UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL CAUCE DEL RÍO PASTAZA, MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE ARCMAP EN LOS CANTONES MERA, PASTAZA Y PALORA

AUTOR(ES):

Ruth Estefanía Yupangui Sumba

Luis David Yasacama Achachi

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD

Puyo - Pastaza - Ecuador

2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Si cumple
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Si cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15.0 / 15	Si cumple
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	15.0 / 15	Si cumple

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Si cumple
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Si cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Si cumple
VALORACIÓN TOTAL	100	CIEN

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	100

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARIA DEL CARMEN CASTELO NAVEDA

MARÍA DEL CARMEN CASTELO NAVEDA (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 12 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Cumple con lo estipulado
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Cumple con lo estipulado
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	17.0 / 20	Persisten errores en la redacción
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	13.0 / 15	Persisten errores en la redacción
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	9.0 / 15	Existen imprecisiones en la metodología, como por ejemplo "Tipo de vegetación. Sumatoria de precipitación 5 días previos. En laboratorio se procedió a determinar su textura, cantidad de materia orgánica y carbono, densidad aparente y de raíces.."

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	22.0 / 25	Persisten errores en la redacción de los resultados
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10.0 / 10	Cumple con lo estipulado
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Cumple con lo estipulado
VALORACIÓN TOTAL	86	OCHENTA Y SEIS

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	86

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 13 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal by Turnitin

RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Document Information

Analyzed document	Ruth y Luis 18 agosto 2023.docx (D172936139)
Submitted	2023-08-18 19:49:00
Submitted by	Ricardo Abril
Submitter email	rvabril@uea.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	rvabril.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Evaluación del cambio y uso de la tierra en la parroquia Puerto Napo durante el periodo 2000 – 2021 con el u so de los SIG.docx
Document Evaluación del cambio y uso de la tierra en la parroquia Puerto Napo durante el periodo 2000 – 2021 con el u so de los SIG.docx (D126652157)
Submitted by: dj.sucoshanayv@uea.edu.ec
Receiver: dj.sucoshanayv.uea@analysis.urkund.com
2

W

URL: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8661/MONOGRAFIA%20-JRIVAS-2015-03-20.pdf...
Fetched: 2023-08-18 19:50:00
3

SA

BORRADOR I.docx.docx
Document BORRADOR I.docx.docx (D34790801)
1

Análisis del cambio del cauce del río Pastaza, mediante el uso del software ArcMap en los cantones Mera, Pastaza y Palora

Ruth Estefanía Yupangui Sumba
re.yupanguis@uea.edu.ec

Luis David Yasacama Achachi
ld.yasacamaa@uea.edu.ec

Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, PhD
rvabril@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

La presente investigación analizó el cambio del cauce del río Pastaza, mediante el uso del software ArcMap en los cantones Mera, Pastaza y Palora. Se emplearon dos enfoques de investigación: el cuantitativo explicativo y el documental exploratorio. La metodología permitió determinar los cambios ocurridos en el margen derecho e izquierdo del río Pastaza desde 1966 hasta 2022, identificar las causas que han originado la variación en ambos márgenes y definir las áreas más propensas a la erosión y sedimentación del margen derecho e izquierdo del río Pastaza. Los resultados mostraron que el río Pastaza ha sufrido cambios relevantes en su cauce a lo largo del tiempo, debido a factores naturales y antropogénicos. Asimismo, los hallazgos revelaron que la sedimentación ha aumentado considerablemente en los últimos años, siendo el periodo 1990-2001, del margen izquierdo, el que presenta una mayor acumulación de sedimentos, mientras que el margen derecho exhibió una mayor acumulación durante el periodo 2011-2022. El margen izquierdo experimentó una mayor pérdida de suelo entre el periodo 2001-2011, lo que podría estar asociado con la instalación de muros de contención por parte de concesiones mineras. Por el contrario, el margen derecho registró una mayor erosión entre 1990 y 2001, lo que podría deberse al incremento de la agricultura de pitahaya en la zona. Además, se determinó que las zonas más vulnerables a la erosión y sedimentación del margen derecho e izquierdo del río Pastaza se localizan en los tramos de la Shell, Madre Tierra, Cumandá y la parte noreste de Palora Metzera, donde se observa una mayor pérdida de suelo y una mayor variación del ancho. Estas zonas requieren de una mayor seguimiento y control, para prevenir y mitigar los efectos negativos de la erosión y la sedimentación. El software ArcMap es una herramienta eficiente para el análisis espacial y temporal del río, así como para integrar otros factores ambientales y socioeconómicos que puedan influir en su dinámica.

Palabras Clave: ArcMap, erosión, sedimentación, vulnerabilidad

Abstract

This research analyzed the change during the Pastaza River, using ArcMap software in the cantons of Mera, Pastaza, and Palora. Two research approaches were used: the explanatory quantitative and the exploratory documentary. The methodology allowed us to determine the changes that have occurred on the right and left banks of the Pastaza River from 1966 to 2022, identify the causes that have caused variation on both banks, and define the area's most prone to erosion and sedimentation on the right and left banks of the Pastaza River. The results showed that the Pastaza River has undergone significant changes in its course over time, due to natural and anthropogenic factors. Likewise, the findings revealed that sedimentation has increased considerably in recent years, with the period 1990-2001, on the left bank, presenting a greater accumulation of sediments, while the right bank exhibited a greater accumulation during the period 2011-2022. The left bank experienced a greater loss of soil between the period 2001-2011, which could be associated with the installation of containment walls by mining concessions. On the contrary, the right bank recorded a greater erosion between 1990 and 2001, which could be due to an increase in pitahaya agriculture in the area. In addition, it was determined that the most vulnerable areas to erosion and sedimentation on the right and left banks of the Pastaza River are in the sections of Shell, Madre Tierra, Cumandá and the northeast part of Palora Metzera, where there is a greater loss of soil and a greater variation in width. These areas require more monitoring and control to prevent and mitigate the negative effects of erosion and sedimentation. ArcMap software is an efficient tool for spatial and temporal analysis of the river, as well as for integrating other environmental and socioeconomic factors that may influence its dynamics.

Keywords*:* ArcMap, erosion, sedimentation, vulnerability

1. INTRODUCCIÓN

Ecuador presenta una gran riqueza en recursos hídricos, por lo cual es necesario el planteamiento de estrategias de protección, ya que esto permite garantizar el abastecimiento de agua potable en el país, y la conservación de un sinnúmero de ecosistemas (Morillo-Ortiz, 2020). El río Pastaza, se encuentra ubicado dentro de la vertiente amazónica de Ecuador y Perú, este nace en las faldas del volcán Tungurahua y surge de la unión del río Chambo y Patate (Yépez & Campana, 2015). Este río es considerado uno de los más importantes del país debido a la biodiversidad que representa, también es la principal fuente hídrica que abastece a zonas agrícolas, comunidades y poblados aledaños, reservas ecológicas y diferentes sectores industriales (Rivas-Ron, 2015).

El río Pastaza es uno de los principales afluentes del río Amazonas, atraviesa los cantones de Mera y Pastaza pertenecientes a la provincia de Pastaza y Palora en la provincia de Morona Santiago. A través del tiempo este río ha experimentado cambios significativos en

su cauce provocados por factores antropogénicos y naturales. La variación morfológica producida en los cauces, por la intervención antrópica, es uno de los más grandes impactos ocurrentes en los ecosistemas fluviales (Sergi-Sabater, 2009).

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten analizar y organizar la información de un lugar, mediante la combinación de un conjunto de herramientas informáticas que combina información gráfica y alfanumérica (Domínguez-Bravo, 2000). Estas herramientas facilitan el manejo de grandes volúmenes de información de forma cualitativa y cuantitativa, así como la realización de análisis espaciales integrando datos tabulares y geográficos.

Entre los softwares que existen para trabajar con los sistemas de información geográfica, se destaca el software de ArcGIS, que está conformado por ArcMap, ArcCatalog, ArcGIS Administrator y ArcScena. Estas herramientas permiten el ingreso de datos geográficos, la impresión de mapas, la transformación de los sistemas de coordenadas y una gran variedad de herramientas que permiten el geoprocesamiento de los datos ingresados (Santiago, 2005). Software como ArcGIS permite tener una noción el grado de erosión y sedimentación que presenta un río en base al análisis de fotografías aéreas a través del tiempo.

Actualmente el cauce del río Pastaza se encuentra modificado debido a diversas actividades tanto naturales como antropogénicas y teniendo en cuenta la importancia ecológica y cultural de este río, es necesario analizar la modificación de su cauce ya que este influye de forma directa sobre la biodiversidad, y la seguridad de la población, el análisis de las modificaciones a través del tiempo permite entender la dinámica del río para prevenir riesgos, y establecer las medidas de mitigación que garanticen el bienestar de las personas y el ambiente.

