



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue - Moyobamba

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Hans Michael Sandoval Hidalgo
<https://orcid.org/0000-0002-0499-5004>

Asesor:

Ing. M. Sc. Percy Martínez Dávila
<https://orcid.org/0000-0002-7647-2835>

Tarapoto, Perú

2024



FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue - Moyobamba

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Hans Michael Sandoval Hidalgo

Sustentado y aprobado el 10 de julio de 2024, ante el honorable jurado:



Presidente de Jurado
Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna



Secretario de Jurado
Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata



Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo



Asesor
Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila

Tarapoto, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DEL INFORME FINAL DE TESIS
CONDUCTENTES A TÍTULO PROFESIONAL N° 023-2024-UNSM/EPIA/UI**

Jurado reconocido con Resolución N° 436-2022-UNSM/CFT/FE, Moyobamba 30 de noviembre del 2022 y modificado con Resolución N° 162-2024-UNSM/CF/FE, Moyobamba 25 de abril del 2024

**FACULTAD DE ECOLOGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

A las 15:00 horas, del día miércoles 10 de julio del 2024, se dio inicio al acto público de sustentación del informe final de tesis “**Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue – Moyobamba**” para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, presentado por **Hans Michael Sandoval Hidalgo**, con la asesoría del **Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila**.

Instalada la Mesa Directiva conformada por el **Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna** (Presidente del jurado), **Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata** (Secretario), **Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo** (Vocal) y acompañado por el **Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila** (Asesor), el presidente del jurado dirige brevemente unas palabras y a continuación el secretario dio lectura a la **Resolución N° 267-2023-UNSM/CF/FE, de fecha 27 de junio de 2023**.

Seguidamente el autor expuso el informe final de tesis y el jurado realizó las preguntas pertinentes, respondidas por el sustentante y evaluado por el jurado con la venia del asesor.

Una vez terminada la ronda de preguntas el jurado procedió a deliberar para determinar la calificación final, para lo cual dispuso un receso de quince (15) minutos, con participación del asesor con voz, pero sin voto; sin la presencia del sustentante y otros participantes del acto público.

Luego de aplicar los criterios de calificación con estricta observancia del principio de objetividad y de acuerdo con los puntajes en escala vigesimal (de 0 a 20), según el Anexo 4.2 del RG-CTI, la nota de sustentación otorgada resultante del promedio aritmético de los calificativos emitidos por cada uno de los miembros del jurado fue **Diecisiete (17)**, tal como se deja constar en la siguiente descripción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



De acuerdo con el Artículo 40° del RG-CTI, la nota obtenida es **DIECISIETE**.....y correspondiente a la calificación de **MUY BUENO**. Leído este resultado en presencia de todos los participantes del acto de sustentación, el secretario dio lectura a las observaciones subsanables al informe final que el autor deberá corregir y alcanzar al jurado en un plazo máximo de treinta (30) días calendarios.

Se deja constancia que la presente acta se inscribe en el Libro de sustentaciones N° 001 del Programa de Estudios de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología de la UNSM.

Firman los integrantes de la Mesa Directiva y el autor del informe final tesis, en señal de conformidad, dando por concluido el acto a las **18:00**..... horas, el mismo día miércoles 10 de julio del 2024.

Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Presidente de Jurado

Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata
Secretario de Jurado

Ing. M.Sc. Luis Armando Cuzco Trigozo
Vocal del Jurado

Ing. M.Sc. Percy Martínez Dávila
Asesor

Hans Michael Sandoval Hidalgo
Autor

Declaratoria de autenticidad

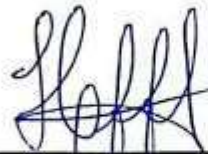
Hans Michael Sandoval Hidalgo, con DNI N° 72718547, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue – Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 10 de julio de 2024



Hans Michael Sandoval Hidalgo
DNI N° 72718547

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue - Moyobamba</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental Línea de investigación: Variabilidad climática y cambio climático Sublínea de investigación: Servicios ecosistémicos Grupo de investigación: ECOSISTEMAS (N° 1076-2022-UNSM/CFT/CU-R) Tipo de investigación: Básica <input type="checkbox"/>, Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p>Autor: Hans Michael Sandoval Hidalgo</p>	<p>Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0002-0499-5004</p>
<p>Asesor: Ing. M. Sc. Percy Martínez Dávila</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental https://orcid.org/0000-0002-7647-2835</p>

Dedicatoria

A mi familia, empezando por mi madre **Yolanda** y a mis hermanos **Edson**, **Haidy** y **Carlos**, por su inquebrantable apoyo y constante aliento.

A mis mentores, por su sabiduría invaluable durante todo el proceso de aprendizaje en la etapa escolar y universitaria.

Hans M. Sandoval Hidalgo

Agradecimientos

A **Dios**, fuente de sabiduría y fortaleza, quien me ha guiado en cada paso de mi vida.

A mi alma mater, la **Universidad Nacional de San Martín – Facultad de Ecología**, por el financiamiento de tesis, que hizo posible la realización de esta investigación y los conocimientos adquiridos durante mi etapa Universitaria.

A mi asesor, el **Ing. M. Sc. Percy Martínez Dávila**, por su orientación y contribuciones valiosas para llevar a cabo esta investigación.

A mi familia, empezando por mi madre **Yolanda** y a mis hermanos **Edson**, **Haidy** y **Carlos** por su constante apoyo y aliento a lo largo de este proceso.

Hans M. Sandoval Hidalgo

Índice general

Ficha de identificación	6
Dedicatoria	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes de la investigación	18
2.2. Fundamentos teóricos	19
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación.....	24
3.1.1 Periodo de ejecución.....	24
3.1.2 Autorizaciones y permisos	24
3.1.3 Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	25
3.1.4 Aplicación de principios éticos internacionales.....	25
3.2. Sistema de variables	26
3.2.1 Variables principales	26
3.3 Procedimientos de la investigación.....	27
3.3.1 Dinámica fluvial.....	27
3.3.2 Escenarios de meandros.....	27
3.3.3 Patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.....	30

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Dinámica fluvial	36
4.2 Escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.....	37
4.3 Patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.....	44
DISCUSIONES.....	51
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	58

Índice de tablas

Tabla 1 Descripción de variables por objetivo específico.....	26
Tabla 2 Coordenadas en zonas de desplazamiento	28
Tabla 3 Distancia de meandros en los distintos años	41
Tabla 4 Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 1	46
Tabla 5 Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 2	47
Tabla 6 Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 3	49

Índice de figuras

Figura 1 Sección transversal del río.....	21
Figura 2 Sinuosidad de meandros.	22
Figura 3 Tipos de meandros.	23
Figura 4 Mapa de ubicación de las coordenadas en zonas de desplazamiento.	28
Figura 5 Descarga de imágenes satelitales de la plataforma USGS.	29
Figura 6 Aplicación de la fórmula MNDWI en la herramienta Raster Calculator.	30
Figura 7 Herramienta Reclassify.....	31
Figura 8 Aplicación de la herramienta Reclassify.....	31
Figura 9 Resultado final de la herramienta Reclassify.	31
Figura 10 Aplicación de la herramienta Raster to Polygon.....	32
Figura 11 Selección del shapefile del río Mayo.....	32
Figura 12 Shapefiles del río Mayo obtenido en los distintos años.....	33
Figura 13 Herramienta Intersect.	33
Figura 14 Aplicación de la herramienta Intersect.	34
Figura 15 Resultado obtenido de la aplicación de la herramienta Intersect.....	34
Figura 16 Precipitación total anual entre el año 1995 al 2021.....	36
Figura 17 Mapa de identificación de los meandros en el año 1995.....	37
Figura 18 Mapa de identificación de los meandros en el año 2000.....	37
Figura 19 Mapa de identificación de los meandros en el año 2005.....	38
Figura 20 Mapa de identificación de los meandros en el año 2010.....	38
Figura 21 Mapa de identificación de los meandros en el año 2015.....	39
Figura 22 Mapa de identificación de los meandros en el año 2021.....	39
Figura 23 Movimiento fluvial del río Mayo desde el año 1995 al año 2021.	43
Figura 24 Comportamiento de la erosión y sedimentación en los distintos periodos evaluados.	44

Figura 25 Distancias del meandro 1 en los años 1995 al 2021.....	47
Figura 26 Distancias del meandro 2 en los años 1995 al 2021.....	48
Figura 27 Distancias del meandro 3 en los años 1995 al 2021.....	50

RESUMEN

Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021,
Juningue – Moyobamba

A lo largo de los años, el río Mayo ha experimentado cambios significativos en su morfología, incluyendo variaciones en su caudal y comportamiento, debido a factores como el cambio de uso del suelo y la deforestación de las franjas ribereñas. A ello se suma el cambio climático, que provoca alteraciones en la temperatura y la precipitación. En ese contexto, la investigación tiene como objetivo principal: “Evaluar los meandros del río Mayo durante el periodo 1995 – 2021, mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba”, con el fin de obtener datos y análisis lo más cercanos a la realidad. Los objetivos específicos planteados en este estudio fueron: “Evaluar la dinámica fluvial durante el periodo 1995 – 2021”, “Determinar escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021” y “Analizar patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021”. La investigación se llevó a cabo en un sector del río Mayo, en el centro poblado Juningue, durante 8 meses, desde el 27 de junio de 2023 hasta el 26 de febrero de 2024. Es de tipo aplicada, con un enfoque descriptivo y un diseño no experimental. El proceso comenzó con la evaluación de las precipitaciones entre los años 1995 y 2021, utilizando datos obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Luego, se realizaron visitas de campo, en las que se identificaron tres meandros para su estudio. Posteriormente, se descargaron imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8 de la plataforma USGS, las cuales fueron utilizadas para el tratamiento y verificación de los meandros, además de calcular la erosión, la sedimentación y las distancias entre las orillas de los tres meandros a lo largo del periodo de estudio, mediante el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI). Finalmente, se realizó la prueba de hipótesis utilizando la prueba t de Student para determinar si las distancias de los meandros del río Mayo cambiaron de manera significativa entre 1995 y 2021. Los resultados indicaron una reducción significativa en las distancias de los tres meandros analizados, siendo el tercer meandro el que mostró la mayor disminución. Asimismo, mediante la aplicación de una ecuación de regresión lineal simple, se estimó que para el año 2033 la distancia entre las orillas del meandro tres será de 0 metros, lo que iniciará la formación de un lago de herradura, comúnmente denominado en la zona como “tipishca”.

Palabras claves: Meandros, erosión, sedimentación, dinámica fluvial

ABSTRACT

Multitemporal Analysis of the Meanders of the Mayo River in the Period 1995–2021,
Juningue – Moyobamba

Over the years, the Mayo River has experienced significant changes in its morphology, including variations in its flow and behavior, due to factors such as land use change and deforestation of riparian strips. In addition, climate change is causing alterations in temperature and precipitation. In this context, the main objective of the research was: “To evaluate the meanders of the Mayo River during the period 1995 - 2021, through multitemporal analysis in Juningue - Moyobamba”, in order to obtain data and analysis as close to reality as possible. The specific objectives of this study were: “To evaluate river dynamics during the period 1995 - 2021”, “To determine meandering scenarios in the area of influence by means of satellite images during the period 1995 - 2021” and “To analyze spatial patterns of meandering in the area of influence by means of satellite images during the period 1995 - 2021”. The research was carried out in a sector of the Mayo River, in the Juningue village during 8 months, from June 27, 2023 to February 26, 2024. It is applied, with a descriptive approach and a non-experimental design. The process started with the evaluation of rainfall between 1995 and 2021, using data obtained from the National Meteorological and Hydrological Service of Peru (SENAMHI). Then, field visits were made, in which three meanders were identified for study. Subsequently, Landsat 5, 7 and 8 satellite images were downloaded from the USGS platform, which were used for the treatment and verification of the meanders, in addition to calculating erosion, sedimentation and distances between the banks of the three meanders throughout the study period, using the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). Finally, hypothesis testing was performed using Student's t-test to determine if the distances of the meanders of the Mayo River changed significantly between 1995 and 2021. The results indicated a significant reduction in the distances of the three meanders analyzed, with the third meander showing the greatest decrease. Likewise, by applying a simple linear regression equation, it was estimated that by the year 2033 the distance between the banks of meander three will be 0 meters, which will initiate the formation of an oxbow lake, which is locally known as “tipishca”.

