, Colombia.  
E-mail: oninop@unal.edu.co, cecubillos@unal.edu.co

La erosión superficial es un proceso natural permanente y continuo que forma parte del ciclo geomorfológico y por tanto es responsable de la modelación de las formas del paisaje superficial. Por su parte, las actividades antrópicas han exacerbado la dinámica propia de dicho proceso generando la disminución de productividad de los suelos cultivables debido a la pérdida de materia orgánica y el aumento de sedimentos en suspensión en los cursos de agua, todo lo cual tiene influencia directa en el desarrollo sustentable de las comunidades y, por tanto, resulta pertinente tener indicios de la magnitud de los procesos erosivos que tienen lugar en una zona determinada.

Actualmente existen metodologías que permiten estimar la cantidad de material erosionado en una cuenca de drenaje, obteniéndose los mejores resultados con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo -USLE- formulada por Wischmeier & Smith. La principal limitación que se identifica al momento de implementar esta metodología, es que se requiere de abundante y costosa información de terreno, para la cual se debe contar con una adecuada instrumentación. En el caso de modelos más simples, éstos han sido desarrollados para condiciones climáticas, geológicas y morfológicas particulares, situación que dificulta su aplicabilidad en regiones de características diferentes.

Como es bien sabido, los procesos de erosión – transporte – depositación en una cuenca hidrográfica explican en gran medida los rasgos morfológicos del paisaje en los terrenos allí incluidos, así que, ha de ser posible establecer relaciones entre las características morfológicas del paisaje en la cuenca con su producción de erosión, la cual, además, es resultado de las características hidrológicas, geológicas, topográficas y de cobertura vegetal de la zona.

Considerando, por otra parte, que la magnitud promedio anual de los sedimentos transportados en suspensión por un cauce en una sección determinada (carga sedimentológica de lavado, principalmente), debe corresponder con el estimativo de la erosión hídrica agregada a lo largo y ancho de la cuenca, también a nivel promedio anual, afectado por un coeficiente de entrega (que considere los procesos sucesivos de transporte y depositación de las partículas erosionadas); habrá de ser posible, entonces, encontrar correlaciones entre las características citadas de la cuenca y la producción de sedimentos estimada a partir de las mediciones sedimentológicas detalladas en el cauce, en la sección situada en el punto de concentración de la correspondiente cuenca.

Teniendo en cuenta que la determinación de las tasa de erosión en una cuenca extensa es un proceso costoso y de alto consumo de tiempo, y que las mediciones sedimentológicas en los cauces sólo se realizan en cuencas de gran tamaño e importancia, y por tanto, su disponibilidad es escasa; resulta de interés poder estimar la producción de sedimentos en sitios no instrumentados, a partir de los rasgos morfológicos del paisaje, las características de los suelos y de la cobertura vegetal de la cuenca, información ésta de más fácil acceso y consecución.

En consecuencia, para poder establecer herramientas que permitan estimar la producción de sedimentos a partir de la información extensiva de la cuenca, se hace necesario realizar

análisis simultáneos y conjuntos de registros sedimentológicos en cauces instrumentados, y de las características morfométricas, edafológicas, topográficas, de cobertura vegetal e hidrológicas en las cuencas correspondientes, situadas en localidades con suficiente información, para establecer así la posibilidad de identificar correlaciones útiles al propósito de estimar dicha producción de sedimentos a partir de información secundaria de la cuenca de relativa facilidad de consecución, para su aplicación en cauces no instrumentados, cuya estimación sea necesaria para la toma de decisiones en proyectos ambientales y de control fluvial.

Es con base en lo anterior, que en la presente ponencia se muestran correlaciones matemáticas obtenidas entre la producción de sedimentos estimada a partir de mediciones sedimentológicas realizadas en estaciones de aforo localizadas en el río Cauca y en algunos de sus tributarios, con variables que describen aspectos fisiográficos, morfológicos, de cobertura y uso del suelo, geológicos e hidrológicos, cuantificadas para sus respectivas cuencas de drenaje. El procedimiento realizado implicó ir descartando variables no significativas, hasta identificar aquellas que mostraron una mayor correlación con la producción de sedimentos, hasta llegar a identificar una ecuación para realizar estimaciones de la producción de sedimentos (cargas de lavado) en la zona de estudio.