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito examinar las modificaciones que ha sufrido el curso del río Pastaza, desde 1966 hasta el 2022, a través del análisis de fotografías aéreas, empleando dos enfoques de investigación: el cuantitativo explicativo y el documental exploratorio. El objetivo general de esta investigación fue: Analizar el cambio del cauce del río Pastaza mediante el uso del software ArcMap en los cantones Mera, Pastaza y Palora. Para ello, se buscó identificar los cambios que ha sufrido el margen derecho e izquierdo del río Pastaza a partir de 1966 al 2022, identificar las causas que han provocado

el cambio en ambos márgenes del río Pastaza y definir las zonas más vulnerables a la erosión y sedimentación del margen derecho e izquierdo del río Pastaza.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales:

2.1.1. Equipos

- Computadora portátil

2.1.2. Software e Información cartográfica

- ArcMap
- Fotografías Aéreas
- Orto fotografía
- Google Earth

2.2. Metodología

La presente investigación combina dos tipos de métodos:

1) Explicativo cuantitativo: este tipo de investigación busca responder interrogantes mediante la explicación de cómo ocurre un fenómeno, evento o situación. Además, este tipo de respuestas pueden ser cuantificadas (Mousalli-Kayat, 2015).

2) Exploratorio documental: este tipo de investigación permite responder interrogantes mediante el análisis de conceptos, datos, referencias estadísticas e información bibliográficas. Además, este tipo de investigación sirve como complemento para la investigación explicativa (Morales, 2015).

2.2.1. Localización de la zona de estudio

El río Pastaza nace de la unión de los ríos Chambo y Patate, se encuentra localizado dentro de la Cuenca media del Río Pastaza, misma que abarca las provincias de Tungurahua, Pastaza y Morona Santiago. A lo largo de la ribera del río se puede evidenciar una gran diversidad de ecosistemas y servicios ambientales, mismo que son amenazados por la contaminación,

la deforestación y actividad volcánica (Rivas-Ron, 2015).

En la presente investigación abarca el margen derecho e izquierdo de río Pastaza, iniciando en las coordenadas UTM 814114.58 m.E.(X) 9839651.82 m.N.(Y) en la zona 17 Sur, y finalizando en las coordenadas UTM 178954.82 m.E.(X) 9806455.05 m.N.(Y) de la zona 18 Sur en el sistema de coordenadas WGS 1984. Este tramo del río atraviesa los cantones Mera y Pastaza de la provincia de Pastaza en el margen derecho y el cantón Palora de la provincia de Morona Santiago en el margen izquierdo (Figura 1).

Figura 1.

Localización de la zona de estudio



2.2.2. Cambios en el margen derecho e izquierdo del río Pastaza.

2.2.2.1. Selección de las fotos aéreas

Mediante un oficio ingresado el 19 de abril del 2023, dirigido al Arq. Guidmon Tamayo, alcalde del cantón Mera, se solicitó la proporción de imágenes satelitales del río Pastaza. Y en respuesta mediante un "Acta de Recepción-Entrega de Información", el GADM del cantón Mera entregó la base de fotos aéreas proporcionadas por el Instituto Geográfico

Militar y recopilada la Msc. Diana Jaqueline López Vela Ex analista de Gestión de Riesgos y el Ing. Nelson Stalin Guamán Maji Asesor Técnico Minero del GADM del Cantón Mera, la información proporcionada procede del Proyecto Análisis Multitemporal de la dinámica del río Pastaza mediante la utilización de fotografías históricas para la identificación de zonas de inundación. De la base de fotos aéreas proporcionas por el GADM del cantón Mera, se realizó una selección, teniendo en cuenta la ubicación y cercanía al río Pastaza (Tabla 1).

Tabla 1.

Código de las fotos aéreas

Años	Código de las fotos aéreas
1966	7640.tif, 7805.tif
1976	1960.tif, 1961.tif, 1897.tif, 1895.tif
1979	9830.tif, 9832.tif, 9834.tif
1982	Tif1.tif
1986	21323.tif, 21330.tif, 21328.tif
1990	29705.tif, 29704.tif, 29700.tif, 29702.tif
2001	16333.tif, 16331.tif, 16350.tif, 16352.tif, 16349.tif
2011	ORTOFOTO_RURAL_COMPLETA.tif
2022	mera2022.tif

2.2.2.2. Procesamiento de las fotos aéreas

El procesamiento de las fotos aéreas se realizó mediante el software ArcMap que permite la visualización, creación y edición de datasets, para el diseño de mapas (ESRI, 2022). Mediante el método de creación de datos, se realizó una digitalización interactiva la cual consiste en la creación de líneas, polígonos o puntos, a partir de la visualización e interpretación de las fotos aéreas, orto-fotografía o una imagen satelital (ESRI, 2022).

Se crearon seis shapefile, dos por año (de tipo polyline) donde se realizó la digitalización

del margen derecho e izquierdo del río Pastaza, y cuatro de tipo polygon para la digitalización de las áreas erosionadas y sedimentadas de ambos márgenes del río. Para este procesamiento de datos se utilizó la barra de herramientas de Editor y en específico la opción Edit Vertices.

2.2.3. Causas del cambio del margen derecho e izquierdo del río Pastaza.

2.2.3.1. Revisión literaria histórica

Para la revisión literaria se estableció la búsqueda de información en fuentes secundarias de información principalmente en el navegador Google académico. Para esta investigación se centró en la metodología exploratoria descriptiva en base a la revisión de artículos científicos, por tal circunstancia se desarrolló ecuaciones de búsqueda para limitar y tener acceso más eficiente a la información necesitada. En las ecuaciones de búsqueda se utilizó el operador de truncamiento, descriptores y palabras claves. Las palabras claves fueron las que se mencionaran: Ordenamiento, territorial, Pastaza, Palora, Mera, Río, Afectaciones, Riesgo, Erosión, Inundación, Cartografía, Geográfica, entre otras (Tabla 2).

Tabla 2.

Planteamiento de los criterios de búsqueda

Criterio de búsqueda	Motor de búsqueda	País	Titulo
Plan* (ordenamiento AND Pastaza y Mera)	Google	Ecuador	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020-2030 Cantón Pastaza
			Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Mera
PDyOT* (SNI Or Ecuador)	Google	Ecuador	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Palora
			Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Pelileo
Río Pastaza (Peligros OR Afectaciones)	Google	Ecuador	Análisis preliminar de los servicios ecosistémicos de la cuenca media del río Pastaza, Ecuador
Deslaves (lluvia AND carretera) Cantón Baños	Google	Ecuador	Impacto De Las Catástrofes Naturales En El Turismo
Pitahaya (afecta AND Pastaza)	Google	Ecuador	Pitahaya: un cultivo "de oro" que impacta en la pérdida de bosques nativos en la Amazonía ecuatoriana

2.2.4. Zonas vulnerables a la erosión y sedimentación

2.2.4.1. Análisis de la erosión y sedimentación

A partir del procesamiento de los datos se realizó el cálculo de las áreas erosionada y sedimentadas, para lo cual se utilizó la herramienta de Calculate Geometry, esta herramienta permite acceder a la geometría de las entidades de un shapefile y calcular valores de coordenada, longitud, área, entre otros (ESRI, 2020).

Mediante un gráfico se representó la sumatoria de áreas sedimentadas y erosionadas del margen derecho e izquierdo del río Pastaza, que se ha ido produciendo de forma multitemporal, para lo cual se analizó fotografías aéreas desde los años 1966 hasta el 2022. La comprensión de las mismas se basa en el nivel y detalle que proporcionan, también se toma en cuenta el margen de error por la nitidez o calidad del material que fue analizado.

2.2.4.2. Análisis de la vulnerabilidad

En base a la clasificación de la pendiente del MAGAP, se elaboró un mapa de pendiente reclasificado para identificar las zonas más propensas a inundaciones y a la erosión hídrica. Este mapa permite visualizar los cambios de elevación de un terreno de forma precisa (Hernández, 1998). Y se elaboró en base a la reclasificación de la pendiente presentada en la Tabla 3. La pendiente permite establecer los límites de uso de suelo, identificar zonas propensas a la erosión, además, permite conocer el relieve de un lugar (Ibañez, Gisbert, & Moreno, 2022).

Tabla 3.