Keywords: Meanders, erosion, sedimentation, river dynamics



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

En el contexto internacional, el río Guayaviare ubicado en Colombia, sufre de factores naturales como la erosión, transporte de sedimentos y deslizamientos, los que provocan inundaciones constantes, causando impacto directo en lo social, económico, infraestructura en la zona y demás áreas aledañas por lo que es indispensable estudios para evaluar las afectaciones y aterrizar en iniciativas (Lucas *et al.*, 2019).

En el ámbito nacional, el río Huallaga presenta un gran dinamismo, evidenciándose que, en el período de análisis realizado en ese sector, nos muestra que este ha cambiado su dirección dejando un cauce abandonado, la dinámica es a lo largo de su lecho, notándose que en las zonas en donde el río cambia de dirección ha migrado incluso hasta más de 2 Km (Alonzo R. y Huayaney, M.,2020).

En la región San Martín, en varios puntos del río Mayo se produjo diversos efectos, entre ellos las inundaciones por desborde de río, erosiones, etc., tal cual ocurrió el 16 de marzo del 2023 en la ciudad de Moyobamba “sector Puerto Guillermo, ubicados en la margen derecha de río Mayo” (INDECI, 2023)

Uno de estos es el Río Tangumi que frecuentemente existe inundaciones y la parte del centro poblado Juningue no está exento a esta problemática, así mismo la falta de estudios que involucren herramientas tecnológicas para predecir estos comportamientos y simular la evolución en un área determinada.

Desde años atrás hasta la actualidad, se evidencia el cambio de rumbo del curso del río Mayo, a lo que se denomina meandros, el problema surge cuando estas variaciones de rumbo impactan directamente en la población o cultivos aledaños, por lo que es indispensable conocer la evolución de estos y de futuros años, con el objetivo de planificar e implementar proyectos que mitiguen dichos impactos.

Es por ello que se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuál es la evolución de la dinámica meándrica del río Mayo durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba? A partir de ello, se formuló la siguiente hipótesis (Hi): La dinámica de los meandros del río Mayo son significativos durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba.

El objetivo general de la investigación fue: Evaluar los meandros del río Mayo durante el periodo 1995 – 2021, mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba. Los objetivos específicos fueron: Evaluar la dinámica fluvial durante el periodo 1995 – 2021;

Determinar escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021; y Analizar patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales

Guio y Parra (2018), en la investigación denominada “Análisis multitemporal de la dinámica fluvial del río Cravo sur en el tramo Yopal-Guafal, para la identificación de áreas susceptibles a inundaciones” el estudio se realizó mediante imágenes satelitales con el programa ArcGIS con la herramienta álgebra mapas en los años 1985 al 2015, se determinó al cambio del cauce además de las zonas con más sinuosidad. Resulta que se identificaron que en el transcurso del periodo de evaluación unos meandros abandonados que son potenciales a inundarse en el tiempo en la que se clasificó en susceptibilidad alta, media y baja en las fajas ribereñas de los ríos, adicional a ello se evaluó la vegetación en un periodo de 1985 al 2009 a través del método de clasificación supervisada en la que se concluye que el cambio de cobertura influye con las inundaciones.

Pantevis y Torres (2020), en el estudio de pregrado denominado “Geomorfología y dinámica fluvial del río Amazonas a la altura de Leticia, aplicado a Zonas de inundación” cuyo fin de la investigación fue determinar las áreas más vulnerables a inundaciones en la que se realizaron mediante la fotointerpretación teniendo en cuenta la dinámica fluvial multitemporal. Resulta que en la llanura se pronuncia un canal conocido como meandro en este lapso de esta faja se crearon y destruyeron islas muy pronunciado en los últimos 50 años abarcando desde 1970 al 2019 a causa de la deforestación y degradación tomando en cuenta la geomorfología, dinámica fluvial.

Suarez y Vargas (2021), en su investigación denominada “Análisis multitemporal en el cambio de la dinámica fluvial en relación al cambio de coberturas de la tierra en el afluente principal de la subcuenca del Río San Juan-Cundinamarca” se realizó con imágenes satelitales en los periodos de 2002, 2010 y 2018 en la que resulta que hay una relación directa entre el cambio de cobertura y la dinámica fluvial, además de existir una sinuosidad hidráulica y topográfica, con una correlación de 0.970 es decir una correlación positiva muy fuerte.

Bohórquez et al. (2021), en su investigación titulado "Análisis multitemporal de la frontera fluvial entre Perú y Colombia mediante análisis de imágenes satelitales basado en objetos geográficos durante el período 1989-2015" se aplica la metodología

semiautomatizada para estudiar la dinámica del flujo del río Amazonas, dicha investigación se dividió en 05 etapas, aplicando el método GEOBIA en la etapa 04. se muestran los resultados indicando una repercusión en su superficie ya que hubo cambios en islas arenosas, erosiones y dinámica en el fondo del río entre los años 1989 al 2015, siendo los causantes el aumento de sedimento y el desplazamiento del thalweg, es decir, se identificó una exactitud del 99,2% en base a lo que se estima y lo que existe.

Antecedentes nacionales

Silva y Davila (2022), en la tesis titulada: “Evaluación de los impactos generados sobre el tránsito fluvial ante los últimos desplazamientos del río Amazonas en el sector de ingreso al terminal portuario de Iquitos y el posicionamiento del río Itaya sobre ese sector, 2021”, el estudio evaluó el impacto del flujo del transporte fluvial de carga provocado por la migración del río Amazonas en el sector antes mencionado, por lo que utilizaron la técnica multitemporal de imágenes LANDSAT, la barimetría y el seccionamiento del río Itaya con ADCP, obteniendo como resultado que el río Amazonas se ha desplazado 5288 m entre el año 1985 y 2000, teniendo una migración neta de 5997 m hasta ahora, dando como resultado una velocidad de 166 m/año.

Antecedentes regionales

Abanto (2021), en la tesis de pregrado denominado “Análisis mediante imágenes satelitales de la erosión lateral del río Huallaga, en el área de influencia del distrito de Picota” El estudio abarcó una zona de Picota con una extensión de 2144,6791 Km², en la que se realizó mediante imágenes de satélite Landsat 5 TM y Landsat y 8 OLI en el programa ArcGIS 10.5. Como resultado se encontró que durante 2010 al 2015 se erosionaron 29 zonas con un área total de 152,720 Ha.

2.2. Fundamentos teóricos

Es el estudio de la estructura, las formaciones fluviales, la mecánica de desarrollo, así como también la configuración del cauce en planta, la geometría de las secciones transversales, las cualidades del perfil y la formación del fondo (Rocha, 1998). Los cambios que experimenta un río pueden deberse a su propia conducta, o también a actividades externas, primordialmente antrópicas. Debido a estas acciones se puede deducir un futuro comportamiento de los ríos.

Todo el tiempo, los ríos sufren variaciones en su morfología, por ejemplo, la cantidad de caudal varía dependiendo de la estación que se encuentre la zona, estos cambios

también se dan debido a las características geológicas de la cuenca a la cual pertenece el río, así como de la cobertura vegetal, la sedimentación y las ratios de erosión.

Se puede predecir los cambios morfológicos del río siempre que se tenga información relacionada al discurrir del flujo, las características geométricas, el traslado de sedimentación, siendo necesario observar las acciones externas como la cobertura vegetal, es decir, la longitud de las raíces, la rugosidad, etc., y también el uso correcto de modelos matemáticos (Olivares, 2016).

2.2.1. Perfil longitudinal del río.

Este estudio permite observar la pérdida de cota en todo su recorrido. Lo que se aprecia mayormente es una pendiente alta en su nacimiento y disminuye río abajo. Este cambio de pendiente es ocasionado por la erosión y sedimentación. Generalmente las pendientes son de forma cóncava, en donde estas disminuyen a partir de las zonas de mayor erosión hasta las zonas donde son depositadas que sería en la parte baja del río.

Para determinar el perfil longitudinal se aplica la siguiente fórmula:

$$S_x = S_o e^{-ax}$$

Donde:

S: Es la pendiente en la abscisa

x: aguas debajo de la sección de referencia

a: es el coeficiente de disminución de la pendiente.

Las partículas de la sedimentación van cambiando de tamaño a medida que se avanza río abajo y la corriente varía, esto sucede por la velocidad y capacidad de arrastre de la corriente que varía.

Factores de cambio en la pendiente.

- a) **Cambios geológicos.** Es cuando el río pasa de un tipo de roca a otra, así como también cuando pasa a otra falla geológica.
- b) **Confluencia de ríos.** Son los cambios bruscos de caudal y de sedimentación.
- c) **Erosión o sedimentación remontante por efecto de la intervención antrópica del cauce.** Eso ocurre por la explotación de puentes, materiales, represas, la modificación del alineamiento del cauce, etc. (Suarez J., 2001)

2.2.2. Sección transversal del río

La formación de la sección transversal en una corriente tiene que ver con el sitio del canal, así como de su geometría en planta, la tipología del canal y las características de la sedimentación. Si la sección transversal se encuentra en la curvatura externa o cóncava del cauce eso quiere decir que es más profunda y presenta un talud lateral de forma vertical, pero si se encuentra en el lado convexo o interior de la curva eso significa que no están profundas.

Para describir la forma de la sección transversal se requiere el ancho del río, el área y su profundidad máxima. Así mismo, se debe conocer los valores de relación ancho y profundidad (w/d), profundidad promedio (d), radio hidráulico (R), perímetro mojado, capacidad del canal ($AR^{2/3}$) (Suarez J, 2001).

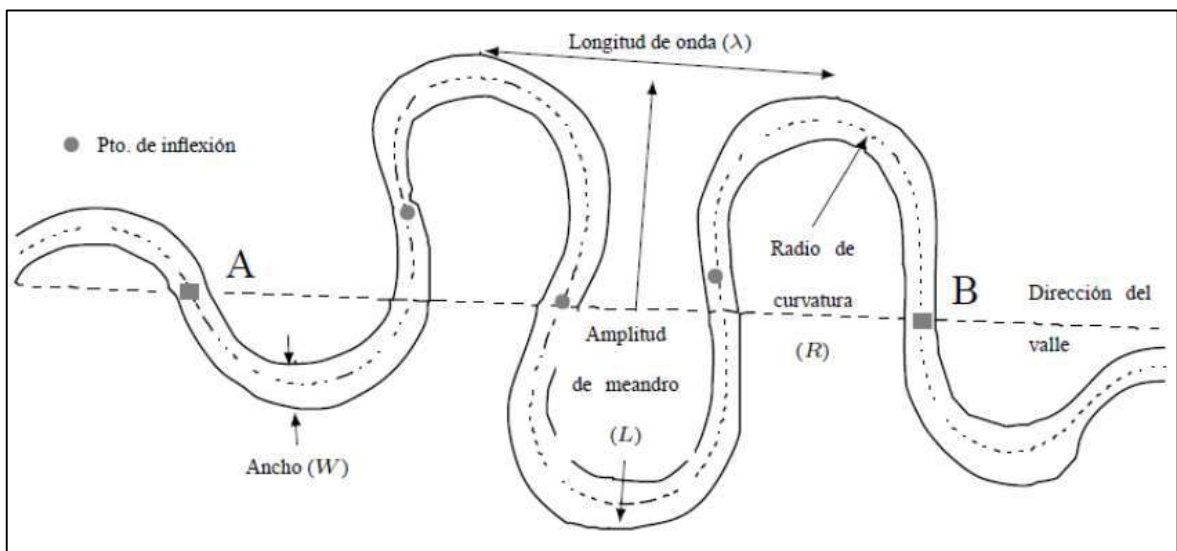


Figura 1

Sección transversal del río.

