

## Variación Paisajística Debido a la Dinámica del Transporte de Sedimentos en el Río Lumbaqui, Ecuador

### Landscape Variation Due to the Dynamics of Sediment Transport in the Lumbaqui River, Ecuador

<sup>1</sup> Juan Pablo Morales Corozo

<sup>1</sup> Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. Barinas – Venezuela.  
E-mail: j.p.shevarajo@gmail.com

ISSN: 2661-6998



Fecha de recepción: 01-02-2024  
Fecha de aceptación: 20-09-2024

#### Resumen

La expansión urbana global plantea desafíos significativos, especialmente en áreas ribereñas como el río Lumbaqui, donde la urbanización causa una degradación considerable. Las precipitaciones intensas aumentan la erosión y el transporte de sedimentos, generando problemas ambientales y paisajísticos de gran alcance. Esta investigación tiene como objetivo principal profundizar en la comprensión de los riesgos asociados al transporte de sedimentos en el río Lumbaqui y los impactos ambientales derivados de una gestión deficiente del suelo en áreas de interés hídrico. A pesar de que el río es un destino recreativo popular debido a la calidad de su agua, la acumulación de sedimentos afecta su atractivo paisajístico y puede reducir la afluencia de visitantes, alterando el ecosistema y la biodiversidad local.

**Palabras clave:** Expansión urbana, sedimentos, río Lumbaqui, degradación, gestión del suelo

#### Abstract

Global urban expansion poses significant challenges, especially in riparian areas like the Lumbaqui River, where urbanization causes considerable degradation. Intense precipitation exacerbates erosion and sediment transport, leading to widespread environmental and landscape issues. This research aims to deepen understanding of the risks associated with sediment transport in the Lumbaqui River, and the environmental impacts resulting from poor soil management in water-sensitive areas. Despite being a popular recreational destination due to its water quality, sediment accumulation affects its scenic appeal and may reduce visitor influx, altering the local ecosystem and biodiversity.

**Keywords:** Urban expansion, sediments, Lumbaqui River, degradation, soil management.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el estudio de la degradación del suelo en las riberas de los ríos ha emergido como un desafío de gran magnitud para la conservación ambiental. Esta problemática es crucial tanto en la prevención como en la mitigación de inundaciones y otros eventos peligrosos. La principal causa de esta degradación radica en el manejo inadecuado de las superficies donde se realizan conversiones de uso de suelo, lo que debilita la cobertura vegetal y provoca la erosión del suelo, generando sedimentos y afectando la calidad del agua.

Los sedimentos fluviales desempeñan un papel esencial en los ecosistemas acuáticos, siendo vitales para la estabilidad de los cuerpos de agua y los sistemas ribereños, como se ha señalado en la literatura científica [1]. Sin embargo, la degradación del suelo causada por actividades humanas genera una cantidad considerable de sedimentos que llegan a los ríos y, arrastrados por la corriente, se depositan en puntos donde se acumulan, formando lo que se conoce como depósitos de sedimentos.

Hasta la fecha, la literatura científica no ha proporcionado una estimación clara de la cantidad de sedimentos transportados en los diferentes ríos del Ecuador. Además, aún no se han establecido alternativas efectivas para controlar estos procesos erosivos y la acumulación de sedimentos en los cursos de agua. Esta falta de evidencia y medidas preventivas adecuadas subraya la necesidad de una mayor investigación y acción en este campo crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la conservación del medio ambiente.

La investigación sobre el comportamiento hidráulico de los ríos en zonas urbanas es una preocupación constante en el ordenamiento territorial, debido a su impacto en la infraestructura cercana a las riberas. Para abordar esta problemática de manera efectiva, es esencial comprender cómo los cambios climáticos afectan el transporte de sedimentos. Esto requiere un análisis detallado de la variabilidad y las tendencias a lo largo del tiempo, lo que permite anticipar y mitigar los efectos de estos cambios en la infraestructura y en el entorno urbano. “Las series de tiempo de largo plazo son esenciales para entender la dinámica del transporte de sedimentos en suspensión a escala de cuenca y en la posterior estimación de los flujos de nutrientes y sustancias biogeoquímicas” [2]. El crecimiento del límite urbano en zonas periféricas en las riberas del río Lumbaquí sin duda genera varios problemas, especialmente en la acumulación de sedimentos en ciertos tramos donde ha dado origen a varios problemas ambientales. Hasta el momento el efecto del transporte de sedimentos en el río Lumbaquí

no ha sido investigado ni tomado en cuenta como un insumo referencial para establecer planes de manejo que permitan conservar las franjas de protección y evitar la degradación del suelo. En este trabajo se analiza el transporte de sedimentos en el río Lumbaquí, donde se pretende identificar los parámetros de variabilidad.