Clasificación de pendientes según el MAGAP, reclasificada

Pendiente	Color	Descripción
0-5%		Plano o casi plano
5-12%		Suave o ligeramente ondulada
12-50%		Moderadamente ondulada - Colinado
50-70%		Escarpado
>70%		Montañoso

Fuente: Adaptada de (MAGAP, 2022)

Para estimar la tasa de erosión se tomó como referencia el margen más antiguo del río. Se

identificaron dos zonas de estudio, una con intervención humana y otra sin ella, y se midió un tramo de 1km de longitud en cada una. Luego, se aplicó el método del cálculo de áreas de referencia, que consiste en comparar las áreas ocupadas por el río en las fotos aéreas y dividirlas por el tiempo transcurrido entre ellas (Torres-Rodríguez, y otros, 2010). Para lo cual se plantean las siguientes formulas:

Ecuación 1.-

$$Dl = \frac{\text{Área } 2 - \text{Área } 1}{Longitud}$$

Donde:

Dl= Desplazamiento de la línea

Ecuación 2.-

$$TE = \frac{Dl}{\text{Año } 2 - \text{Año } 1}$$

Donde:

TE= Tasa de erosión

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Cambios en el margen derecho e izquierdo del río Pastaza.

3.1.1. Procesamiento de las fotos aéreas

Mediante el método de creación de datos, se realizó una digitalización interactiva la cual consistió en la creación de líneas, polígonos o puntos a partir de la visualización de fotos aéreas, orto-fotografía o una imagen satelital (ESRI, 2022).

Este estudio presenta los resultados del análisis morfológico del río Pastaza, basado en la comparación de fotografías aéreas de diferentes años. Para lo cual se utilizaron técnicas de geoprocesamiento para elaborar los mapas (Figura 2, 3 y 4), que muestran los cambios en los márgenes derecho e izquierdo del río a lo largo del tiempo. Asimismo, se identificaron las zonas erosionadas y sedimentadas en ambos márgenes, desde 1966 hasta 2022, en los mapas (Figura 5, 6, 7 y 8). Estos últimos mapas permitieron evaluar el potencial de aprovechamiento de los recursos áridos y pétreos que se generan por la dinámica fluvial.

Figura 2.

Digitalización del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1966-1976-1979)

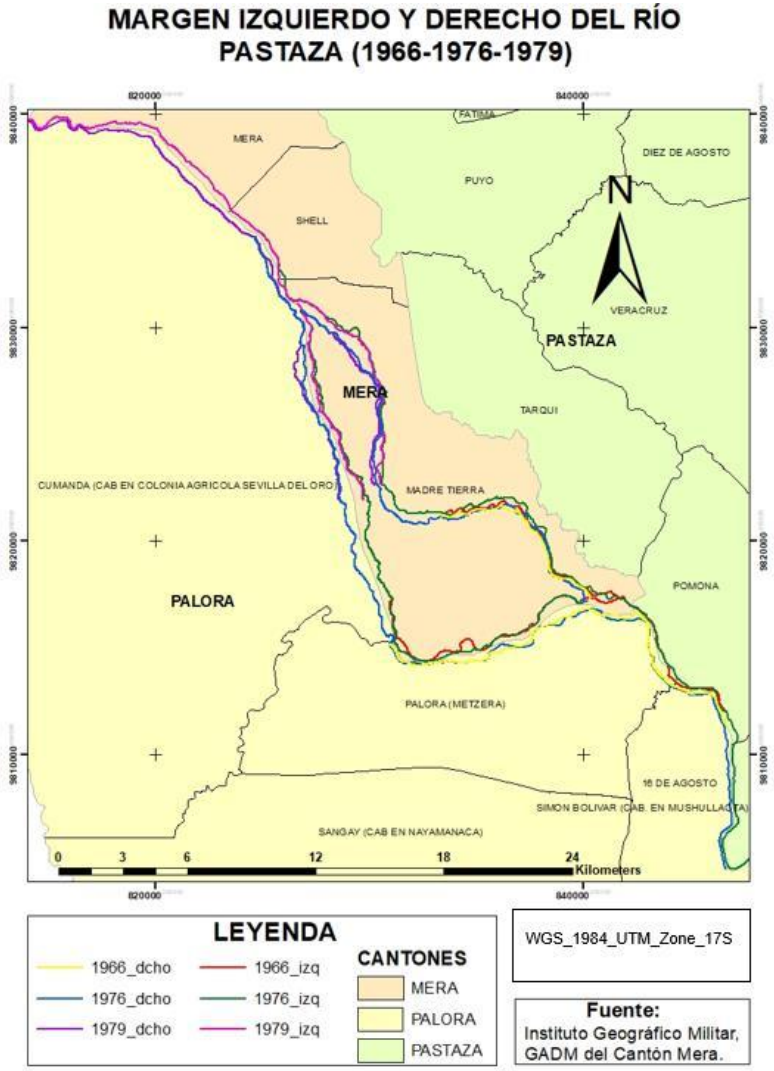


Figura 3.

Digitalización del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1982-1986-1990)

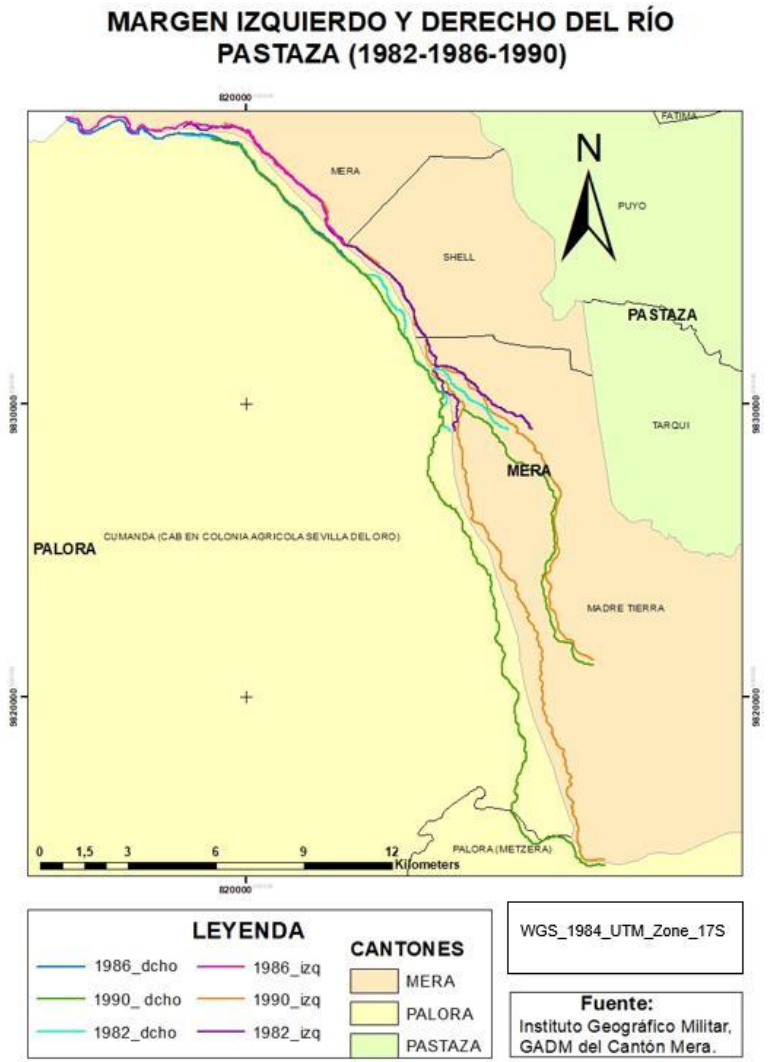


Figura 4.