Nota. Parámetros morfométricos de un canal meándrico.

Fuente (Quintana, Dinámica de meandros del Alto Amazonas (Basin, 2015)

2.2.3. Formación de los meandros

La formación de los meandros se basa en la sinuosidad (S) que es la relación entre la longitud del cauce principal (L_r) y la del valle que drena (L_v), siendo la fórmula:

$$S = \frac{L_r}{L_v} > 1,5$$

Se presencia una asociación entre el ancho de un cauce y la longitud del meandro, así como del ancho del cauce y el radio de curvatura (Richards, 1982)

Para entender la formación de los meandros se ha simulado en canales de laboratorio en base a un cauce rectilíneo. Se da inicio al proceso cuando aparecen los sedimentos

ya que estos pueden obstruir y desviar el flujo. Cuando el flujo se desvía ocasiona la erosión de las orillas y los sedimentos son depositados en la orilla opuesta. El caudal tendrá una formación sinuosa para así generar la curvatura meándrica. En base a ello se explica los procesos de erosión y deposición de sedimentos más no se explica la forma septentrional del río (Leopold, 1994)

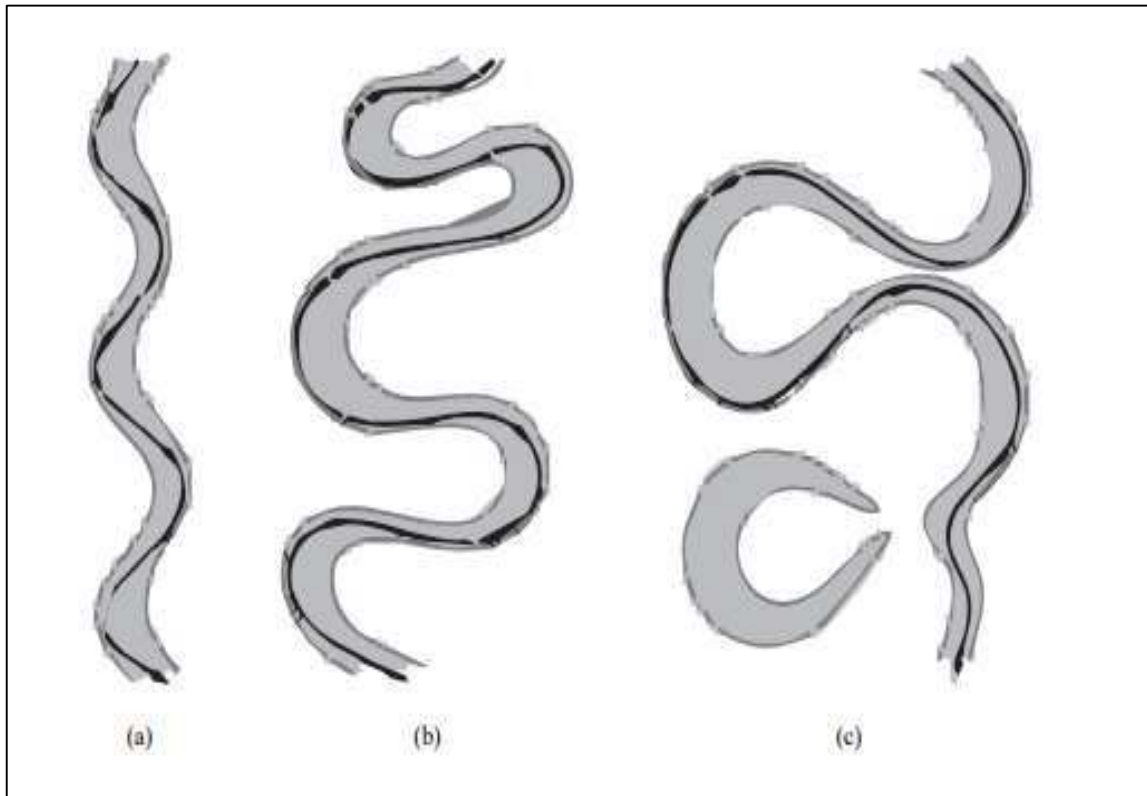


Figura 2

Sinuosidad de meandros.

Nota. Se muestra la secuencia desde la meandrización (a y b) hasta la migración del cauce a través del proceso de corte (c) (Leopold, 1994)

2.2.4. Desplazamiento de los meandros

Luego de la formación se da la migración para posteriormente desplazarse lateral y longitudinalmente, siguiendo la trayectoria principal del cauce. Tanto la meandrización como la migración son procesos que aún no son de cierta manera entendibles (Güneralp et al., 2012).

Existen los desplazamientos transversales al eje principal del valle, así como el desplazamiento del cauce con dirección a la escorrentía. Ambos son beneficiosos para la sedimentación ya que estos se almacenan en llanuras de inundación (Leeder et al., 1996).

2.2.5. Tipos de movimiento de meandros

Se presencian dos categorías de cambio de cobertura llamadas simple y compuesto.

En la simple se muestra un cambio de las curvas a partir de la extensión, rotación o expansión. La rotación se origina a partir de los tres modos simples.

La extensión es definida por como el retiro del banco exterior de una curva ortogonal a la dirección que suele tener el río en estudio.

La extensión se refiere al cambio de la curvatura donde el banco exterior se retira en dirección transversal a la corriente haciendo que la curvatura sea desplazada lateralmente y ampliando el crecimiento (Knighton, 1999).

2.2.6. La migración y sus tipos

Las migraciones son denominadas como avulsiones, estas pueden ser parciales, es decir que parte del flujo se desvía pero no deja de coexistir con el río principal y también están las completas que sucede cuando todo el caudal cambia de curso y no vuelve a su trayectoria principal, además se cuentan con avulsiones denominadas nodal, estas no son excluyentes ya que pueden incluir uno o más avulsiones aleatorias, y finalmente se tienen las locales que son más pequeños y funcionan como un sistema de canales (Slingerland y Smith, 2004).

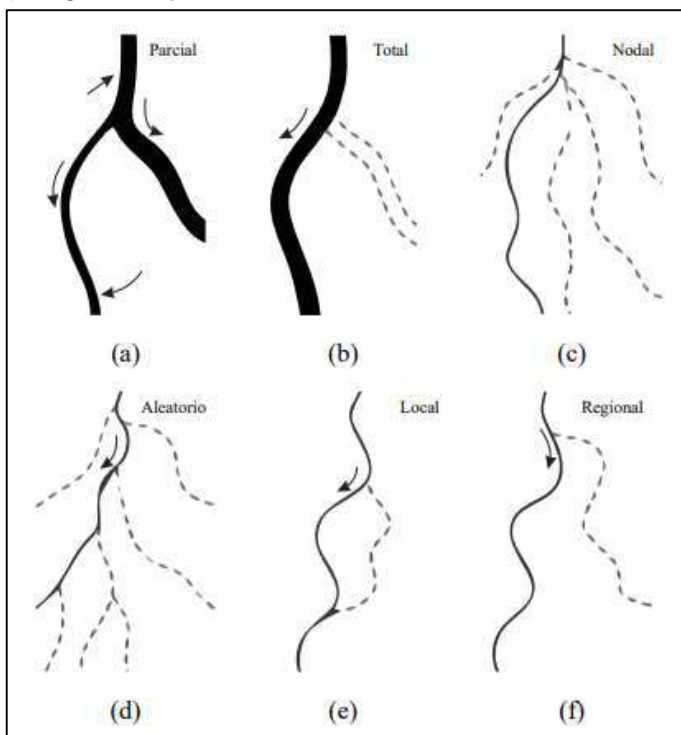


Figura 3

Tipos de meandros.

Nota. Se muestran las 6 tipologías de evoluciones. Fuente: (Slingerland y Smith, 2004)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

Ubicación geográfica

El centro poblado de Juningue pertenece al distrito de Moyobamba con UBIGEO 220101 con latitud sur 6° 2' 34.5" S (-6.04290499000); con longitud oeste 76° 54' 50.5" W (-76.91404093000), está a unos 815 m.s.n.m. (DePerú.com, 2022).

Ubicación política

El centro poblado Juningue está limitado por:

- Por el este: Limita con la ZoCRE Juninguillo – Yanayacu – distrito de Moyobamba
- Por el oeste: Limita con el lindero del Río Mayo – distrito de Moyobamba.
- Por el norte: Limita con el centro poblado el Nuevo Progreso y ZoCRE Juninguillo – Yanayacu – distrito de Moyobamba.
- Por el sur: Limita con el centro poblado Marona – distrito de Moyobamba.

Contexto histórico y jurídico

El centro poblado Juningue, se encuentra ubicado en la margen izquierda del río Mayo y cuenta con vías de acceso afirmadas, se ubica al norte de Moyobamba, a unos 30 min, tiene una constancia de ubicación N° 028-2009-GRSM/GRPPAT.

3.1.1 Periodo de ejecución

Se desarrollo en un periodo de 8 meses de acuerdo a resolución **N° 267-2023-UNSM/CF/FE** Moyobamba, 27 de junio de 2023, la investigación se realizó en el periodo del 27 – 06 – 2023 al 26 – 02 – 2024

3.1.2 Autorizaciones y permisos

- Solicitud al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú: Para obtener los datos meteorológicos (precipitación), se realizó una solicitud oficial por parte de la Facultad de Ecología a través de una carta dirigida al gerente del SENAMHI, con fecha 23-10-2023. (**Ver Anexo 3**)
- Certificación que acredita al especialista el manejo de dron: Para la captura de imágenes áreas del área de estudio, fue esencial contar con el apoyo de un profesional certificado en el manejo de drones, lo cual garantiza que el especialista

posee los conocimientos necesarios para operar el dron. (Ver Anexo 4 y Anexo 5)

3.1.3 Control ambiental y protocolos de bioseguridad

No aplica

3.1.4 Aplicación de principios éticos internacionales

El estudio está basado bajo los principios que caracterizan al tesista, así mismo está sujeto al código de ética de la Universidad Nacional de San Martín las cuales son:

- **Totalidad/ integridad:** Estará inmerso a todo el proceso de la investigación, desde la elaboración del perfil hasta la elaboración del informe final y artículo. Esto con la finalidad de aportar conocimientos relevantes a la cultura científica local, nacional e internacional como una importante bibliografía para posteriores investigaciones relacionados al tema; teniendo en cuenta la honestidad en todos los aspectos de esa investigación, tanto la recopilación de información en campo, como en su validación en gabinete y su posterior publicación.
- **Respeto a las personas:** Es fundamental en toda investigación, sea como personal de apoyo o aquella que se encuentre dentro del área de estudio, principalmente porque la esta investigación, va dirigido a las personas, con la finalidad de mantenerlos informados ante los sucesos que se llevan a cabo en el área de estudio.
- **Respeto al ecosistema:** Durante la investigación se tendrá en cuenta la conservación de la biodiversidad que alberga el área de estudio y el uso de los recursos naturales, haciendo hincapié de que no será necesario la extracción de los recursos naturales del área, cumpliendo fielmente al código de ética de la UNSM, además de que esta investigación está del grupo de **ECOSISTEMAS (N° 1076-2022-UNSM/CFT/CU-R)**.
- **Beneficencia y justicia:** Con los resultados obtenidos de la presente investigación, las cuales se darán de manera clara y precisa, permitirá a los pobladores y autoridades a proyectarse en un futuro.