El agua en su cauce natural, comúnmente transporta material, bien sea en suspensión, cuando el diámetro de partícula es pequeño, haciendo que el agua se mantenga de manera turbia y las partículas de mayores tamaños se encuentran en la profundidad y son transportados rodando debido al movimiento del agua; o como sedimentos, que comprende aquel material sólido que se encuentra en la profundidad del río. Existen varios agentes dinámicos que actúan en los procesos de transporte de sedimentos los mismos que a la vez contribuyen en la variación paisajística de un ecosistema.

Las rocas se transforman a través de procesos físicos y químicos en el río, resultando en meteorización o intemperización, que ocurre por la desintegración física o mecánica. Los cambios físicos que generan la meteorización son las variaciones de temperaturas, donde se dan violentos cambios originando compresión y esfuerzos de tensión tangencial induciendo a la destrucción de la roca. Las raíces de árboles son otro agente físico que origina este fenómeno, al fracturar la roca se forman sedimentos. La meteorización química, sucede cuando la roca se fractura debido a variaciones por agentes químicos disueltos en el agua los cuales son absorbidos a tal punto de variar las estructuras y formar sedimentos, los agentes químicos son: el dióxido de carbono, y los ácidos orgánicos disueltos debido a la descomposición de materia orgánica.

Las condiciones climáticas toman un papel esencial en una microcuenca, determinando los procesos predominantes en la formación de sedimentos y la rapidez como estos se dan. “La acción conjunta de meteorización de roca y erosión se denomina denudación y es la responsable de modelar el paisaje” [3]. La desintegración tanto química como mecánica genera una variedad de depósitos sedimentarios los cuales se acumulan en zonas distantes del sitio de origen debido a algunos agentes de transporte como son: agua, gravedad y viento.

Los tipos de depósitos sedimentarios pueden ser coluviales cuando “están formados por material detrítico que cae por acción de la gravedad y se acumula formando taludes y conos de derrubios al pie de laderas” [3]. Los depósitos aluviales “son formados por los materiales detríticos transportados por el agua y depositados debido a la pérdida de competencia de flujo (disminución de velocidad)” [3]. Los depósitos de sedimentos eólicos

comprenden los transportados por la velocidad del viento. Los depósitos de sedimentos glaciares son aquellos donde los “materiales transportados por el hielo se denominan derrubios glaciares, cuyos tamaños pueden ser de orden del milímetro, hasta grandes bloques de decenas de metros” [3].

A lo largo del año, los caudales de los ríos experimentan variaciones significativas, lo que lleva a clasificarlos en diferentes categorías según su comportamiento hidrológico. Los ríos perennes o permanentes son aquellos que, incluso durante la temporada de sequía, mantienen un flujo de agua constante, lo que los distingue de otros cursos de agua. Estos ríos suelen encontrarse en regiones con alta humedad relativa, que oscila entre el 80 % y el 90 %, lo que garantiza un suministro continuo de agua. Por otro lado, los ríos intermitentes exhiben un patrón de flujo más variable, con caudales que aumentan considerablemente durante las temporadas de lluvias y disminuyen drásticamente durante la estación seca. Estos ríos son comunes en regiones semiáridas donde las precipitaciones son estacionales. Finalmente, los ríos efímeros son característicos de áreas con climas extremadamente áridos, donde las lluvias son escasas y erráticas. Estos ríos experimentan caudales significativos, solo durante periodos de lluvias intensas, mientras que el resto del tiempo, permanecen secos o con un flujo mínimo. Esta diversidad en el comportamiento hidrológico de los ríos tiene importantes implicaciones para la gestión del agua, la planificación de recursos y la conservación del medio ambiente en diferentes regiones del mundo.

De acuerdo al patrón morfológico de los cauces en planta existen dos tipos de ríos: rectos, son cauces que no presentan variaciones dentro de su cauce, pueden encontrarse en las zonas de alta montaña es decir en las cabeceras; y, meándricos, son cauces con una forma sinuosa, “en los tramos curvos la fuerza centrífuga origina una pendiente transversal de la superficie del agua y un flujo helicoidal” [3].

En los cauces meándricos ocurren varios tipos de depósitos sedimentarios: los depósitos sedimentarios de barras puntuales, caracterizados por una reducción de la granulometría de los sedimentos y generalmente se dan en la parte curva del cauce; los depósitos de albardones, que se caracterizan por tener una granulometría más gruesa y “se originan a partir de los sedimentos más gruesos del transporte en suspensión, los cuales se depositan en las adyacencias de la margen durante los desbordes del cauce” [3]. Los depósitos de llanuras de inundación, “se encuentran en las zonas más alejadas del cauce” [3]. Estos cauces tienen una granulometría más fina debido a que los materiales han sido transportados

en suspensión y se han acumulado en las planicies. Los depósitos de lóbulos de derrame, “se producen por la rotura de los albardones durante las crecidas” [3]. En este tipo de cauces, los sedimentos tienden a acumularse en las zonas adyacentes a las irregularidades del lecho fluvial, como cavidades o áreas donde el flujo es más turbulento. Por último, tenemos los depósitos de cauce abandonado, que “dependen del mecanismo mediante el cual se produce la rectificación del meandro” [3].