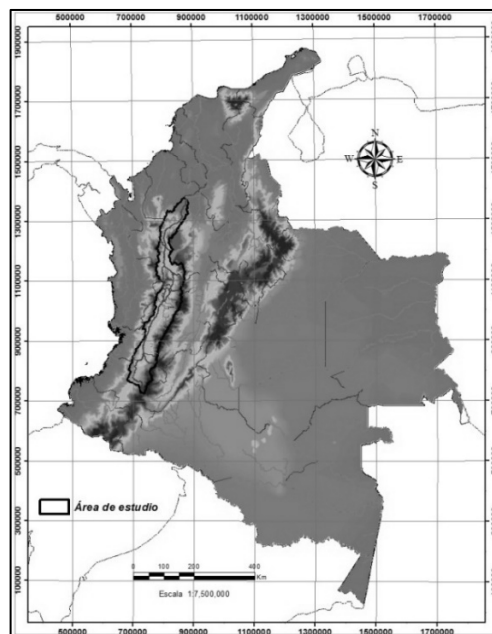


Figura 1.- Localización general área de estudio.

### Área de estudio

El área de estudio correspondió a la cuenca del río Cauca, principal afluente del río Magdalena en Colombia (ver Figura 1 y Figura 2), la cual cuenta con un área de drenaje de aproximadamente 41.000 km<sup>2</sup> y una longitud de cauce principal de 915 kilómetros, cauce éste que discurre entre las cordilleras central y occidental en sentido sur – norte. Esta cuenca hidrográfica reviste gran importancia en el contexto nacional, puesto que en ella se desarrolla la industria azucarera, gran parte

de la zona cafetera, zonas de desarrollo minero y agropecuario, y un sector significativo de la industria manufacturera del occidente colombiano, además de contar con una concentración importante de la población Colombiana.

Para el desarrollo del estudio, se seleccionaron y caracterizaron 16 cuencas definidas según la localización de las estaciones hidrométricas, nueve de ellas localizadas en el propio cauce del río Cauca, y las siete restantes en cauces tributarios de segundo orden como se muestra en la figura 2; dichas cuencas se seleccionaron gracias a que cuentan con adecuada disponibilidad de información hidrosedimentológica.

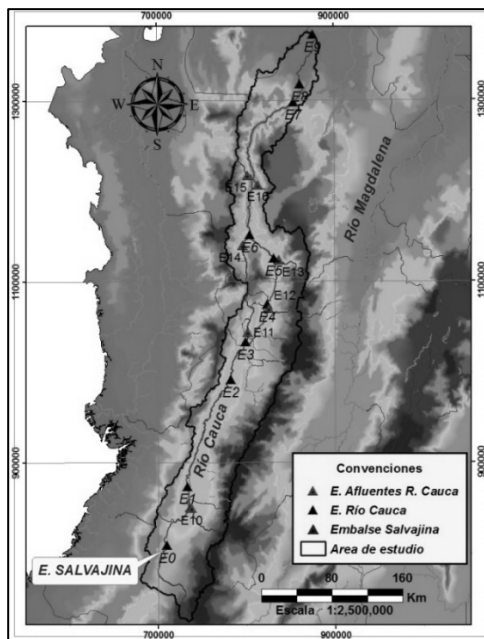


Figura 2.- Detalle área de estudio.

## VARIABLES ANALIZADAS

Para el desarrollo del presente análisis, a cada una de las cuencas seleccionadas se les cuantificó cuarenta parámetros y variables, que, de acuerdo con la literatura, pueden estar relacionados con los procesos de producción y transporte de sedimentos, agrupados de la siguiente manera: quince parámetros morfométricos, nueve parámetros morfológicos, cinco parámetros representativos de la cobertura y uso del suelo, dos parámetros geológicos, y nueve variables hidrológicas, así:

**Parámetros morfométricos:** Área de la cuenca ( $\text{km}^2$ ); Perímetro de la cuenca (km); Elevación media de la cuenca (msnm); Desnivel altitudinal (m); Longitud cauce principal (km); Longitud de la cuenca (km); Ancho promedio de la cuenca (km); Coeficiente de compacidad (adimensional); Factor de Forma (adimensional); Relación de Elongación (adimensional); Índice de Alargamiento (adimensional); Coeficiente de Torrencialidad (adimensional); Longitud promedio del flujo superficial (km); Longitud de la red hídrica (km).

**Parámetros morfológicos:** Pendiente promedio de cuenca (ladera) (%); Orden de la red hídrica (adimensional); Integral curva hipsométrica (adimensional); Densidad de drenaje ( $\text{km}^{-1}$ ); Relación de bifurcación (adimensional); Relación de longitud (adimensional); Relación de relieve (adimensional); Coeficiente de masividad (adimensional); Índice topográfico (adimensional).