Así mismo se declara que los procedimientos logísticos, aplicativos, entre otros se realizará bajo los principios generales de la investigación como:

- **Validez científica:** Haciendo referencia a la solidez y confiabilidad de los resultados obtenidos, buscando principalmente que los resultados sean tomados en cuenta en posteriores investigaciones.
- **Validez social:** La investigación tiene como área de estudio en una zona importante del Alto Mayo, principalmente porque en ella se realizan actividades económicas,

como la agricultura, por lo que estará involucrando a la sociedad ante un problema real, por lo que su desarrollo será de utilidad no solo a las personas sino a las autoridades locales.

- **Empatía:** Se manifiesta principalmente entre las interacciones del investigador y las personas involucradas en el desarrollo de la investigación, generando una colaboración para lograr un bien común.
- **Responsabilidad:** La responsabilidad se ve reflejado en cada actividad de la presente investigación, desde la recopilación de la bibliografía pertinente citando los resultados de otros autores, hasta en la obtención de los resultados, mostrando la validez en cada uno de los procedimientos; de la misma manera la responsabilidad se ve reflejada con el aporte que tiene hacia la sociedad.

3.2. Sistema de variables

3.2.1 Variables principales

➤ Meandros

Tabla 1

Descripción de variables por objetivo específico

Objetivo específico № 1: Evaluar la dinámica fluvial durante el periodo 1995 – 2021			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Dinámica fluvial	Evolución del cambio del curso del río	• Imágenes satelitales	Metros (m)
Objetivo específico № 2: Determinar escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Meandro	Desplazamiento	• Ficha de registro • Imágenes satelitales	Metros (m)
Objetivo específico № 3: Analizar patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Patrones espaciales	Tasa de erosión y sedimentación	• Ficha de registro	Hectáreas (Ha)

3.3. Procedimientos de la investigación

La investigación se realizó con un orden cronológico ascendente con la finalidad de cumplir los siguientes objetivos. “Determinar escenarios de migración meándrica en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021; Analizar patrones espaciales de la migración meándrica en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021 y Evaluar la dinámica fluvial durante el periodo 1995 – 2021”

3.3.1 Dinámica fluvial

- **Revisión bibliográfica.** Esta actividad fue sujeta a la revisión a detalle de libros y revistas indexadas, así mismo se consultará a especialistas en el tema con la finalidad de tener mayor conocimiento para ejecutar dicho proceso.
- **Solicitud de datos meteorológicos.** Se procedió a solicitar datos de precipitación del año 1995 al 2021 al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) con fecha 23 de octubre del 2023 que se muestra en el **Anexo 3**.
- **Procesamiento de la precipitación.** Con los datos obtenidos del SENAMHI se procedió a la digitación en el programa Microsoft Excel con los datos de la precipitación total anual, con la finalidad de obtener la gráfica el cual se evidencia el comportamiento fluvial, en los años de estudio.

3.3.2 Escenarios de meandros

- **Reconocimiento del área de estudio.** Se inició con un reconocimiento satelital del área de trabajo (**Ver Anexo 8**), posterior a ello se realizó una visita in situ para constatar y verificar los procesos meándricos.
- **Ubicación de puntos concurrentes.** En la visita in situ se tomó coordenadas de los desplazamientos que tengan mayor sinuosidad con la finalidad de tener en cuenta los puntos con mayor influencia y concurrencia para el modelamiento, en este caso se identificaron dentro del área de estudio los tres meandros a evaluar.

Tabla 2
Coordenadas en zonas de desplazamiento

N°	Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
1	Sedimentación	9331395	287270	812
2	Erosión	9331581	287415	803
3	Sedimentación	9330552	288132	799
4	Erosión	9330364	288109	779
5	Meandro 3 - Punto 1	9330821	288268	813
6	Meandro 3 - Punto 2	9330803	288246	813
7	Meandro 1 - Punto 1	9331626	286832	800
8	Meandro 1 - Punto 2	9331546	286912	802
9	Meandro 2 - Punto 1	9331462	286979	804
10	Meandro 2 - Punto 2	9331423	287137	804

A continuación, se muestran los meandros identificados y los puntos tomados en la salida de campo:

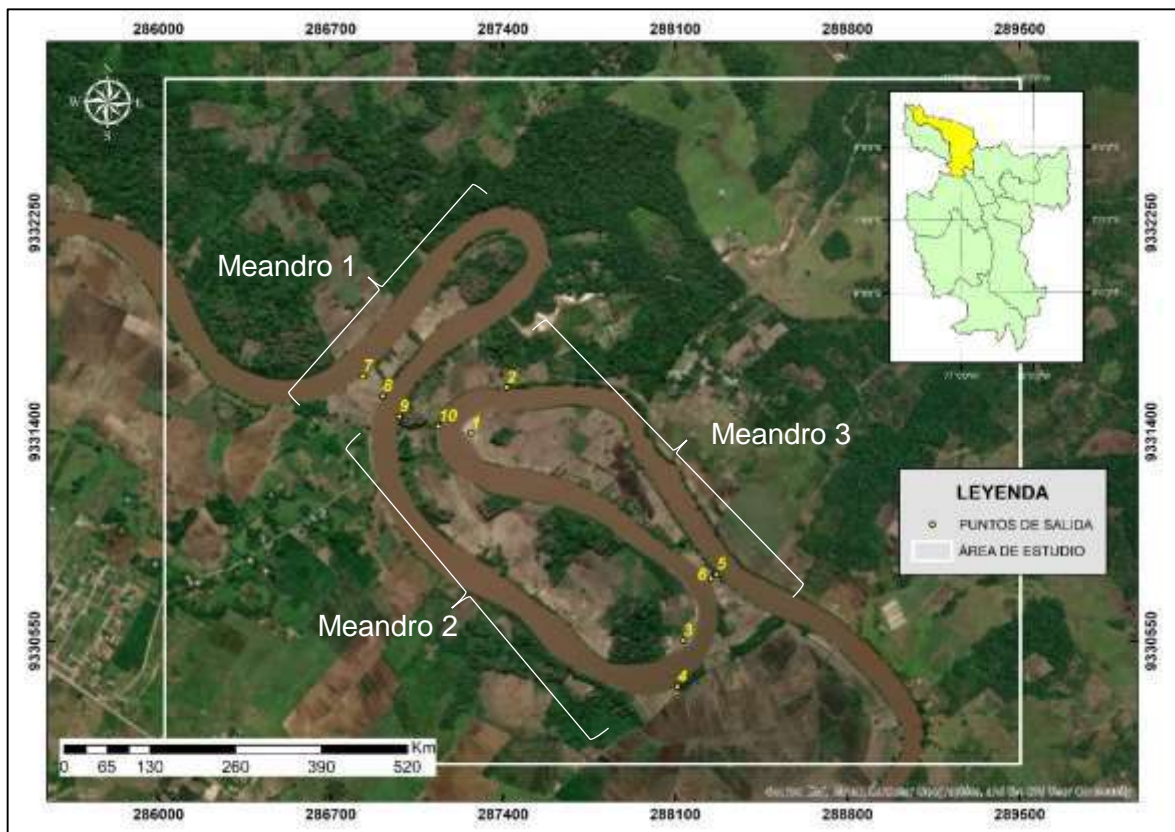


Figura 4
Mapa de ubicación de las coordenadas en zonas de desplazamiento.

- **Levantamiento de data de campo.** Se aplicó la ficha de recolección de datos que se evidencia en el **Anexo 6**.
- **Adquisición de imágenes satelitales.** Se descargaron las imágenes satélites de la plataforma *United States Geological Survey* (USGS), desde el año 1995 al 2021, dentro de ellas se encuentran las Landsat 5, 7 y 8, posterior a ellos se llevó a cabo el tratamiento de estas, así como el *pansharpen* para aumentar la resolución de las imágenes satelitales de 30x30m a 15x15m, según correspondan (USGS, 2024).

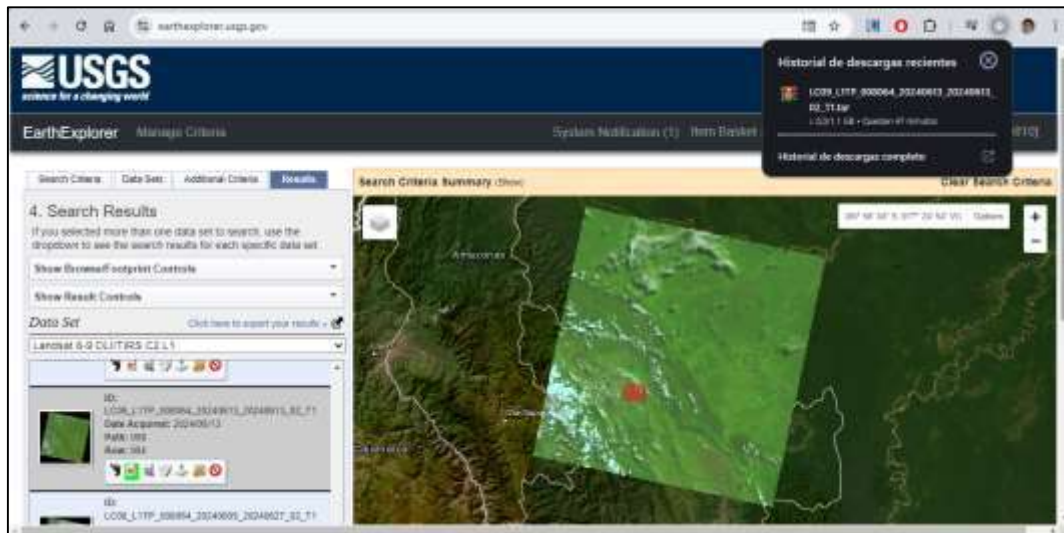


Figura 5

Descarga de imágenes satelitales de la plataforma USGS.

- **Georreferenciación y digitalización.** Estas actividades se realizaron mediante los shapefiles del río Mayo dentro del área de estudio, obtenidos a partir de imágenes satelitales Landsat desde 1995 hasta 2021. Se utilizaron dos puntos de coordenadas para cada meandro, tomados en campo, con fecha: 29 de enero de 2024, para realizar este proceso, las coordenadas fueron:

Meandro 1: 286832; 9331626 y 286912; 9331546

Meandro 2: 286979; 9331462 y 287137; 9331423

Meandro 3: 288268; 9330821 y 288246; 9330803

Estos puntos de coordenadas sirvieron como referencia para calcular las distancias de cada meandro de orilla a orilla, a lo largo de los años. Este análisis permitirá evaluar los cambios en la morfología del río y su dinámica fluvial a lo largo del tiempo.