Los procesos de transferencia de sedimentos comprenden procesos continuos y son originados por algunas variables como la litología, edafología, hidroclimas y la vegetación, pero las que causan mayor acumulación de sedimentos son las actividades antrópicas. De acuerdo a [4], dentro de los procesos ecológicos, los sedimentos fluviales forman un papel muy significativo en cuanto al comportamiento morfológico el cual puede originar impactos muy significativos al ambiente alterando los ecosistemas. Los principales problemas ambientales que ocasionan los cambios en el comportamiento dinámico de los sedimentos en los ríos son el incremento de la turbiedad que reduce la captación de luz solar de las plantas disminuyendo las especies vegetativas, alterándose los ciclos biogeoquímicos especialmente de nitrógeno y fósforo; de acuerdo a [5], los sedimentos generan la eutrofización por la acumulación considerable de nutrientes especialmente en los sectores más profundos de los ríos infiriendo en la fertilidad orgánica del sistema, y alteración de las comunidades de la hidrobiota, perturbando las condiciones de equilibrio debido a la intensidad y complejidad de los eventos geobiohidrológicos. El escurrimiento de nutrientes y material de los suelos degradados, influyen en variaciones de las condiciones de la calidad del agua, dando fenómenos de eutrofización y con ello, el excesivo crecimiento de algas genera residuos orgánicos que consumen el oxígeno disuelto, afectando considerablemente a la fauna acuática.

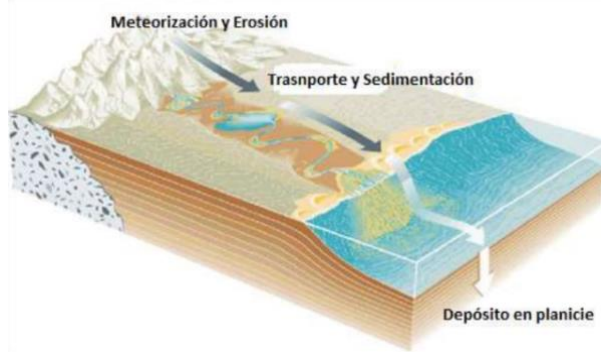
Las condiciones del entorno influyen en la generación de las olas en los ríos y se proyectan hasta el fondo, jugando un papel fundamental en el transporte de sedimentos; al disminuir la profundidad, disminuyen los procesos de arqueamiento y rotura. “Para obtener una visión general de los efectos que tienen las ondas en el transporte de sedimentos, la interferencia entre las olas y el transporte de sedimentos a seguir” [6]. Las olas permiten la disposición de los sedimentos a través de la resuspensión en el fondo del río. Al elevarse la pluviosidad en temporada invernal estos forman corrientes adicionales que influyen en el transporte de sedimentos en dirección del flujo. La importancia de estos mecanismos depende de la ubicación, la profundidad y la ondulación. Los efectos de las olas interactúan con corrientes inusuales,

influyendo en las corrientes de los ríos y, por ende, en el transporte de sedimentos.

El deterioro de los ecosistemas en los ríos de la amazonia ecuatoriana se genera debido a fenómenos naturales y antrópicos, los cuales dan como resultado la excesiva sedimentación, las variaciones climáticas, la acumulación de los desechos sólidos en las riberas de los ríos. Los cambios de los ciclos bioenergéticos debido a la extracción de los recursos y sobreutilización de los servicios ecosistémicos, presentan alteraciones en las propiedades naturales de las microcuencas.

La actividad antrópica es uno de los factores detonantes para el incremento de la severidad y frecuencia con la cual se dan los eventos peligrosos; como manifiesta [7], hay fenómenos naturales sin una variación de condiciones de la dinámica social de desarrollo. El efecto del transporte de sedimentos en ríos y sus impactos han sido estudiados en detalle debido a la discontinuidad con la cual se desarrollan los procesos, existiendo periodos de almacenamiento, sedimentación y arrastre dependiendo de las variaciones de clima, precipitación y actividad humana. Varias son las aristas a considerar en el estudio de transporte de sedimentos. La primera, busca la determinación de las variables relacionadas con el transporte de sedimentos. La segunda, relacionada a las variaciones con el tiempo y la proyección futura. La tercera, relacionada con la evaluación de vulnerabilidad y variación de los servicios ecosistémicos.

Figura 1: Descripción del transporte de sedimento [8].