Digitalización del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (2001-2011-2022)

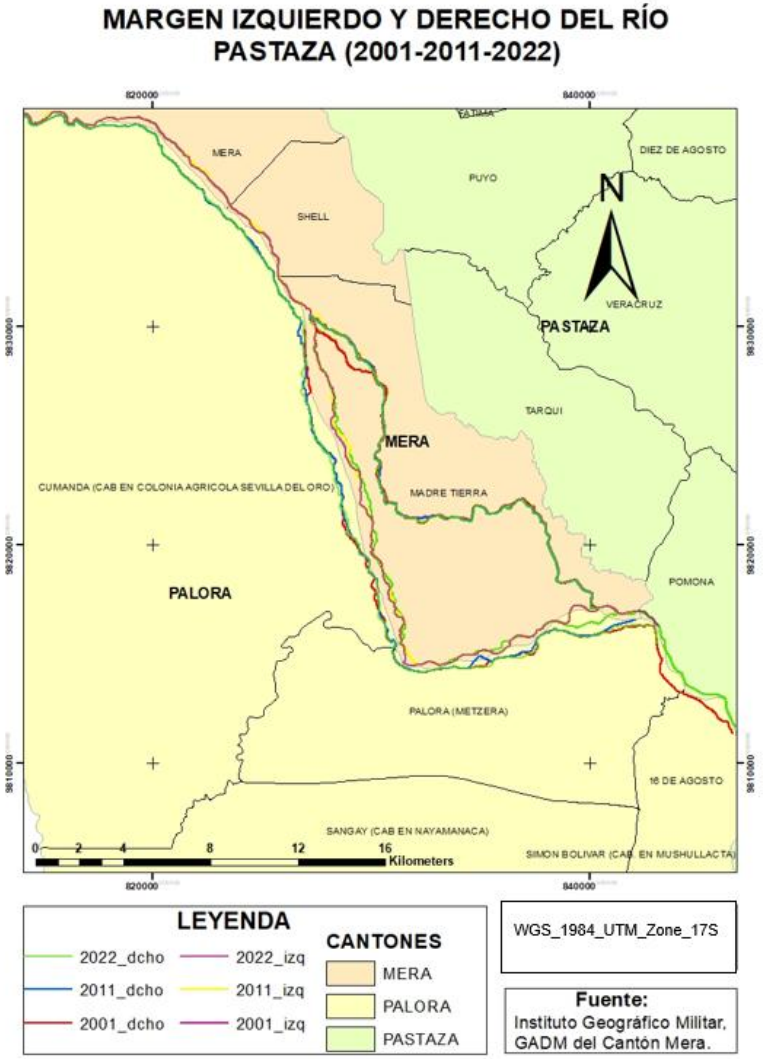


Figura 5.

Áreas de Erosión del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1966-1986)

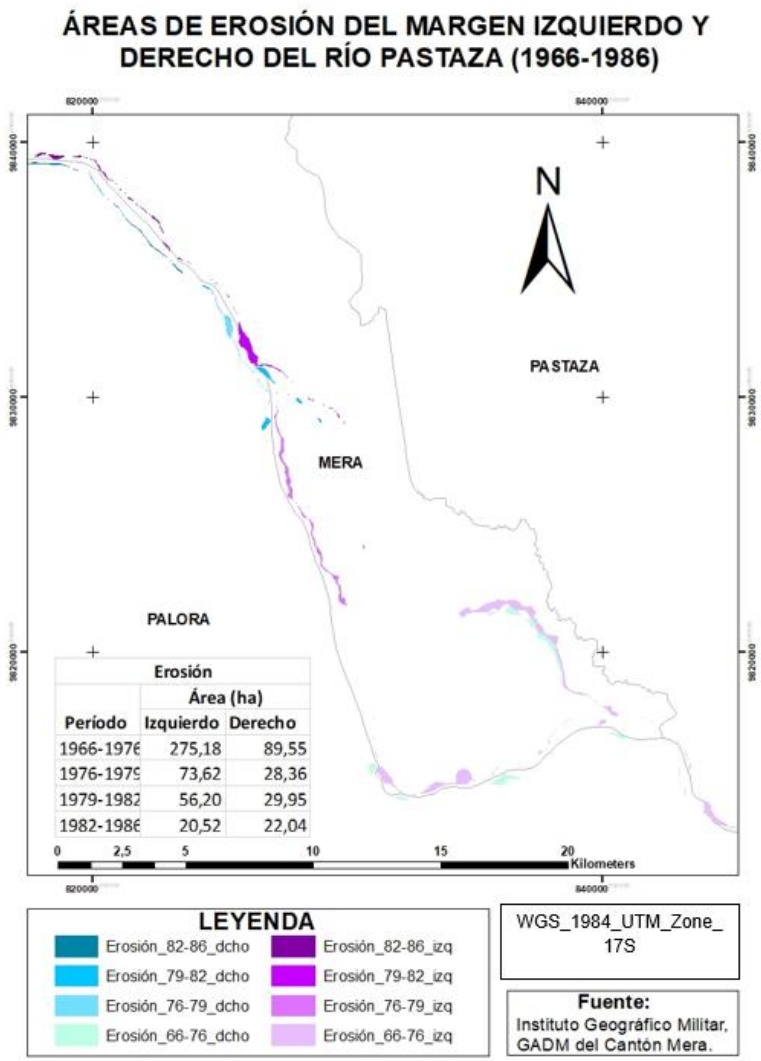


Figura 6.

Áreas de Erosión del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1986-2022)

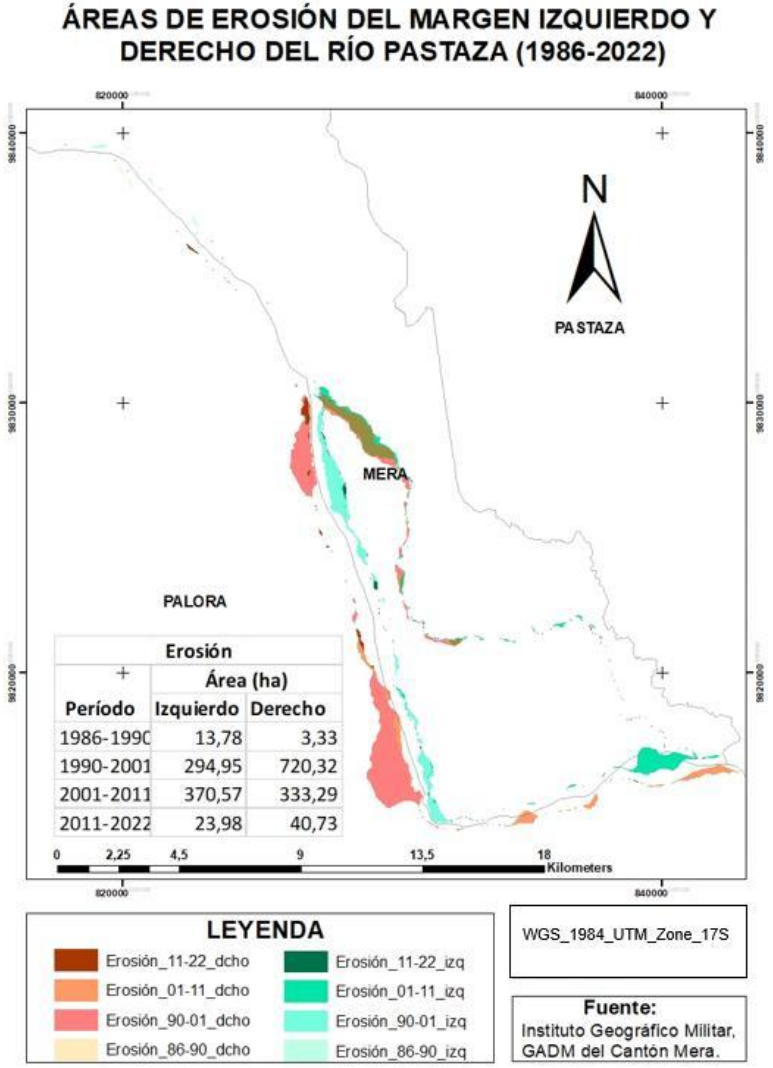


Figura 7.

Áreas de Sedimentación del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1966-1986)