3.3.3 Patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.

➤ Cálculo de la erosión y sedimentación

Se realizó en el programa ArcGIS, con los shapefiles obtenidos de la digitalización con las imágenes Landsat de los meandros de 1995 al 2021, para dicho proceso se siguió los siguientes pasos:

- Cálculo del Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado (MNDWI)

Para el desarrollo de esta actividad se aplicó el método propuesto por Xu (2006) el cual presenta una metodología similar a la de McFeeters (1996). En esta situación, no aplica el manejo de la banda NIR sino la SWIR, esta es más conocida como el Índice de Agua de Diferencia Normalizada Modificado o por sus siglas en inglés **MNDWI**. (Xu, 2006)

Para ello se aplica la siguiente fórmula aplicando la herramienta Raster Calculator del ArcMap:

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)}$$

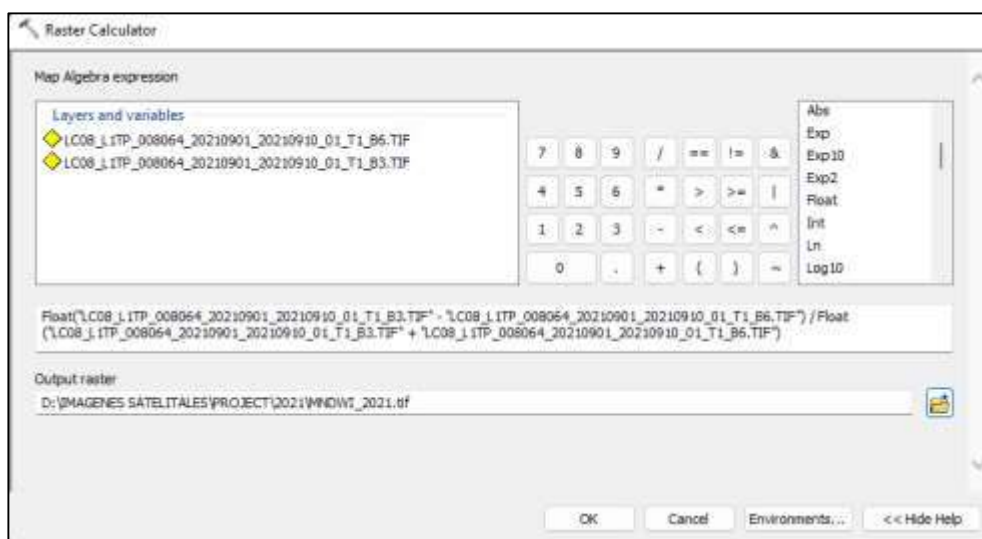


Figura 6

Aplicación de la fórmula MNDWI en la herramienta Raster Calculator.

Reclasificación de los valores obtenidos en el MNDWI

Una vez obtenido el resultado, se empleó la herramienta Reclassify, el cual permitió modificar los valores del ráster con el cual se pudo visualizar el curso del río.



Figura 7
Herramienta Reclassify.

Como se visualiza en la **Figura 8**, una vez colocada el ráster en la herramienta, automáticamente aparecen los valores, siendo en este caso de 9 valores, clasificándolo a solo 2 valores y aceptar.

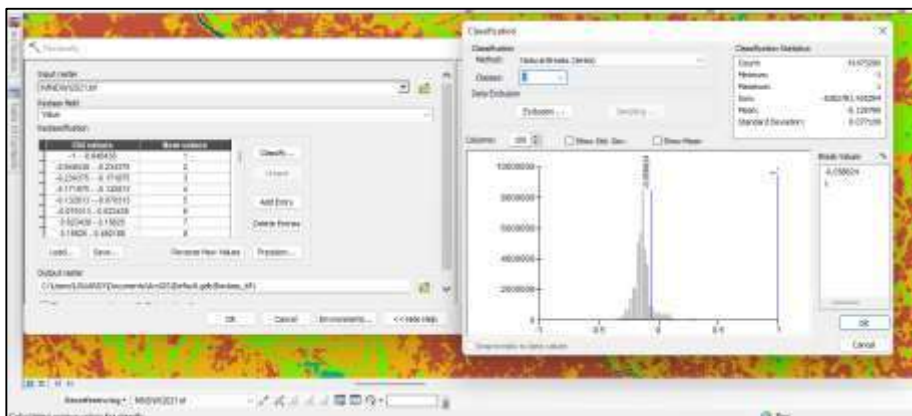


Figura 8
Aplicación de la herramienta Reclassify.

Culminando el procesamiento, se puede muestra solo los dos valores, apreciando con mayor detalle el flujo del río Mayo.

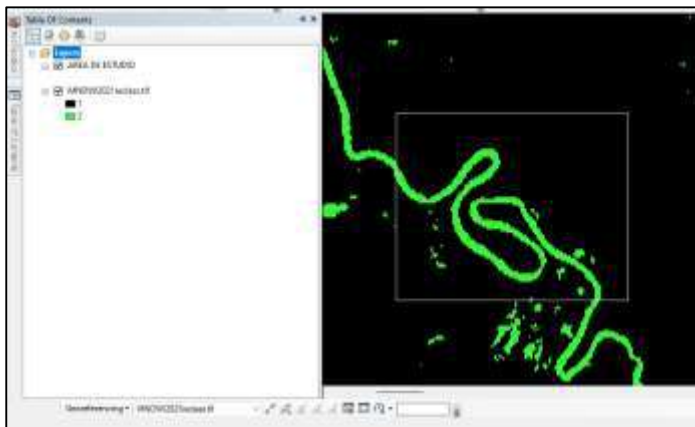


Figura 9
Resultado final de la herramienta Reclassify.

- Conversión de ráster a polígono

Esta conversión se dio con la finalidad de extraer los shapefiles del río Mayo dentro del área de estudio de la investigación, con la finalidad de calcular la erosión y la sedimentación en los periodos: 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010, 2010-2015 y 2015-2021.

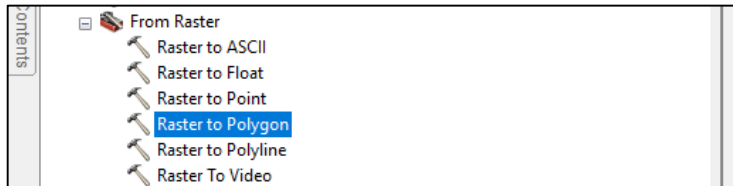


Figura 10

Aplicación de la herramienta Raster to Polygon.

- Extracción del shapefile río

Una vez aplicado la herramienta, fue posible extraer el shapefile del río Mayo, seleccionando solo la forma del río hasta que esté resaltado con color celeste, posterior a ello se aplica la herramienta exportar y se editó para obtener una forma más real.



Figura 11

Selección del shapefile del río Mayo.

A continuación, se muestran los resultados de los shapefiles obtenidos:

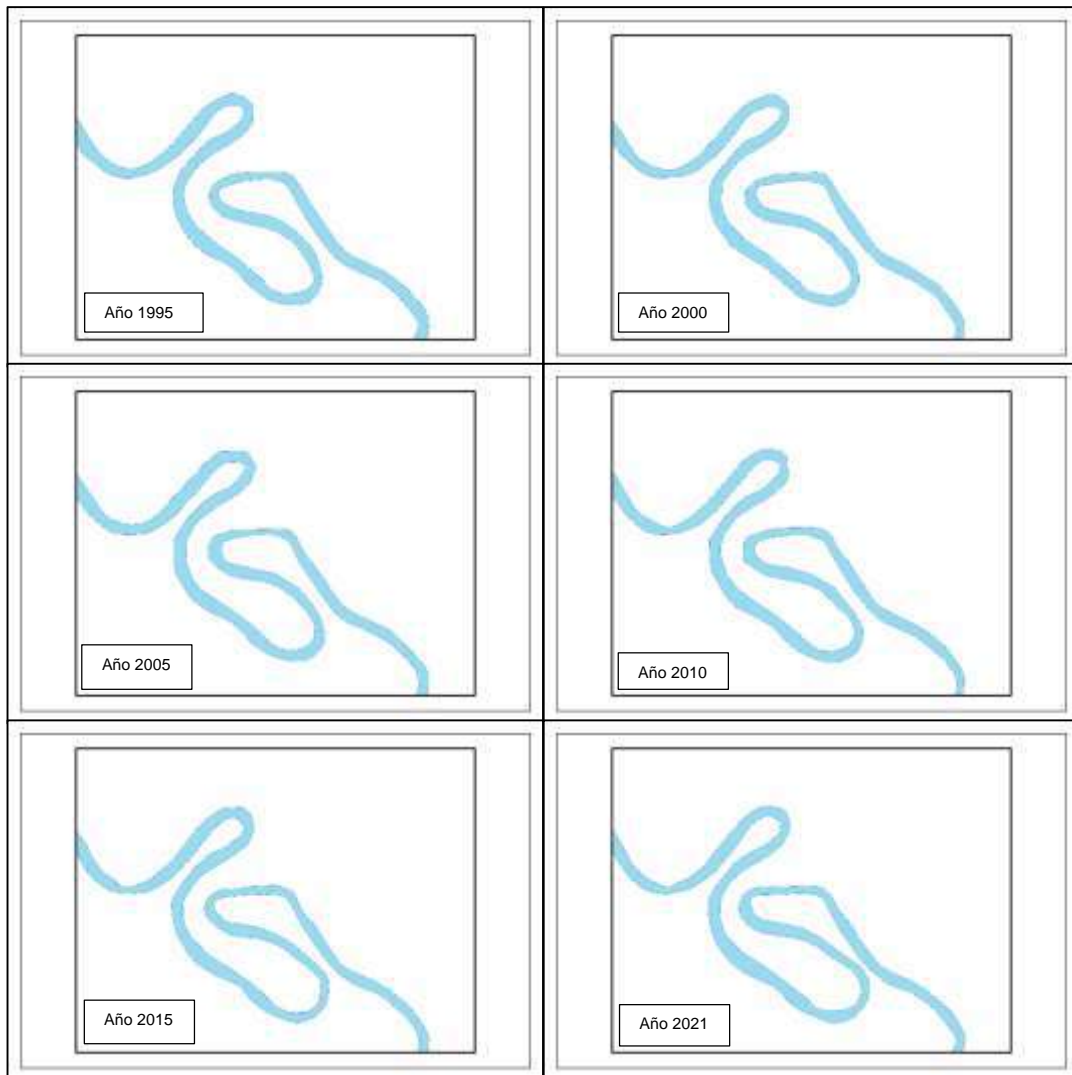


Figura 12
Shapefiles del río Mayo obtenido en los distintos años.

Para cuantificar la erosión y sedimentación en el área de estudio, se tomaron los shapefiles obtenidos del río Mayo y se calculó las “áreas sin cambio”, a través de la herramienta “Intersect” del ArcMap, agrupándolos en periodos de tiempo: 1995 - 2000; 2000 - 2005; 2005 - 2010; 2010 - 2015 y 2015 - 2021.

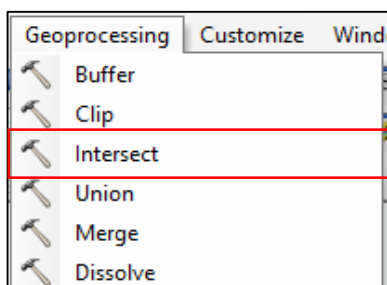


Figura 13
Herramienta Intersect.