Los recientes desarrollos en el campo de la gestión ambiental y territorial en el cantón Gonzalo Pizarro han estimulado la necesidad de identificar el comportamiento dinámico de las condiciones socioeconómicas que se generan en los asentamientos humanos dentro de las riberas del río Lumbaquí, que sin duda, están causando grave efecto sobre el ecosistema, el cual se está deteriorando de manera lenta. La falta de sistemas de alcantarillado sanitario ha permanecido como un problema en las viviendas ocasionando descargas directas. El efecto de los sedimentos en el río Lumbaquí no ha sido estudiado a detalle, por varios factores

institucionales dentro del gobierno municipal, principalmente la forma de encajar la gestión ambiental y riesgos de desastres con el plan de desarrollo y ordenamiento territorial; esto, debido a la inexistencia de instrumentos nacionales necesarios para realizar microzonificaciones de conservación en el sector urbano, a manera de prevenir la contaminación de los recursos. En los ríos, es necesario comprender el comportamiento del movimiento de los sedimentos y cuál es el causante del aquel fenómeno. “Se observa que cuando el agua fluye sobre un fondo fijo, actúan dos fuerzas que pueden provocar el movimiento de sedimentos. La partícula experimenta la fuerza de arrastre y la fuerza de elevación” [6]. El principal objetivo de esta investigación es desarrollar un mejor entendimiento acerca de los principales problemas que pueden acarrear el transporte de sedimentos en el río Lumbaquí, y los impactos ambientales y de riesgos que pueden ocasionar una mala práctica de uso y gestión de suelo en zonas de interés hídrico, debido a los servicios ecosistémicos y la variación paisajística.

## 2. DESARROLLO (MATERIALES Y MÉTODOS / METODOLOGÍA/ ETC)

El sitio de estudio es el río Lumbaquí, que se extiende a lo largo de 18 kilómetros y se encuentra en la zona urbana consolidada de la cabecera cantonal que lleva el mismo nombre. El análisis abarcó toda la extensión del río, proporcionando una visión integral de su comportamiento y condiciones a lo largo del recorrido, donde la dinámica social se ha ido transformando en los últimos años, a tal punto que se ha dado una pérdida de la cobertura vegetal de algunos sectores debido a la extensión del sector urbano, creándose conflictos de uso de suelo debido a la utilización de las riberas del río. Estas transformaciones han generado zonas periféricas donde se acumulan sedimentos. Durante la temporada invernal, estos sedimentos son arrastrados hacia las áreas más bajas, provocando cambios en los ecosistemas y ocasionando daños ambientales, sociales y económicos.

En la parroquia Lumbaquí del cantón Gonzalo Pizarro, las precipitaciones varían significativamente, con valores anuales que pueden superar los 3 500 mm y umbrales mensuales de 400 mm.

Hasta la fecha se han desarrollado e introducido varios métodos para determinar la capacidad de transporte de sedimentos, algunas basadas en consideraciones probabilísticas, otras en conceptos de potencia del flujo. Todos estos modelos matemáticos coinciden con la utilización de variables que toman en cuenta las características geomorfológicas e hidráulicas del cauce. “En contrapartida su precisión es inferior, por lo que se recomienda restringir su empleo a una primera evaluación del orden de magnitud del caudal sólido de fondo” [9].

El río Lumbaqui presenta pendientes de 0,20 % al 20 % por lo tanto la ecuación que se ajusta a las condiciones hidráulicas y geomorfológicas es la establecida por Smart y Jaeggi, (1983) la cual se describe a continuación:

$$C = \frac{4,0}{\left(\frac{\rho_s}{\rho}\right) - 1} * \left(\frac{d_{90}}{d_{30}}\right)^{0,20} * S^{1,6} \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau}\right)$$

Donde:

- $\rho_s$  Densidad de la partícula de sedimento
- $\rho$  Densidad del fluido
- $S$  Pendiente del ángulo que forma el lecho con la horizontal
- $\tau_c$  Tensión de corte crítica en el lecho
- $\tau$  Tensión de corte del lecho
- $d_{90}$  Diámetro intermedio de la partícula 90 % de la muestra inferior
- $d_{30}$  Diámetro intermedio de la partícula del 30 % de la muestra inferior

Considerando la metodología propuesta por [10] para la evaluación paisajística del río Lumbaqui, se llevaron a cabo mediciones en varios puntos específicos a lo largo de su curso, tanto en zonas elevadas como en zonas bajas. Esta evaluación se basó en tres variables principales: (a) concentración demográfica, (b) accesibilidad y (c) flujo de personas. La fragilidad del paisaje se define como la susceptibilidad de un espacio natural a cambiar cuando se implementa un uso o acción que altera sus condiciones normales, y se evaluó utilizando el método del valor de la fragilidad visual del punto. Este valor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$VF = \sum_{i=1}^n X_i * f$$

Donde:

- $f$  Factor biofísico del sector de estudio
- $X_i$  Proporción de factores considerados