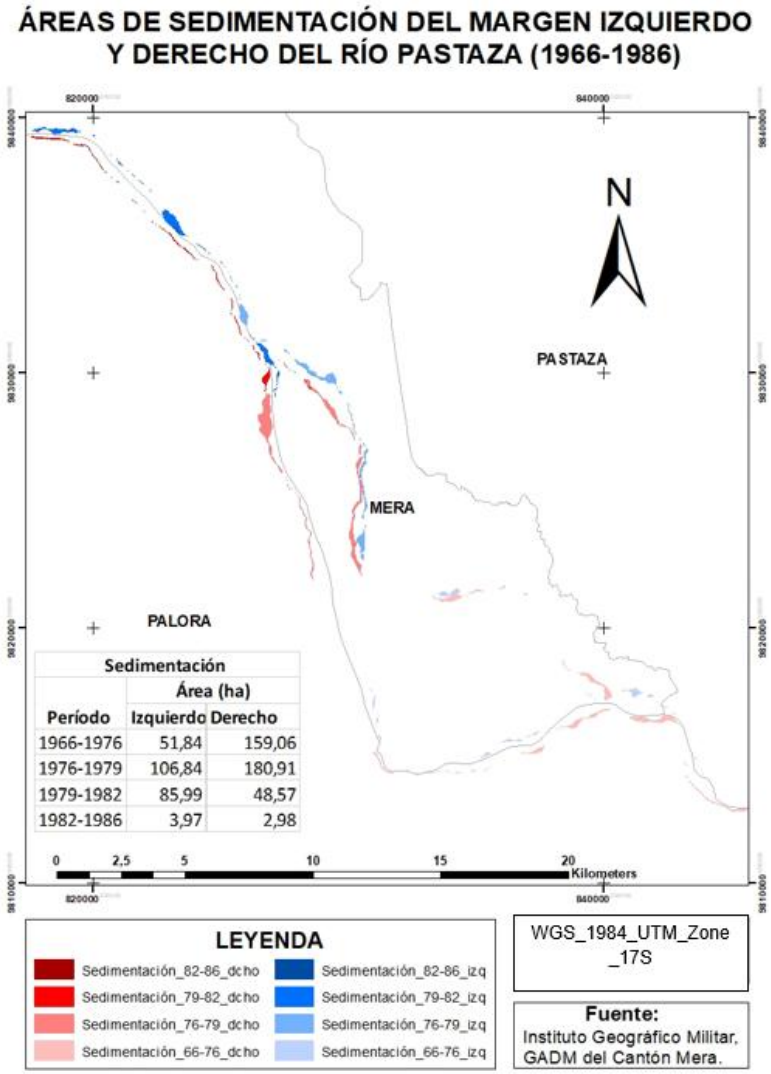
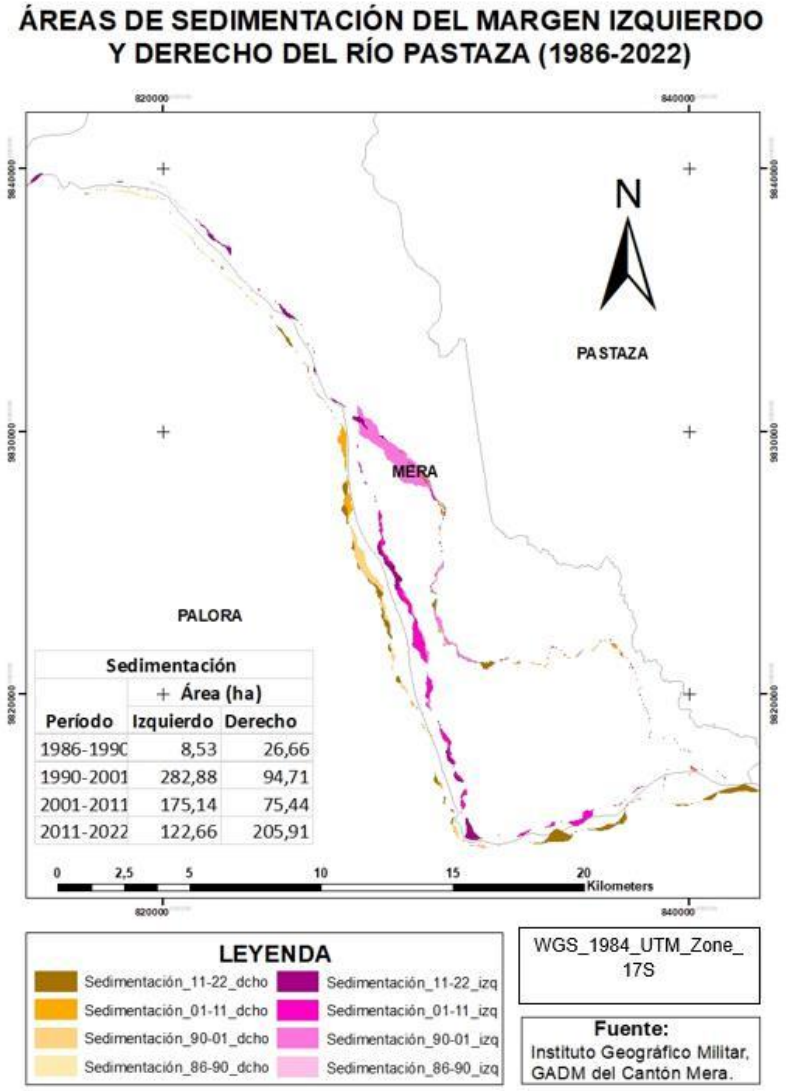


Figura 8.

Áreas de Sedimentación del Margen Izquierdo y Derecho del Río Pastaza (1986-2022)



3.2. Causas del cambio del margen derecho e izquierdo del río Pastaza.

La cuenca del río Pastaza alberga una gran diversidad biológica y cultural, así como amplias zonas de conservación natural. Sin embargo, también existen una gran dependencia de los servicios ecosistémicas, debido al desarrollo de diversas actividades antropogénicas en zonas específicas y en su entorno que afectan el cauce del río (Rivas-Ron, 2015). Por lo tanto, es necesario analizar los factores antropogénicos y ambientales que influyen en los cambios de margen en las diferentes áreas de la cuenca.

El mecanismo de la erosión se basa en tres procesos, el primero comprende el desprendimiento de las partículas, el segundo comprende el transporte de estas y el tercer proceso comprende el depósito o sedimentación de las partículas. Y su grado de erosionabilidad va a depender directamente de las características específicas del sitio en estudio, por ejemplo, existe un mayor grado de erosión en zonas limosas y de arenas finas (Cherlinka, 2022). Además, la erosión del suelo disminuirá si en el lugar existe un gran contenido de materia orgánica, otro factor que influye en el grado de erosión es la pendiente y la presencia de iones de Na (FERTILAB, 2010).

Existen diversos factores que influyen en la erosión de los márgenes del río Pastaza, uno de ellos son los continuos deslizamientos de tierra de origen natural ocurrido a lo largos de las riberas del río, que atraviesan dentro de los limites parroquiales de Baños de Agua Santa. Los continuos deslizamientos de tierra son provocados de forma natural por vibraciones en el suelo, elevadas precipitaciones, terremotos o erupciones volcánicas. Cuando el suelo se satura de agua, se desplaza hacia las zonas más bajas, arrastrando consigo todo tipo de material que encuentra a su paso (Rivera, 2020). Estos materiales se acumulan en las zonas donde fluye el río Pastaza, incrementando su carga de sedimentos. Asimismo, la caída de estos materiales genera turbulencia en el agua, creando pequeñas olas que erosionan las orillas del río.

El río Pastaza presenta un cauce ancho y desplayado, además como consecuencia del arrastre de materiales volcánicos provenientes de las estribaciones de los volcanes Cotopaxi y Tungurahua, permite el aprovechamiento de materiales no mineros mediante la otorgación de concesiones mineras a lo largo de las riberas del río (GADMPASTAZA, 2020).

Según PODT MERA (2015), a lo largo del cantón, las riberas del río Pastaza han sido contempladas como zonas de riesgo y otras como zonas inundables, principalmente en la parroquia de Madre Tierra, misma que es considerada una zona de alto riesgo por inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Pastaza (GADPRMadreTierra, 2019). Actualmente las actividades mineras relacionados con la extracción de áridos y pétreos, mismas que están siendo reguladas para minimizar sus efectos, contribuyen a la erosión de los márgenes del río Pastaza (GADMMERA, 2015).

Según el PDOT de Pastaza 2020, el 50% del uso del suelo actualmente corresponde a zonas de recarga hídrica mismas que se encuentran dentro de áreas naturales protegidas y el otro 50% corresponde a actividades antrópicas como las agrícolas y ganaderas, mismas que son consideradas una amenaza latente para las fuentes hídricas dentro del cantón. Además, solo en el cantón Pastaza el 84% de la superficie de suelo concesionada corresponde al aprovechamiento de materiales áridos y pétreos, a lo largo de la ribera del río Pastaza.

El cantón Palora se encuentra ubicado dentro de la provincia de Morona Santiago, limita al norte con la provincia de Pastaza (GADM_Palora, 2015). Según el PDOT del cantón, el 0,11% del suelo del cantón corresponde a zonas sin cobertura vegetal, es decir bancos de arena a la ribera del río Pastaza. Entre los factores que han provocado alteración en el margen derecho del río Pastaza, se encuentra la extracción minera de áridos y pétreos y el incremento de la agricultura. En el cantón los cultivos de pitahaya han aumentado drasticamente, lo que ha influenciado el incremento de la deforestacion, que a su vez influye en la alteración de las riveras del río (Ruiz, 2022).

La erosión y sedimentación del río Pastaza es un problema latente causado principalmente por un manejo inadecuado del suelo (Suárez-Díaz, 2001). La erosión se puede definir como el desprendimiento del suelo causado por una fuerza de flujo en movimiento y su posterior deposito. Existen varios tipos de erosión, en el caso del río Pastaza, presenta una erosión en cauces de agua. Esta se caracteriza por la presencia de corrientes de agua, mismas que debido a su fuerza de tracción provocan el desprendimiento y transporte de las partículas del suelo hasta su posterior sedimentación aguas abajo (Suárez-Díaz, 2001).