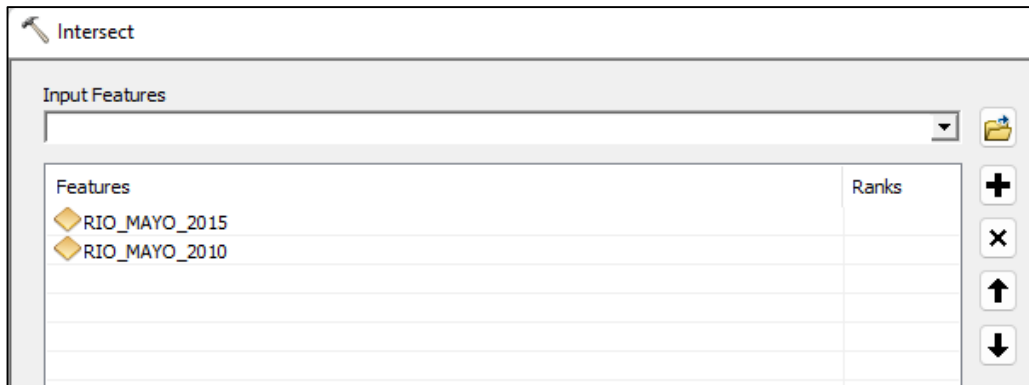


Figura 14
Aplicación de la herramienta Intersect.

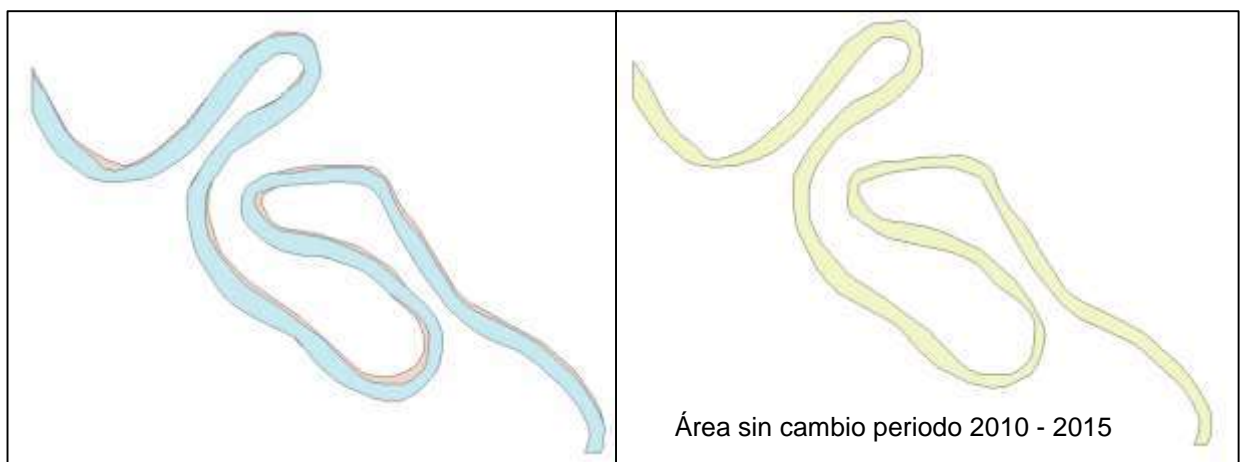


Figura 15
Resultado obtenido de la aplicación de la herramienta Intersect.

Finalmente, mediante las siguientes fórmulas, se calcularon las áreas de erosión y sedimentación de cada periodo de estudio:

$$\begin{aligned} \text{Área de Erosión} &= \text{Área del río del año siguiente} - \text{Área sin cambio del periodo} \\ \text{Área de Sedimentación} &= \text{Área del río del año anterior} - \text{Área sin cambio del periodo} \end{aligned}$$

➤ Análisis estadístico

Se empleó el software de Microsoft Excel que permitió determinar la proyección del comportamiento en un determinado periodo de tiempo, asimismo se aplicó la Ecuación de regresión lineal simple que se menciona a continuación:

$$E(y/x) = \beta_0 + \beta_1 x \dots \dots \dots \text{(USC, 2012)}$$

➤ Prueba de hipótesis

Para este proceso se aplicó la prueba t de Student, el cual permite determinar la significancia que tiene la variable independiente sobre la variable dependiente, siendo

estos: el tiempo y las distancias de orilla a orilla de los meandros del río Mayo identificados, respectivamente.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el capítulo se muestra los resultados obtenidos en la investigación, llegándose a determinar el comportamiento de los meandros entre los años 1995 al 2021.

4.1 Dinámica fluvial

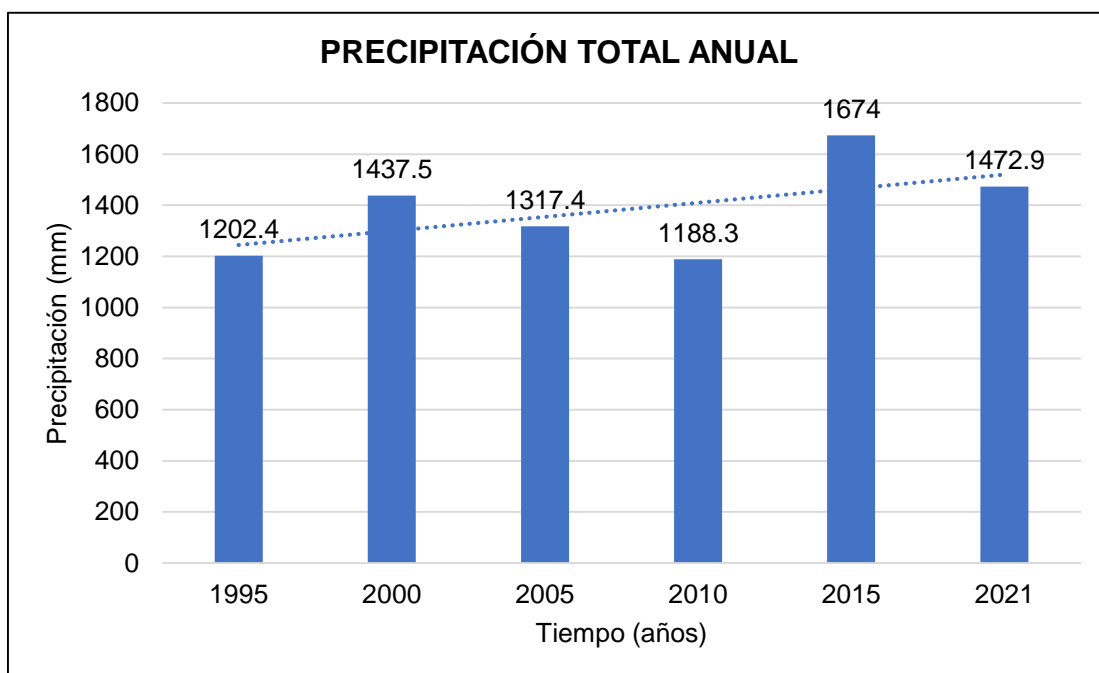


Figura 16
Precipitación total anual entre el año 1995 al 2021.

En la **Figura 16** se presenta el comportamiento de la precipitación total anual en el área de estudio durante el período de 27 años comprendido entre 1995 y 2021, los datos muestran un ligero incremento en la precipitación a lo largo del tiempo. En particular, el año 2015 registró la mayor precipitación total anual, alcanzando los 1674 mm, este aumento en la precipitación está relacionado con los cambios observados en la dinámica fluvial del río Mayo. Ya que, a medida que aumenta la cantidad de agua que fluye en el río, se modifican los patrones de erosión y sedimentación, lo que a su vez afecta la forma y el comportamiento de los meandros.

Además, es importante destacar el impacto de las actividades agrícolas en la zona de estudio, que incluyen la siembra de cultivos como arroz, maíz, plátano, frijol, etc. Estas actividades afectan directamente el comportamiento de los meandros debido a la alteración de la cobertura vegetal, lo que conlleva al incremento de los procesos de erosión, contribuyendo así a los cambios en la dinámica fluvial del río Mayo en el área de estudio.

4.2 Escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.

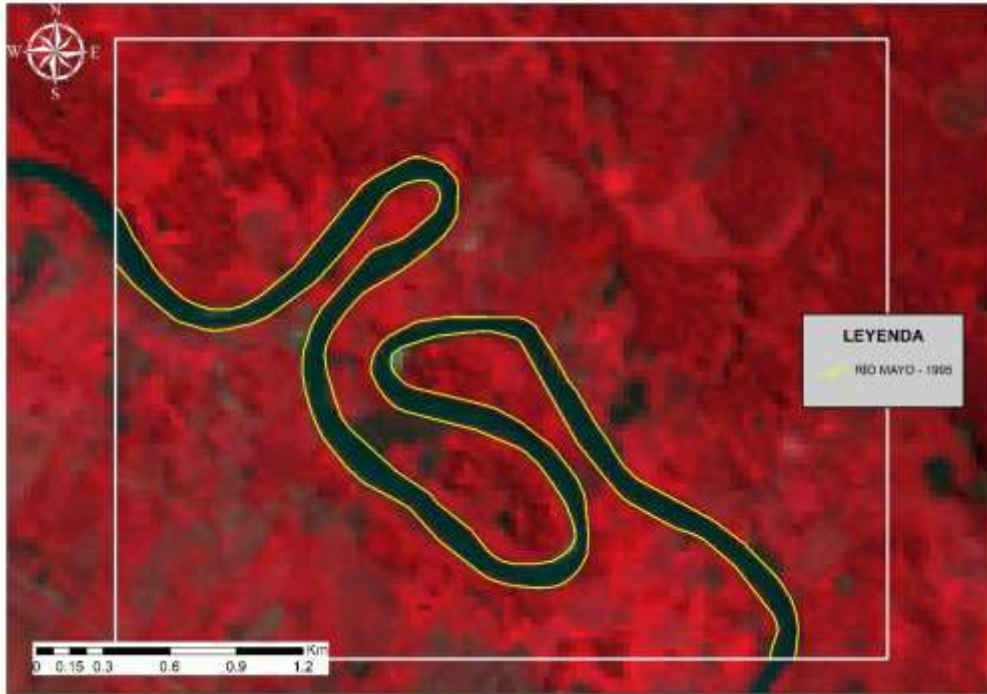


Figura 17
Mapa de identificación de los meandros en el año 1995.

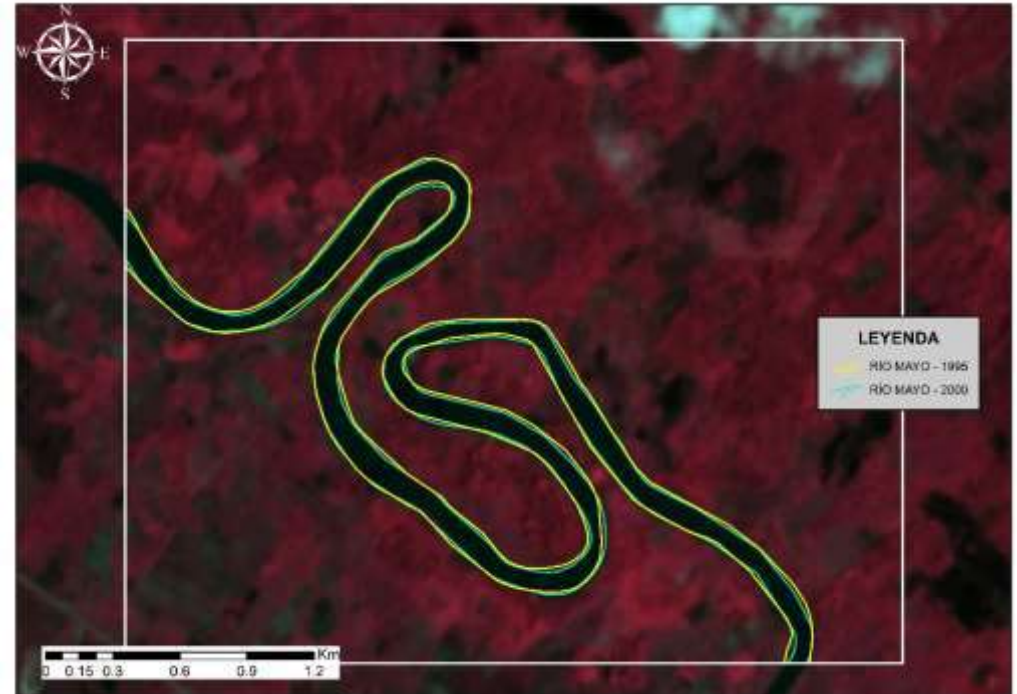


Figura 18
Mapa de identificación de los meandros en el año 2000.