**Parámetros de cobertura y uso de suelo:** Número de curva del Soil Conservation Service (adimensional); Porcentaje de área de bosques y parcialmente intervenida (%); Porcentaje de área agrícola (%); Factor de cobertura (valores adimensionales según metodología de Gavrilovic); Factor de cobertura (valores adimensionales según metodología de Miraki).

**Parámetros Geológicos:** Factor de erodabilidad promedio (valores adimensionales según metodología de Gavrilovic); Factor geológico promedio (valores adimensionales adoptados).

**Variables hidrológicas:** Precipitación media anual multianual en la cuenca de drenaje (mm/año); Caudal medio anual multianual  $Q_{MAM}$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ); Caudales para periodos de retorno 2.33 años  $Q_{TR2.33}$ , 5 años  $Q_{TR5}$ , 10 años  $Q_{TR10}$  y 75 años  $Q_{TR75}$ ; Rendimiento hídrico  $R_h$  ( $\text{l/s}/\text{km}^2$ ); Relación de caudales  $Q_{TR2.33}/Q_{MAM}$ ; Relación de caudales  $Q_{TR5}/Q_{TR2.33}$ ; Relación de caudales  $Q_{TR10}/Q_{TR2.33}$ ; Relación de caudales  $Q_{TR75}/Q_{TR2.33}$ , y Coeficiente de Entrega KSDR (Adimensional).

La estimación de los parámetros morfométricos se hizo a partir de modelos digitales de elevación SRTM (90 m x 90 m); y los valores de precipitación se obtuvieron con la ayuda del software Hidro-SIG V4.0, a partir de mapas con información de la distribución espacial de la precipitación promedio anual de Colombia (Vélez & Poveda et al, 2008) elaborados con una resolución espacial de 2' arco (3,7 km aproximadamente). Los parámetros de cobertura y uso de suelo se calcularon a partir del Mapa de Cobertura de la Tierra para la Cuenca Magdalena-Cauca a escala 1:100.000, elaborado por IDEAM; el coeficiente de erosión de Gavrilovic se estimó a partir del mapa de erosión elaborado para el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2010) a escala 1:100.000, asociando la intensidad de los procesos erosivos reportados a los coeficientes promedio definidos en dicha metodología. Por su parte, para el cálculo de las cargas promedio anual multianual de sedimentos transportados (producción media de sedimentos Ton/año) en cada una de las estaciones evaluadas, se utilizaron registros de caudales líquidos para el periodo 1972 – 2011 y datos de aforos sólidos.

## Resultados

La evaluación de las correlaciones establecidas para el área de estudio, condujo a un conjunto de cuatro ecuaciones que permiten realizar estimaciones de la producción de sedimentos en las cuencas; dos de ellas cuantificada en términos de tasa de transporte -Ps-, y las otras dos en términos de rendimiento sólido -Rs-, obteniendo valores de coeficiente de determinación corregido superiores a 0.82, lo cual se considera adecuado en el ámbito sedimentológico, dada la complejidad de los fenómenos involucrados. Con dichas ecuaciones, que han sido convenientemente validadas, es posible realizar estimaciones de las tasas de producción de sedimentos en cuencas localizadas dentro del área de investigación, y es posible hacer estimativos confiables de producción de sedimentos (carga de lavado) en términos promedio anual multianual, en zonas de la región sin registros de medición.

Resultado del análisis se concluyó, que las variables que mostraron mayor grado de correlación con la carga sedimentológica de lavado anual para las subcuencas estudiadas fueron las siguientes: Área de drenaje, Factor de forma, Coeficiente de torrencialidad, Longitud promedio de flujo superficial, Pendiente promedio de la cuenca, Relación de relieve, Porcentaje de área de bosques naturales y parcialmente intervenidos, Porcentaje de área con uso agrícola, Factor de cobertura vegetal; Precipitación media anual multianual, Rendimiento hídrico; Relación de caudales medio anual multianual y Creciente promedio anual; y un coeficiente de entrega de sedimentos en el punto de concentración de la cuenca, variables éstas que incluyen una amplia gama de características locales hidrológicas y del territorio.

## Referencias bibliográficas

IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C.

Niño, O., (2015) "Identificación de correlaciones entre la carga de lavado y algunos parámetros geomorfológicos y de uso de suelo en la cuenca del río Cauca" *Trabajo final de maestría*, Bogotá D.C.