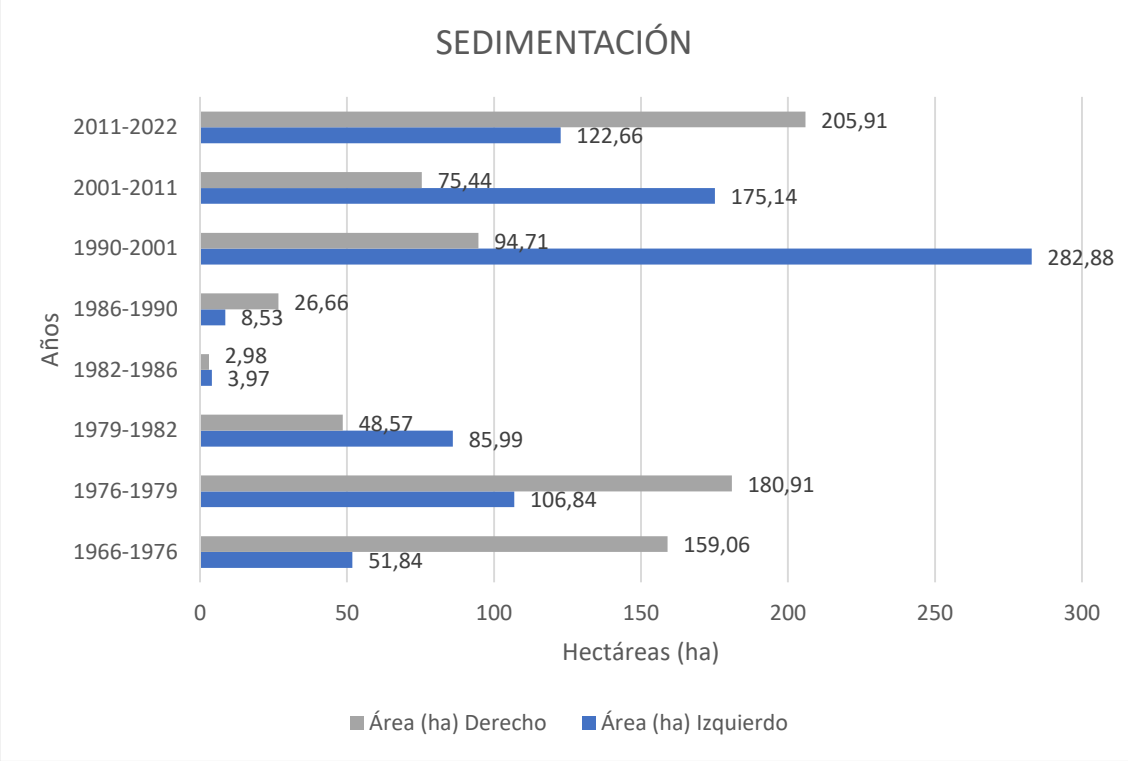
3.3. Zonas vulnerables a la erosión y sedimentación

3.3.1. Análisis de la erosión y sedimentación

A partir del procesamiento de los datos en ArcMap, se elaboró un gráfico con la suma de áreas sedimentadas y erosionadas del margen derecho e izquierdo del río Pastaza, que se han producido de forma multitemporal, mediante el análisis de fotografías aéreas desde los años 1966 hasta el 2022. La interpretación de las mismas se basa en el nivel y detalle que ofrecen, así como en el margen de error por la nitidez o calidad del material analizado.

Figura 9.

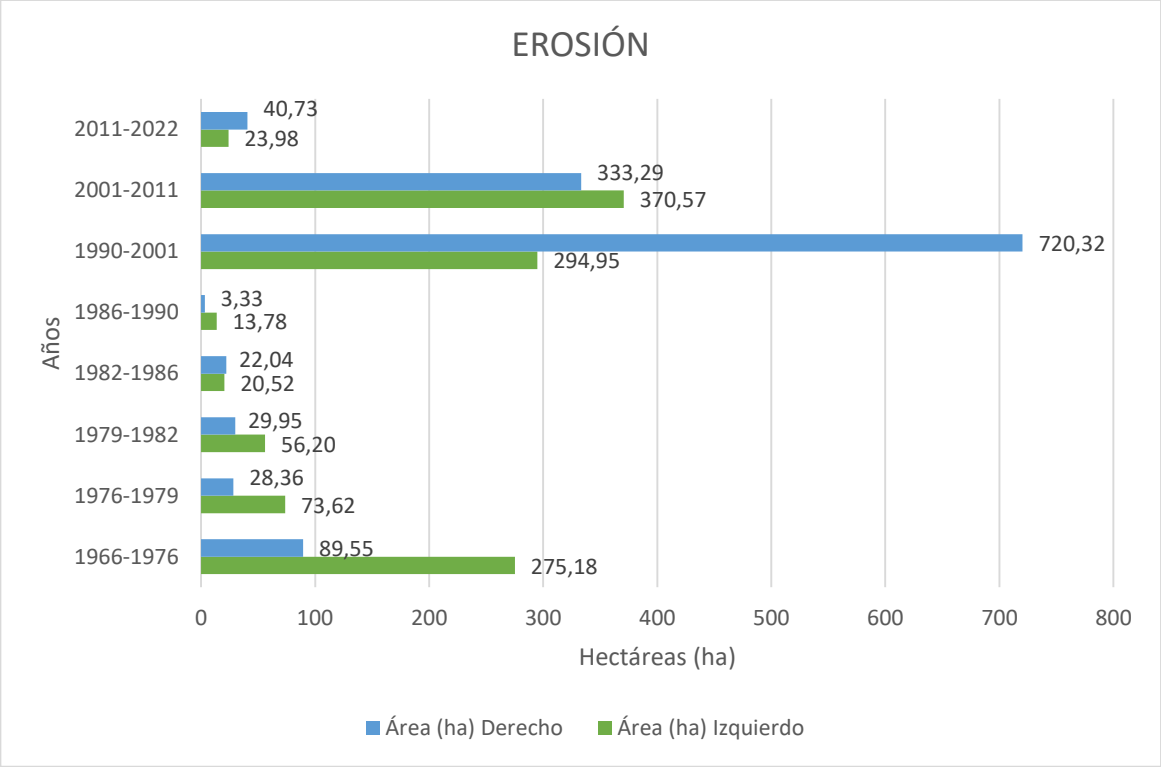
Zonas de Sedimentación



En la Figura 9, se presenta el proceso y los resultados de las áreas en hectáreas de sedimentación registradas de forma multitemporal en los márgenes derecho e izquierdo del río Pastaza, como se puede observar en la Figura 7 y 8, donde se proyectas las áreas afectadas por la sedimentación en los diferentes intervalos de tiempo. Los hallazgos indican que la sedimentación ha crecido notablemente en los últimos años, siendo el periodo 1990-2001, del margen izquierdo, quien registra una mayor acumulación de sedimentos, y el margen derecho mostró una mayor acumulación durante el periodo 2011-2022. Y durante el periodo 1982-1886 se registraron los niveles más bajos de acumulación de sedimentos.

Figura 10.

Zonas de Erosión



En la Figura 10, se presenta un análisis de las áreas afectadas por la erosión en ambos márgenes del río Pastaza a lo largo de los años analizados. El margen izquierdo sufrió una mayor pérdida de suelo entre el periodo 2001-2011, esto podría estar relacionado con la colocación de muros de contención y el cambio del curso del río provocados por las concesiones mineras de las coordenadas 826811.49 m.E.(X) 9830908.28m.N. (Y), Zona 17 Sur. Por otro lado, el margen derecho experimentó una mayor erosión entre 1990 y 2001, lo que podría explicarse por el aumento de la agricultura de pitahaya en la región. Las zonas erosionadas se muestran en las Figuras 5 y 6.