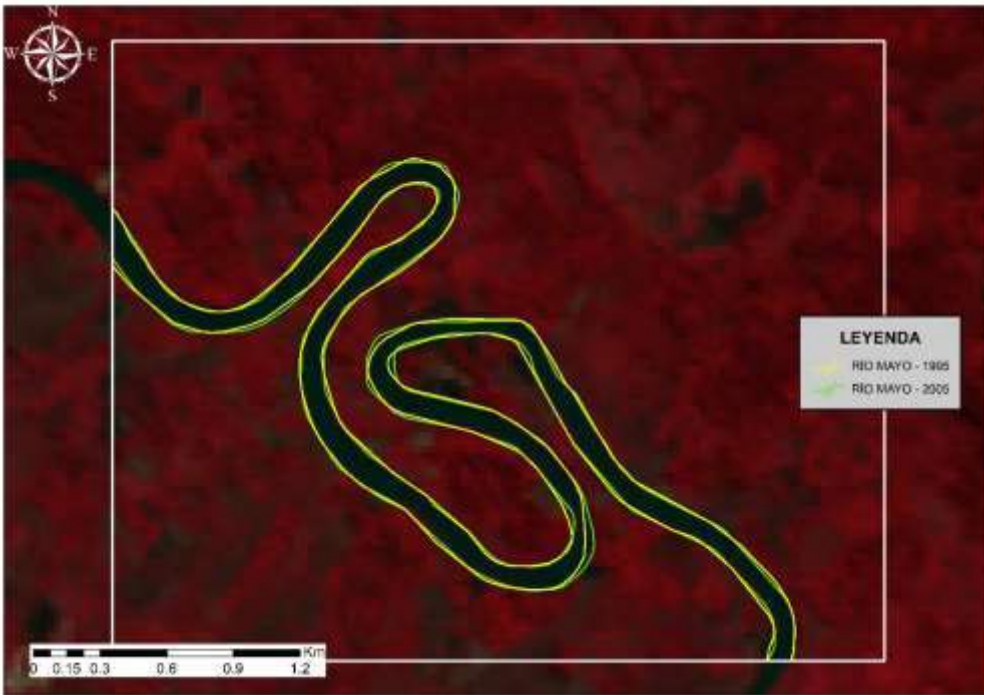


Figura 19
 Mapa de identificación de los meandros en el año 2005.

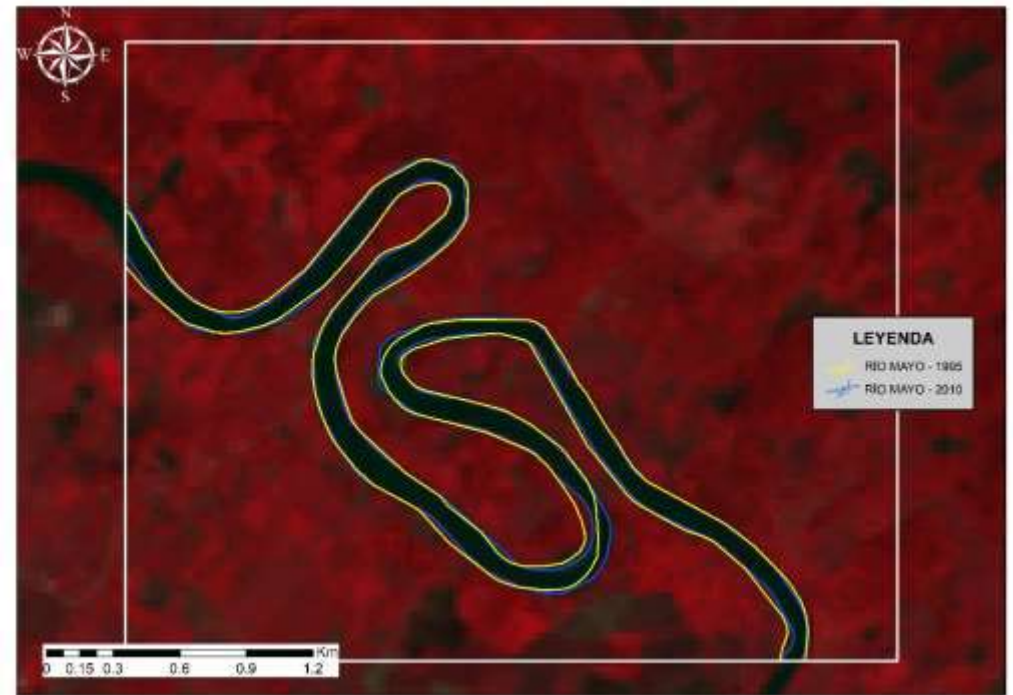


Figura 20
 Mapa de identificación de los meandros en el año 2010.

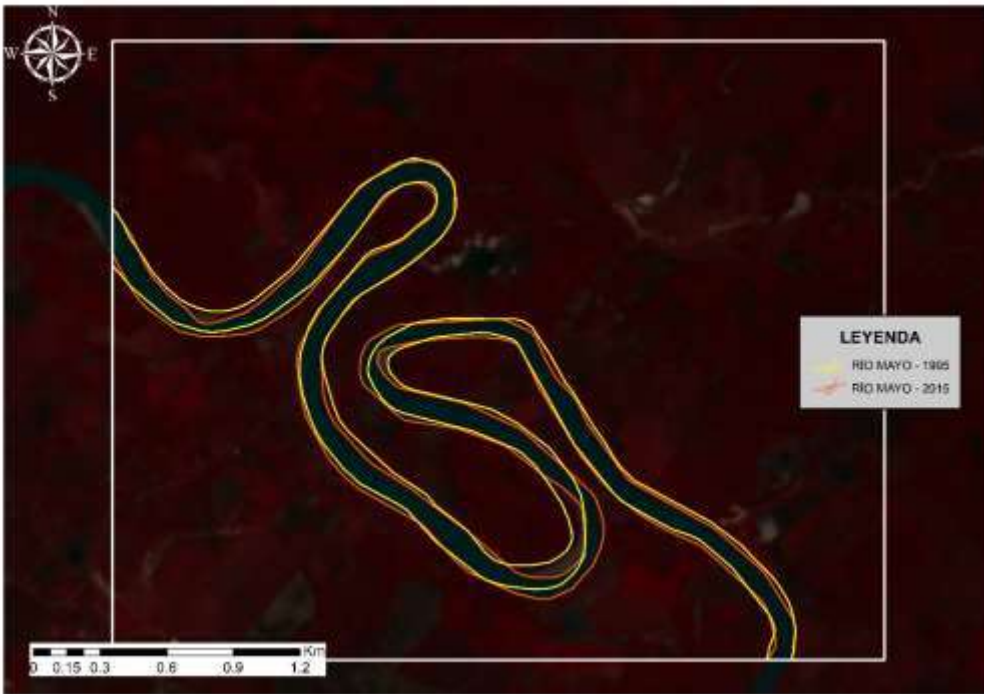


Figura 21
Mapa de identificación de los meandros en el año 2015.

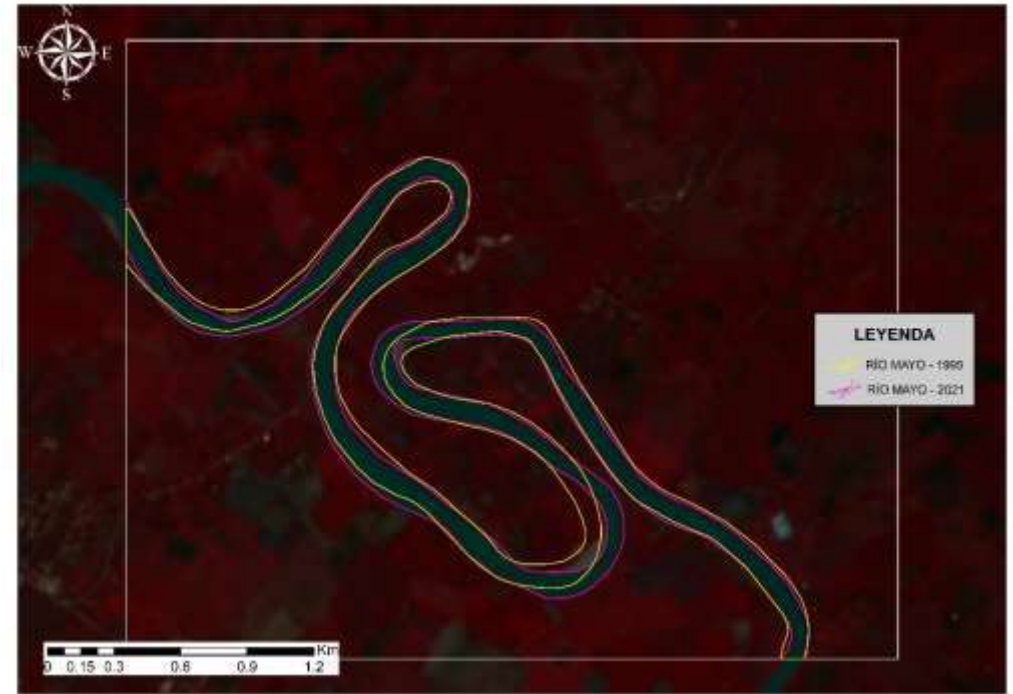


Figura 22
Mapa de identificación de los meandros en el año 2021.

Los mapas presentados muestran una comparación de los meandros del río Mayo en los años 1995 al 2021, identificando las modificaciones en la trayectoria del río en el área de estudio. Los mapas utilizan imágenes de satélite en falso color.

- Figura 17: Mapa de identificación de los meandros en el año 1995

Este mapa presenta la configuración de los meandros del río Mayo en 1995, con una delineación en color amarillo que marca la trayectoria del río. Asimismo, se observa los 3 meandros definidos.

- Figura 18: Mapa de identificación de los meandros en el año 2000

Se visualizan los meandros del río Mayo en el año 2000, superpuestos sobre el contorno amarillo correspondiente a 1995. La silueta del río en 2000 está marcada con una línea de color celeste que resalta las modificaciones ocurridas en el curso del río. Al comparar los dos años (1995 y 2000), se pueden identificar áreas donde el curso del río no ha cambiado mucho.

- Figura 19: Mapa de identificación de los meandros en el año 2005

Se muestra la configuración de los meandros del río Mayo en 2005, con la línea amarilla representando la silueta del río en 1995 y una nueva delineación en color verde para el año 2005. Comparando las dos siluetas, se pueden identificar un ligero cambio en la trayectoria del río. Se observan movimientos internos, productos de la erosión, donde el río ha modificado su recorrido correspondiente al meandro 3.

- Figura 20: Mapa de identificación de los meandros en el año 2010

Este mapa muestra los meandros del río Mayo en 2010, con la silueta amarilla del año 1995 y una nueva línea azul representando el año 2010. Los cambios entre los dos años evidencian procesos continuos de erosión en el meandro 3 y un ligero proceso de sedimentación correspondiente a la trayectoria del meandro 1.