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El río Lumbaqui, con una longitud de 18 kilómetros, constituye una vía fluvial vital que atraviesa la totalidad de la parroquia Lumbaqui. Para llevar a cabo una investigación exhaustiva, se procedió a seleccionar cuidadosamente diez puntos de muestreo dispersos a lo largo de su curso, con el objetivo de capturar una representación integral de las condiciones del río en diferentes segmentos. Esta selección se basó en consideraciones de accesibilidad, dada la topografía variada y, en ocasiones, abrupta del terreno, lo que planteaba desafíos logísticos para llevar a cabo los trabajos de campo de manera eficiente. La ubicación estratégica de estos puntos garantizó una cobertura geográfica adecuada y la captura de una variedad de características ambientales a lo largo del río. La Figura 2 proporciona una visualización detallada de la disposición

geográfica de los puntos de muestreo seleccionados, brindando una representación clara y completa de la distribución espacial de las ubicaciones de muestreo a lo largo del río Lumbaqui. Este enfoque meticuloso facilita una comprensión más profunda y holística del ecosistema fluvial en cuestión, lo que enriquece significativamente el análisis y las conclusiones de la investigación.

Figura 2 Ubicación de puntos de muestreo.



Tabla 1. Unidad de paisaje a partir de cobertura vegetal, morfología y su valoración.

PUNTO	COORDENADAS		Unidad de paisaje de la cobertura de vegetación	Textura	Estructura	Valor
	X	Y				
P 1	240243	10004611	Matorral nativo poliespecífico	Cubierta vegetal herbáceo	Capa no continua que no recubre el suelo	2
P 2	240360	10004815	Matorral nativo poliespecífico	Cubierta vegetal herbáceo	Capa no continua que no recubre el suelo	2
P 3	240464	10004838	Matorral nativo poliespecífico	Cubierta vegetal herbáceo	Capa no continua que no recubre el suelo	2
P 4	240476	10004920	Parques en pastizales naturales	Cubierta vegetal herbáceo	Capa no continua que no recubre el suelo	3
P 5	240377	10005031	Parques en pastizales naturales	Cubierta arbórea	Capa no continua que no recubre el suelo	3
P 6	240342	10005199	Parques en pastizales naturales	Cubierta arbórea	Capa continua que recubre todo el suelo	4
P 7	240395	10005345	Plantaciones monoespecíficas jóvenes	Cubierta arbórea	Capa continua que recubre todo el suelo	3
P 8	240494	10005491	Plantaciones monoespecíficas jóvenes	Cubierta arbórea	Capa continua que recubre todo el suelo	6
P 9	240511	10005689	Plantaciones monoespecíficas jóvenes	Cubierta arbórea	Capa continua que recubre todo el suelo	6

<b>P</b>						
<b>1</b>	240849	10005881	Plantaciones monoespecíficas jóvenes	Cubierta arbórea	Capa continua que recubre todo el suelo	6
<b>0</b>						

La tabla 1 proporciona una visión general de la cobertura vegetal de las riberas del río Lumbaquí donde la unidad de paisaje de la cobertura vegetal es en un sector matorral nativo poliespecífico y otra parte comprende parques de pastizales naturales y plantaciones monoespecíficas; la forma por lo general es ondulada y la cobertura es vegetal herbáceo. La estructura en su gran parte es una capa no continua que recubre el suelo por lo que se podría tener problemas de erosión en distintos sectores, a la vez causarían problemas paisajísticos en el sector, teniendo calificaciones de 2 a 6 siendo sin interés, pasable, agradable y grato, en este último se puede ver que los habitantes del sector acceden a realizar actividades de ocio y esparcimiento.

En el sector existen pendientes dentro del rango de 0 % a 55 %, donde existe una diversidad de estratos de vegetación donde existen más de tres. La altura de las especies arbóreas en su mayoría supera los 3 m. Se observó a lo largo de la recolección de los datos de campo en cada punto que existe un contraste cromático visual mediano con manchas policromáticas con pauta nítida.

**Tabla 2. Valor de fragilidad de paisaje.**

Factor	Xi	Valor	Total
Densidad de la vegetación	0,125	2	0,25
Diversidad de estratos de la vegetación	0,125	2	0,25
Estacionalidad de la vegetación	0,125	2	0,25
Contraste cromático vegetación/ vegetación	0,125	2	0,25
Contraste cromático vegetación/ suelo	0,125	1	0,125
Pendiente	0,125	1	0,125
Orientación del paisaje	0,125	2	0,25
Valor histórico y cultural	0,125	2	0,25
Valor de fragilidad			1,75
Valor de paisaje			12,9

En la Tabla 2 se presenta el índice de fragilidad del paisaje, el cual se determina mediante la consideración de múltiples variables relevantes para la estructura y función del entorno natural. Estas variables incluyen la densidad de vegetación, la diversidad de estratos vegetales, la estacionalidad de la vegetación, el contraste cromático de la vegetación, la pendiente del terreno, la orientación del paisaje y el valor histórico-cultural del área. En el caso específico analizado, el índice de fragilidad del paisaje alcanza un valor de 1.75, mientras

que el valor paisajístico general se estima en 12.9. Estos resultados sitúan el área de estudio dentro de la unidad de paisaje clasificada como "parque con cultivos/pradera", lo que indica características específicas de vegetación y uso del suelo en el contexto del paisaje evaluado.