3.3.2. Análisis de la vulnerabilidad

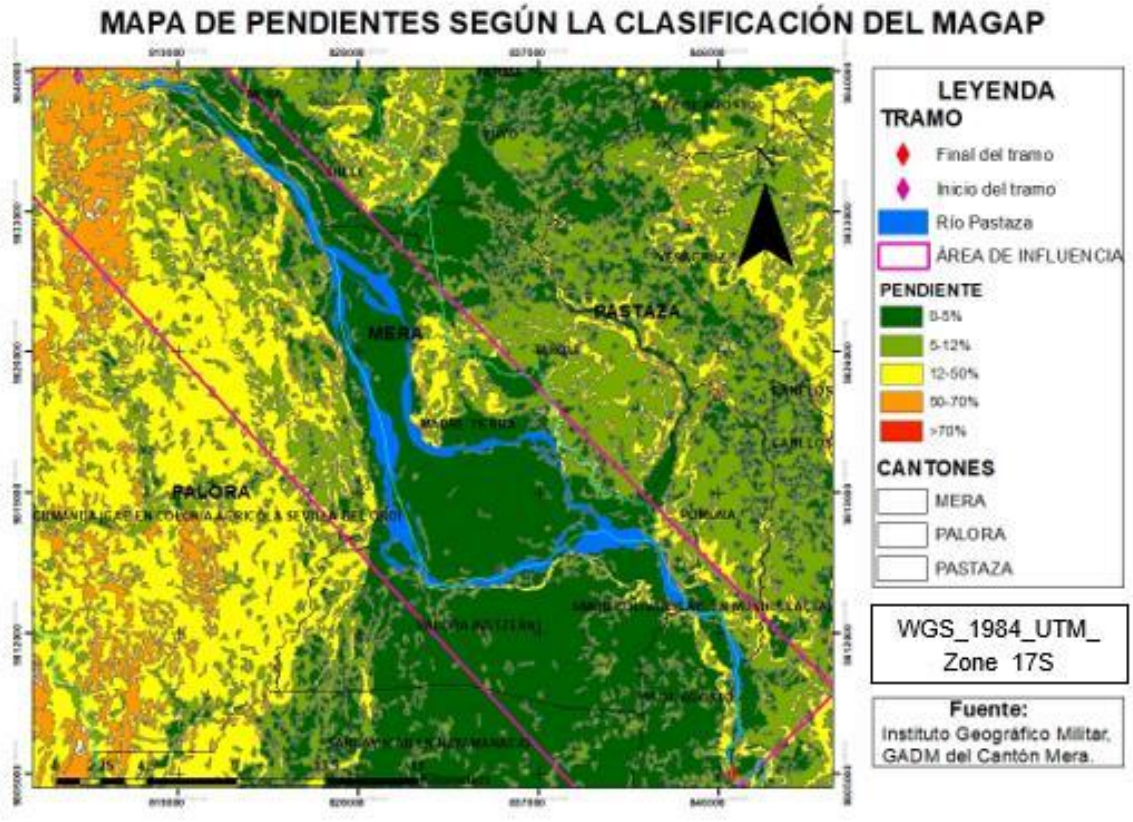
El mapa de pendiente reclasificado fue elaborado a partir de la clasificación de la pendiente del MAGAP, es una herramienta útil para identificar las zonas más vulnerables a las inundaciones y a la erosión hídrica, como se muestra a continuación.

La Figura 11 muestra el grado de inclinación de las áreas de los cantones en estudio, que corresponde a una variable importante para determinar la vulnerabilidad frente a las

inundaciones. Según esta figura las zonas más vulnerables son las que se encuentran cerca de los márgenes del río Pastaza, dentro de las parroquias de la Shell, Madre Tierra, Cumandá y la parte noreste de Palora Metzera. Estas zonas presentan pendientes planas o casi planas, inferiores al 5%, lo que implica una menor capacidad de drenaje y una mayor exposición a la crecida del río. Por el contrario, las zonas con pendientes mayores al 5% tienen una menor vulnerabilidad, ya que el agua fluye con mayor rapidez y se aleja de las áreas pobladas (MAGAP, 2022) (Figueredo, 2018).

Figura 11.

Mapa de Pendientes según la clasificación del MAGAP



Fuente: GADM del cantón Mera, IGM, EarthExplorer, MAGAP

Tasa de erosión

Para el cálculo de la tasa de erosión se seleccionaron dos zonas. La primera fue una sin intervención en sus riberas, como es el caso de Mera en las coordenadas 820976.44 m.E. (X) 9838346.68 m.N. (Y), zona 17 Sur. Como línea de referencia se tomó la del año 1990, misma que se encuentra digitalizada en la Figura 3. La segunda zona corresponde a Madre Tierra

en las coordenadas 826811.49 m.E. (X) 9830908.28 m.N. (Y), Zona 17 Sur. Se tomó como línea de referencia al año de 1976, misma que se encuentra digitalizada en la Figura 2. Esta zona presenta un nivel de intervención alta debido a la presencia de concesiones mineras de áridos y pétreos.

Tabla 4.

Cálculo de la Tasa de Erosión

Tramo	Periodo	Área 1	Área 2	Longitud	Dl	Tiempo	TE
Mera	2011-2022	29155,17	27062,13	1000	2,09304	11	0,19cm/año
Madre Tierra	1990-2022	67548,26	189526,5	1000	121,9782	32	3,81cm/año

La tabla 4 presenta los resultados de la tasa de erosión. Se determinó que, en la primera zona sin intervención humana, de forma natural existe una tasa de erosión de 0,19 cm/año. Mientras que en la zona 2 con un nivel de intervención alta, esta tasa de erosión se triplica hasta los 3,81 cm/año.

4. CONCLUSIONES

El río Pastaza ha sufrido cambios significativos en su cauce desde 1966 hasta el 2022, afectando tanto al margen derecho como al izquierdo. Mediante el uso del software ArcMap, se pudo identificar que el margen derecho ha experimentado una mayor erosión y sedimentación que el margen izquierdo, debido a factores naturales y antropogénicos. El análisis de imágenes aéreas permitió cuantificar la variación del ancho y la longitud del río en los cantones de Mera, Pastaza y Palora, así como las zonas más vulnerables a estos procesos.

Las causas que han provocado el cambio en el margen derecho e izquierdo del río Pastaza son diversas y complejas, pero se pueden agrupar en dos categorías: naturales y antropogénicas. Entre las causas naturales se encuentran la dinámica fluvial, la precipitación, la actividad volcánica y los eventos sísmicos. Entre las causas antropogénicas se encuentran la deforestación, la agricultura, la minería de áridos y pétreos, y el deslizamiento de tierra. Estas causas han alterado el equilibrio hidrológico y geomorfológico del río, generando procesos de erosión y sedimentación que modifican su cauce y afectan a los ecosistemas y las poblaciones ribereñas.

Las zonas más vulnerables a la erosión y sedimentación del margen derecho e izquierdo del río Pastaza se localizan en los tramos donde el río presenta mayor sinuosidad, pendientes inferiores al 5% y menor cobertura vegetal. Estas zonas se corresponden con los sectores de la Shell, Madre Tierra, Cumandá y la parte noreste de Palora Metzera. En estas zonas se observa una mayor pérdida de suelo, una mayor variación del ancho y la longitud del río, y una mayor afectación a las infraestructuras y las actividades humanas. Estas zonas requieren de una mayor atención y planificación para mitigar los impactos negativos de la erosión y sedimentación.

La tasa de erosión se ha estimado mediante el cálculo de la pérdida de suelo por unidad de tiempo y superficie, utilizando el método de la diferencia de áreas, el cálculo de la tasa de erosión del río Pastaza en dos zonas contrastantes, una sin intervención humana y otra con intervención minera, revela que la actividad antrópica tiene un efecto negativo sobre la estabilidad del cauce y la conservación del suelo. La tasa de erosión en la zona intervenida es casi 20 veces mayor que en la zona natural, lo que implica una mayor pérdida de suelo y una mayor variación del ancho y la longitud del río.

REFERENCIAS

Alvarado-Rivas, E. (2016). *Georreferenciación de una imagen en ARCGIS 9.3.* Obtenido de https://www.monografias.com/trabajos105/georreferenciacion-imagenes-arcview-3-2-argis-9-3-gvsig-1-11-0-y-qgis-2-8-1/georreferenciacion-imagenes-arcview-3-2-argis-9-3-gvsig-1-11-0-y-qgis-2-8-1

Brea, j., & Balocchi, F. (2010). Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. *UNESCO*, 9-18. Obtenido de https://www.elsevier.es/es-revista-ribagua-revista-iberoamericana-del-217

Cherlinka, V. (19 de 10 de 2022). *Erosión Del Suelo: Tipos, Cómo Evitarla Y Controlarla.* Obtenido de https://eos.com/es/blog/erosion-del-suelo/

Domínguez-Bravo, J. (11 de septiembre de 2000). *"Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)".* Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Javier-Dominguez-12/publication/237467702_Breve_Introduccion_a_la_Cartografia_y_a_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG/links/0deec52724b3d7dcc4000000/Breve-

Introduccion-a-la-Cartografia-y-a-los-Sistemas-de-Inform

Escobar, C. (2014). *Erosión de suelos.* Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/erosiondesuelos.pdf

ESRI. (2020). *Calcular el área, la longitud y otras propiedades geométricas*. Obtenido de https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/tables/calculating-area-length-and-other-geometric-properties.htm

ESRI. (2021). *Crear productos de imágenes aéreas digitales 2D en ArcGIS Reality for ArcGIS Pro*. Obtenido de https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/tutorial-create-2d-digital-aerial-imagery-products-in-arcgis-reality-for-arcgis-pro.htm

ESRI. (2022). *Qué es ArcMap*. Obtenido de https://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#//018q00000003000000

FERTILAB. (2010). *EL SODIO Y LA FERTILIDAD DEL SUELO.* Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/EL%20SODIO%20Y%20LA%20FERTILIDAD%20DEL%20SUELO.pdf

Figueredo, J. (2018). *CLASIFICACION DE PENDIENTES Y SU CARACTERISTICAS.* Obtenido de https://es.scribd.com/document/343442912/CLASIFICACION-DE-PENDIENTES-Y-SU-CARACTERISTICAS#

GADM_Palora. (2015). *Plan de Manejo y Ordenamiento Territorial Cantón Palora.* Obtenido de https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html

GADMMERA. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cánton Mera.* Obtenido de http://www.municipiomera.gob.ec/imagenes/PDYOT/FaseIDiagnosticoMera2015-2025.pdf

GADMPASTAZA. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pastaza 2020-2030.* Obtenido de https://puyo.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/departamentos/planificacion/pdot/pdot-pastaza-2020-2030.pdf

GADPRMadreTierra. (2019). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Madre Tierra.* Obtenido de https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html

García-Ruiz, J., López-Moreno, J., Vicente-Serrano, S., Lasanta-Martínez, T., & Beguería, S. (2010). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, 105(3-4), 121-139.

Hernández, G. (1998). Metodología para la elaboración de mapas de pendientes. *Revista Geográfica de América Central* , 69-79.

Hernández-Díaz, J., González-Elizondo, M., González-Elizondo, M., & Aguirre-Calderón, O. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. . *Chapingo: ciencias forestales y del ambiente*, 65-78. Obtenido de https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.01.003

Ibañez, S., Gisbert, J., & Moreno, H. (2022). *LA PENDIENTE DEL TERRENO* . Obtenido de Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y Medio Rural.: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La%20pendiente%20del%20terreno.pdf#:~:text=El%20concepto%20de%20pendiente%20en%20si%2C%20es%20la,cotas%2C%20y%20su%20variaci%C3%B3n%20en%20el%20espacio%20%28%29

MAGAP. (2022). *Servicion del MAGAP*. Obtenido de https://www.agricultura.gob.ec/

Morales, N. (2015). *Investigación Exploratoria: Tipos, Metodología y Ejemplos.* Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64537756/Investigaci%C3%B3n_Exploratoria-libre.pdf?1601263412=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DInvestigacion_Exploratoria_Tipos_Metodol.pdf&Expires=1688599001&Signature=L~YoPuNlbryQNAi~7CXpXMdliNKYtM

Morillo-Ortiz, M. (9 de Enero de 2020). *Sistema de manejo integrado de recursos hídricos naturales de la ciudad del conocimiento Yachay-Ecuador*. Obtenido de http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9752

Mousalli-Kayat, G. (2015). *Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa Investigación Cuantitativa* . Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Gloria-Mousalli/publication/303895876_Metodos_y_Disenos_de_Investigacion_Cuantitativa/links/575b200a08ae414b8e4677f3/Metodos-y-Disenos-de-Investigacion-Cuantitativa.pdf

Rivas-Ron, J. (2015). *Análisis preliminar de los servicios ecosistémicos de la cuenca media del río Pastaza, Ecuador*. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8661/MONOGRAFIA%20-JRIVAS-2015-03-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivera, G. (2020). *IMPACTO DE LAS CATÁSTROFES NATURALES EN EL TURISMO.* Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/31954/1/GEOVANNA%20ELIZABETH%20RIVERA%20VILLACR%c3%89S_%20IMPACTO%20DE%20LAS%20CAT%c3%81STROFES%20NATURALES%20EN%20EL%20TURISMO_%20AMBATO%2020-21.pdf

Ruiz, G. (2020 de 11 de 2022). *Pitahaya: un cultivo "de oro" que impacta en la pérdida de bosques nativos en la Amazonía ecuatoriana*. Obtenido de

https://www.planv.com.ec/historias/plan-verde/pitahaya-un-cultivo-oro-que-impacta-la-perdida-bosques-nativos-la-amazonia

Santiago, I. (2005). *Fundamentos de ArcGis versión ArcView 9.1*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33706221/TutorialArcGISLecturas-libre.pdf?1400138815=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTutorial_Arc_GISLecturas.pdf&Expires=1682731361&Signature=MoLf8dzq4P50noe2E~8KlkMMf6nt63QFQSPmvUa6qtrN9X4pgEdgzuf

Sergi-Sabater, A. (2009). *Conceptos y Técnicas de ecología fluvial* . Barcelona : Rubes Editorial .

Suárez-Díaz, J. (2001). *CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES.* Bucaramanga - Colombia: Universidad Industrial de Santander. Obtenido de http://www.planospara.com/archivos/Contenido-y-presentacion.pdf

Torres-Rodríguez, V., Márquez-García, A., Bolongaro-Crevenna, A., Chavarria-Hernández, J., Expósito-Díaz, G., & Márquez-García, E. (2010). Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. *Mexicanas ante el cambio climático*, 325-344.

Vide, M. (Tecnología y Ciencias del Agua). Erosión, sedimentación y restauración de ríos. *2013*, 5-18.

Yépez, M., & Campana, J. (Febreo de 2015). *LOS RECURSOS NATURALES Y EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8749/LOS%20RECURSOS%20NATURALES%20Y%20EL%20MANEJO%20DE%20CUENCAS%20HIDROGR%C3%81FICAS.pdf;sequence=1

ANEXO

Marco Teórico

Cauce de un río

El cauce del río es la definición geométrica y funcional del espacio ocupado por el agua de un río en condiciones normales y extraordinarias. El cauce de río se compone de tres elementos principales: el lecho, las márgenes y la sección transversal. El cauce de río es un elemento dinámico que varía según las condiciones hidrológicas, climáticas y antrópicas del entorno. Por ello, es importante conocer su evolución histórica, su estado actual y su tendencia futura para realizar una adecuada gestión del recurso hídrico y prevenir posibles riesgos de inundación o degradación ambiental (García-Ruiz, López-Moreno, Vicente-Serrano, Lasanta-Martínez, & Beguería, 2010).

Erosión

La erosión es el proceso de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial del agua (ríos). Este fenómeno puede causar la pérdida de la capa fértil del suelo, la alteración de los ecosistemas, la sedimentación de los cauces y la inestabilidad de las laderas y taludes (Escobar, 2014). La erosión pluvial depende de factores como la intensidad y duración de la lluvia, la pendiente y rugosidad del terreno, la cobertura vegetal, el tipo y estructura del suelo, y las prácticas de manejo del suelo (Brea & Balocchi, 2010).

Sedimentación

La sedimentación en ríos es el proceso de acumulación de sedimentos, materia orgánica y basura en el lecho fluvial, que puede afectar la profundidad, morfología y la calidad del agua. La sedimentación puede ser natural o antropogénica, donde se alteran el equilibrio entre la erosión y la deposición de sedimentos. La sedimentación puede tener consecuencias negativas para el ecosistema, como la pérdida de hábitat, la reducción de la biodiversidad y el aumento de la turbidez (Vide, Tecnología y Ciencias del Agua).

ArcMap

ArcMap es una plataforma que forma parte del sistema ArcGIS, este permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Con ArcMap

se puede visualizar y explorar los datos espaciales de un área de estudio, asignar símbolos y crear diseños de mapa. Además, permite crear y editar datasets geográficos y ejecuta modelos de geoprocesamiento (ESRI, 2022).

Digitalización de fotografías aéreas

La digitalización de fotografías aéreas es el proceso que permite convertir las imágenes o fotografías tomadas desde el aire en cartografía digital, para ser procesadas mediante software como ArcMap, para el análisis espacial. La información obtenida tiene diversas aplicaciones, como la cartografía, el manejo forestal, análisis de cambio de uso de suelo, entre otros (Hernández-Díaz, González-Elizondo, González-Elizondo, & Aguirre-Calderón, 2015).

Para realizar la digitalización de fotografías aéreas, se requiere un software especializado que permita corregir las distorsiones geométricas y el desplazamiento del terreno causados por el sensor y la perspectiva de la cámara. Uno de los programas que ofrece esta funcionalidad es ArcMap, que forma parte de ArcGIS (Alvarado-Rivas, 2016). ArcMap permite crear productos de imágenes aéreas digitales 2D y 3D, y georreferenciar las imágenes aéreas, estos productos resultantes tienen diversas aplicaciones como la planificación urbana, el catastro, la gestión ambiental, entre otros (ESRI, 2021).