**Tabla 3. Concentración de sedimentos por unidad de caudal líquido.**

PUNTO	COORDENADAS		Concentración de sedimentos por unidad de caudal líquido	Caudal sólido por unidad de ancho de caudal (m3/s)
	X	Y		
<b>P1</b>	240243	10004611	0,960550742	22,09266707
<b>P2</b>	240360	10004815	0,932760238	21,45348547
<b>P3</b>	240464	10004838	0,824692444	18,96792622
<b>P4</b>	240476	10004920	0,364195031	8,376485716
<b>P5</b>	240377	10005031	0,272047051	6,257082174
<b>P6</b>	240342	10005199	0,120139556	2,763209792
<b>P7</b>	240395	10005345	0,062797161	1,444334698
<b>P8</b>	240494	10005491	0,190365394	4,378404059
<b>P9</b>	240511	10005689	0,120139556	2,763209792
<b>P10</b>	240849	10005881	0,272047051	6,257082174

Los valores de concentración de sedimentos por unidad de caudal líquido, obtenidos mediante la aplicación de la ecuación propuesta por Smart y Jaeggi (1983), difieren significativamente de los obtenidos con la ecuación de [11]. Esta disparidad se debe a que, si bien ambas ecuaciones consideran las mismas variables, difieren en su expresión matemática. Es importante destacar que la concentración de sedimentos está directamente relacionada con la pendiente, el tipo de material, y tipo de cobertura. Pendientes fuertes en las áreas rocosas no generan muchos sedimentos. Pendientes muy fuertes con cobertura vegetal generan menos sedimentos que pendientes fuertes en suelos sin cobertura vegetal; en otras palabras, pendientes más pronunciadas generan una mayor concentración de sedimentos, mientras que a medida que estos descienden, su caudal sólido disminuye, lo que resulta en la acumulación de sedimentos en ciertos sectores del cauce. Esta acumulación puede ser problemática, ya que obstruye el flujo libre del fluido y, con el tiempo, acumula una cantidad significativa de energía potencial que, una vez alcanzado el punto crítico, puede desencadenar eventos catastróficos conocidos como palizadas. Estas palizadas representan un riesgo importante para la infraestructura y la seguridad de las comunidades ribereñas, así como, para la estabilidad del ecosistema fluvial en su conjunto.

#### 4. CONCLUSIONES

En la parroquia Lumbaqui, las precipitaciones anuales fluctúan entre 4 000 y 4 500 mm, lo que genera un incremento notable en los caudales del río Lumbaqui y conlleva a la sedimentación en diversos puntos a lo largo de su curso. Esta sedimentación, además de afectar los ciclos biogeoquímicos, provoca alteraciones significativas en el paisaje local. Los resultados muestran que, a pesar de la presencia de sedimentos, algunos tramos del río mantienen un nivel aceptable de calidad paisajística. Sin embargo, es esencial considerar los impactos a largo plazo de la sedimentación, en la salud y la dinámica ecológica del ecosistema fluvial.

La concentración de sedimentos comprende un indicador de la degradación de suelo en las riberas del río Lumbaqui, en un intervalo de tiempo y en una zona específica. Los datos obtenidos a partir del método de Smart y Jaeggi, (1983), coinciden con la investigación desarrollada por [12], donde los resultados tienen mucho que ver con las variables como la litología, el clima y la vegetación.

La conversión de uso de suelo en varias zonas de la microcuenca del río Lumbaqui, por actividades antrópicas, muestran variaciones en la cobertura vegetal que influyen en la generación de sedimentos y parte de los mismos es por la acumulación de desechos sólidos originados por la actividad ganadera. Estos fenómenos influyen en las variaciones de los ciclos hidrológicos y alteran las condiciones del suelo.

En esta investigación se analiza la conversión de bosques en ciertas áreas del río Lumbaqui, así como su impacto en la belleza escénica y en la cantidad de sedimentos. Además, se destaca la ausencia de un estudio que establezca una microzonificación de la microcuenca del río Lumbaqui.

El río Lumbaqui, es un sitio donde gran parte de la ciudadanía accede a realiza actividades de ocio y esparcimiento debido a la calidad de su agua; pero, la acumulación de sedimentos es uno de los factores limitantes que podría alterar la presencia de visitantes debido a que el mismo afecta la belleza escénica del sector, a la vez, esta acumulación puede dar origen a variaciones de bioindicadores.

Los sedimentos contienen diversos materiales y compuestos químicos, incluidos radicales libres como el radical hidroxilo ( $\bullet\text{OH}$ ) y el anión superóxido ( $\text{O}_2^{\bullet-}$ ). Estos radicales libres pueden inducir alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, afectando la calidad del agua y el equilibrio del ecosistema. Por lo tanto, es fundamental

realizar investigaciones adicionales para entender cómo estas alteraciones impactan el ecosistema local y las dinámicas ambientales en la región.

Si bien es cierto [1], en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Gonzalo Pizarro, hace referencia a programas de implementación de los sistemas cantonales de gestión de riesgos de desastres, se debe realizar una evaluación de riesgos y, como parte del río Lumbaqui se encuentra en la zona urbana consolidada, se debe realizar una evaluación de riesgos a fin de establecer los puntos críticos donde puedan ocurrir acumulación de sedimentos y puedan ocasionar algunos problemas que afecten a los moradores del sector.

El turismo de aventura realizado en ciertos sectores del río Lumbaqui es la actividad de mayor afectación debido a que la acumulación de sedimentos disminuye el caudal del río Lumbaqui en ciertos tramos y, a la vez, ocasiona problemas en los deportes extremos especialmente kayak, tubing, y canoping.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] Alvear, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Gonzalo Pizarro, GAD GONZALO PIZARRO, 2021.
- [2] J. Restrepo, J. Ortiz, L. Otero y S. Ospino, «Transporte de sedimentos en suspensión en los principales ríos del Caribe colombiano; magnitud, tendencias y variabilidad,» Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, vol. 39, nº 153, pp. 527 - 546, 2015.
- [3] P. Basile, Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales, UNR Editora, 2018.
- [4] A. Brand, J. Lacy, K. Hsu, D. Hoover, S. Gladdiing y M. Stacey, «Wind-enhanced resuspension in the shallow waters of south San Francisco Bay: Mechanisms and potential implications for cohesive sediment transport,» Journal of Geophysical Research Oceans, p. 115, 2010.
- [5] C. Polo, J. Marín, J. Rojas, E. Behling, M. Meza, A. Fernández y J. Flores, «Variaciones espaciales de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en sedimentos costeros del lago de maracaibo, estado Zulia, Venezuela,» Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, vol. 48, nº 1, pp. 21 - 38, 2014.
- [6] A. Johannes, APLICAÇÃO DE UMA FÓRMULA DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS CONSIDERANDO ONDAS E CORRENTES EM UM MODELO HIDRO-SEDIMENTOLÓGICO, Instituto Alberto Luiz Coima de Pós-graduação, 2013.

- [7] D. Batista, A. Quan y C. Espinosa, «Vulnerabilidad del sector agrícola frente a los desastres,» Reflexiones generales, vol. 11, n° 1, pp. 172 - 191, 2007.
- [8] C. Avalos, C. Aveiro, V. Aveiro y N. Cabral, «Influencia del uso de suelo sobre los niveles de fósforo, nitrógeno y sólidos suspendidos en la cuenca del embalse de Itaipu,» XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, pp. 1 - 8, 2015.
- [9] C. Sarango, Calibración de ecuaciones para el transporte de sedimentos en la cuenca El Limón, en el río Zamora, Universidad Técnica Particular de Loja, 2013.
- [10] A. Muñoz, «La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental,» Revista Chilena de Historia Natural, vol. 77, pp. 139 - 156, 2004.
- [11] D. Rickenmann, Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes, 1990.
- [12] J. Restrepo y J. Restrepo, «Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos de la cuenca del río Magdalena,» Ciencias de la tierra, n° 1, pp. 239 - 254, 2005.
- [13] F. Gallard, N. Latron, N. Pérez y N. Martínez, «Procesos de erosión y balance de sedimentos en las cuencas en VAllcebre: Resultados obtenidos y cuestiones abiertas,» Geoecología, cambio ambiental y paisaje: homenaje al profesor José María García Ruiz, vol. 1, n° 1, pp. 277 - 286, 2019.
- [14] L. Horna, Evaluación hirmeteorología y sedimentos en la cuenca del río Coca en la zona de influencia del proyecto Coca Codo Sinclair, Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [15] R. Rodríguez, A. Ormaza, J. Mera y J. Alarcón, Simulación del transporte de sedimentos de fondo de la cuenca media del río Garrapata, cantón Chone, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2015.
- [16] J. Quincho, Estudio experimental del transporte de sedimentos e suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango - Tumbes y Zarumulla, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2015.
- [17] A. Rosenhagen, Aplicación de una fórmula de transporte de sedimentos considerando ondas y corrientes en un modelo hidro sedimentológico, UFR/COPPE, 2013.
- [18] E. Peña, Estudio numérico experimental de transporte de sedimentos en cauces aluviales, Universidad de Coruña, 2002.
- [19] M. Rodríguez, Respuesta en los caudales y el transporte de sedimentos a eventos de precipitación de distinta intensidad en dos microcuencas cubiertas con bosques siempreverde del predio Llancahue, Región de los Ríos, Universidad Austral de Chile, 2014.
- [20] L. Ramírez, «El desafío de las aguas de los ríos Torondoy, Castro o San Pedro y Mojaján o Culebra en el sur del lago de Maracaibo (,)» Fronteras de la historia, vol. 23, n° 2, pp. 118 - 149, 2018.
- [21] A. Cervantes, A. Ferreira, I. Guzmán y K. Villagra, «Cuantificación del transporte de sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica,» Tecnología en Marcha, vol. 29, n° 3, pp. 86 - 100, 2016.
- [22] Y. Sánchez, A. Martínez y M. Yenes, «Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte,» Sociedad Geológica España, pp. 171 - 175, 2018.
- [23] M. Arce, Retención de nitrógeno y procesos biogeoquímicos en ríos Mediterráneos semiáridos: factores medioambientales implicados en su variación espacial y temporal, Universidad de Murcia, 2014.
- [24] P. Baby, M. Rivadeneira y R. Barragán, La cuenca oriente: Geología y Petróleo, Institut français d'études andines., 2022.
- [25] F. Torres, J. González, M. Naranjo y J. Martínez, «Modelación del transporte de sedimentos en el delta del río Sinú, Colombia,» Revista internacional de contaminación ambiental, vol. 38, pp. 25 - 40, 2022.
- [26] I. Guzmán y F. Watson, «Modelación hidrodinámica y transporte de sedimentos en el río La Estrella, Limón,» Investuga TEC, pp. 5 - 9, 2018.
- [27] M. Calle, I. Benson y G. Benito, «Estimación de transporte de sedimentos por carga de fondo en ríos mediante placas de impacto,» Geomorfología del antropoceno, pp. 26 - 28, 2018.
- [28] J. Lugo, E. Lugo, J. Burgos, D. Crespo y J. Castro, «Efecto del cambio climático sobre las tasas de transporte de sedimentos en grandes ríos: Una revisión,» de Tendencias en la Investigación Universitaria: Una visión desde Latinoamérica Volumen VI, 2018, pp. 38 - 53.
- [29] C. Benjumea, M. Suárez y S. Villabona, «Variación espacial y temporal de nutrientes y total de sólidos en suspensión en la cuenca del río alta montaña tropical,» Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, vol. 42, n° 165, pp. 353 - 363, 2018.



- [30] H. Luna, J. Casanova y F. González, «Algoritmo de la metodología de Pacheco Ceballos para el cálculo de transporte de sedimentos en ríos aluviales,» *Tekhné*, vol. 10, n° 1, pp. 38 - 48, 2013.
- [31] J. Blancos, A. Taborda, V. Amortegui, A. Arroyave, A. Sandoval, E. Estrada y A. Narváez, «Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. Síntesis de los impactos sobre fauna macrobética e íctica en el delta del río Turbo,» *Gestión t Ambiente*, vol. 16, n° 2, pp. 19 - 36, 2013.
- [32] R. Szupiany, A. Trento y A. Alvarez, «Transporte de sedimento de fondo en el río Salado (Santa Fe, Argentina),» *RBRH - Revista Brasileira de Recursos hídricos*, vol. 10, n° 1, pp. 79 - 88, 2005.
- [33] M. Pis, G. Delgado y S. Cherolde, «Variación de los nutrientes en agua y sedimentos del sistema lagunar de Tunas de Zasa, Sancti Spiritus, Cuba II parte,» *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, vol. 36, n° 2, pp. 82 - 88, 2019.
- [34] P. Gastezzi, V. Alvarado y G. Pérez, «La importancia de los ríos como corredores interurbanos,» *Biocenosis*, vol. 31, n° 1-2, pp. 39 - 46, 2017.
- [35] J. Morales, «Diagnóstico del servicio ambiental de provisión hídrica en las comunidades indígenas de la parroquia Lumbaqui. Ecuador,» *Revista de Ciencia y Tecnología Agrollanía*, vol. 20, pp. 89 - 98, 2021.
- [36] D. García, *Hidráulica y transporte de sedimentos en ríos de montaña*, Universidad de los Andes, 2005.
- [37] C. Sander, N. Lovatto, M. Dos Santos y T. Morato, «Características del transporte de sedimentos en suspensión en la cuenca del río Blanco, Estado de Roraima,» *Acta Geográfica*, vol. 8, n° 17, pp. 71 - 85, 2014.
- [38] J. Horacio, A. Ibisate, I. Sánchez, J. Beltrán y A. Ollero, «Seguimiento del transporte de sedimentos mediante trazadores en el río Leitzaran,» *Geomorfología del antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*, pp. 63 - 57, 2018.
- [39] R. Laino, R. Bello, M. González, N. Ramírez, F. Jiménez y K. Musálem, «Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Gijalva, frontera México - Guatemala,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 6, n° 4, pp. 61 - 74, 2015.
- [40] C. Doria y H. Deluque, «Niveles de distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia,» *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, vol. 6, n° 1, pp. 123 - 132, 2015.
- [41] T. Guarín, *Modelación del transporte de sedimentos en ríos. Ejemplo de aplicación por el método de diferencias finitas en Excel y Matlab*, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 2014.