- Figura 21: Mapa de identificación de los meandros en el año 2015

Se muestra el curso del río Mayo en el año 2015, comparado con la trayectoria de 1995 (línea amarilla) y 2015 (línea anaranjada). Los meandros muestran una evolución considerable en comparación con el año 1995, se puede observar que el río ha seguido ajustándose, con movimientos tanto internos como externos. Las líneas del contorno indican un proceso de erosión en el meandro 3 y se da inicio al proceso erosivo en el meandro 2, considerándose como movimientos externos de río. Además, se evidencia el proceso de sedimentación en el meandro 1, 2 y 3; específicamente en las curvaturas del río, donde se puede apreciar bancos de arena.

- Figura 22: Mapa de identificación de los meandros en el año 2021

En el mapa, se representa el curso del río Mayo en 2021 con la línea de color lila, superpuesta a las líneas de 1995 (amarilla), el río ha continuado su proceso de cambio, con una notable modificación en la curvatura de los meandros. Las áreas donde los contornos se superponen menos sugieren un proceso más estable, mientras que las áreas con mayor variabilidad indican procesos de erosión y sedimentación activos, siendo estas en los meandros 2 y 3.

A continuación, se presenta la **Tabla 3**, que muestra las distancias medidas en metros (m) para los tres meandros del río Mayo identificados en el área de estudio. Estas mediciones se realizaron utilizando shapefiles del río en los años comprendidos entre 1995 y 2021. Adicionalmente, se incluyó una medición tomada el 29 de enero de 2024 utilizando puntos GPS durante la salida de campo. Las distancias registradas representan la longitud que se extiende de una orilla a otra del río.

Tabla 3

Distancia de meandros en los distintos años

	Meandro 1	Meandro 2	Meandro 3
Tiempo (años)	Distancia (m)	Distancia (m)	Distancia (m)
1995	151.522	215.327	154.834
2000	139.664	211.631	143.944
2005	134.617	193.662	138.405
2010	135.261	193.318	132.369
2015	120.495	187.245	85.084
2021	116.980	167.340	47.316
2024	113.695	163.330	28.425

Meandro 1:

- En 1995, la distancia del meandro 1 era de 151.522 m.
- A lo largo del tiempo, se observa una reducción progresiva de la distancia, alcanzando 113.695 m en 2024, lo que representa un 24.965% de reducción.

Meandro 2:

- Comienza con una distancia de 215.327 m en 1995.
- Al igual que el Meandro 1, su longitud disminuye con el tiempo, siendo de 163.330 m en 2024, representando un 24.148% de reducción.

Meandro 3:

- Presenta una distancia inicial de 154.834 m en 1995.
- La reducción es más drástica comparada con los otros meandros, llegando a 28.425 m en 2024, es decir un 81.642% de reducción.

En los tres meandros estudiados, se observa una tendencia generalizada a la disminución de la distancia a lo largo del tiempo. Este acortamiento es producto de procesos de la erosión y sedimentación, que causan la rectificación de los meandros o el corte de estos por nuevos cauces del río.

Asimismo, es importante mencionar que el meandro 3 muestra una reducción notable, con una disminución de 154.834 m en 1995 a solo 28.425 m en 2024. Este fenómeno es un indicativo de un alto grado de erosión y la formación de lagos de herradura o comúnmente denominados en la zona como “tipishca”.

A continuación, se muestra los mapas que reflejan los cambios en la dinámica de los meandros del río Mayo en el sector Juningue, en el periodo de 1995 – 2021, asimismo se muestran las distancias de orilla a orilla de cada uno de los meandros.

Año 1995

Año 2021

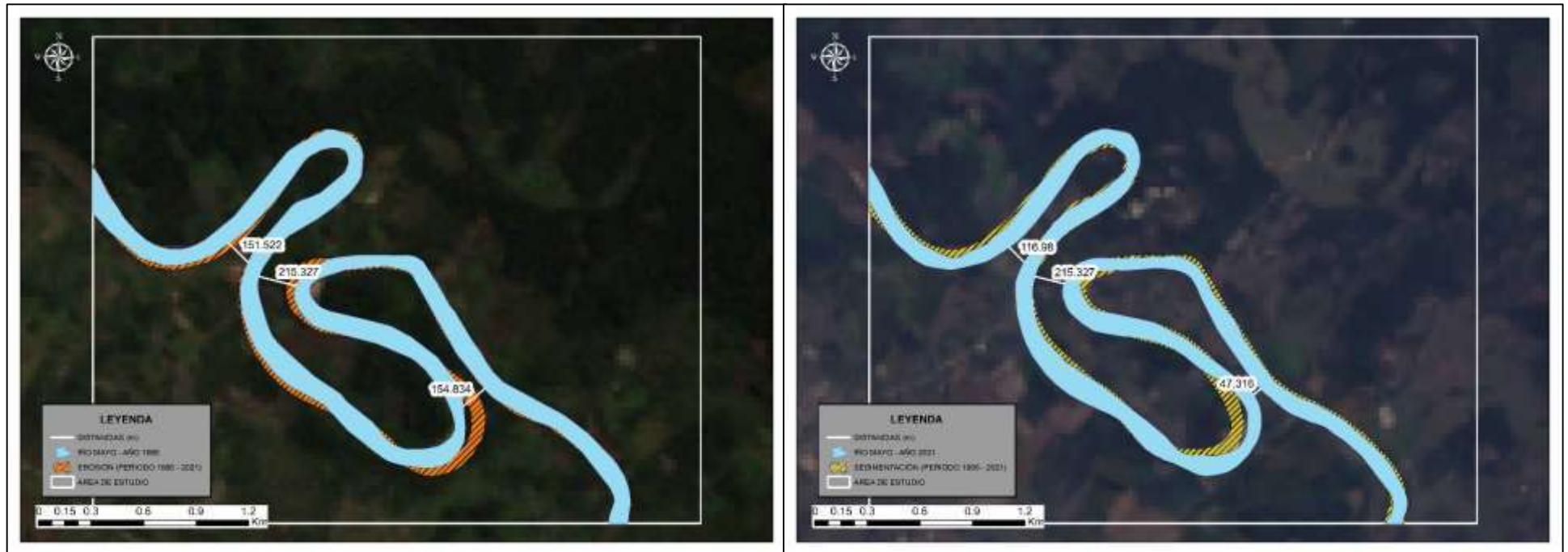


Figura 23
Movimiento fluvial del río Mayo desde el año 1995 al año 2021.

4.3 Patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021.

➤ Cálculo de la erosión y sedimentación

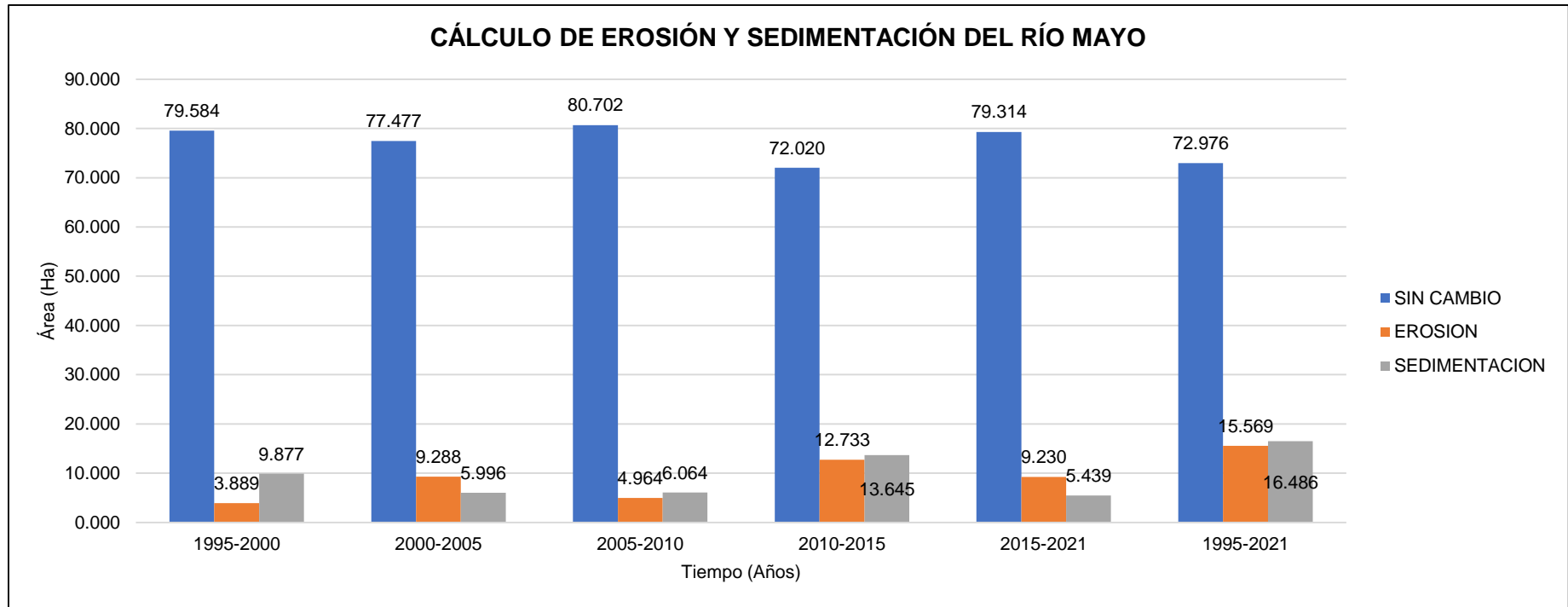


Figura 24

Comportamiento de la erosión y sedimentación en los distintos periodos evaluados.

La **Figura 24** muestra el cálculo de la erosión y sedimentación en el área de estudio del río Mayo durante diferentes periodos entre 1995 y 2021, obtenidos de los shapefiles. Los datos están representados en términos de área (en hectáreas) y se clasifican en tres categorías: sin cambio, erosión y sedimentación.

Período 1995 - 2000:

- Sin cambio: Se observa que una gran proporción del área (79.584 Ha) lo que significa que no experimentó cambios significativos.
- Erosión: Una pequeña parte, 3.889 Ha, fueron afectados por la erosión.
- Sedimentación: Aproximadamente 9.877 Ha experimentó procesos de sedimentación.

Período 2000 - 2005:

- Sin cambio: El área sin cambios disminuyó ligeramente a 77.477 Ha.
- Erosión: Se registró un aumento en la erosión con 9.288 Ha.
- Sedimentación: Se registró 5.996 Ha, lo que representa una disminución en comparación con el período anterior.

Período 2005 - 2010:

- Sin cambio: Se observa un incremento en el área sin cambios a 80.702 Ha.
- Erosión: El área afectada por la erosión disminuyó a 4.964 Ha.
- Sedimentación: Se identificó una sedimentación de 6.064 Ha.

Período 2010 - 2015:

- Sin cambio: El área sin cambios disminuyó a 72.020 Ha.
- Erosión: Se produjo un aumento significativo de la erosión, alcanzando 12.733 Ha.
- Sedimentación: La sedimentación también aumentó considerablemente a 13.645 Ha.

Período 2015 - 2021:

- Sin cambio: Hubo un ligero aumento en el área sin cambios a 79.314 Ha.

- Erosión: La erosión afectó a 9.230 Ha, una disminución respecto al período anterior.
- Sedimentación: La sedimentación también disminuyó a 5.439 Ha.

Período total (1995 - 2021):

- Sin cambio: Un promedio de 72.976 Ha no experimentó cambios significativos en su cobertura.
- Erosión: El área total afectada por la erosión es de 15.569 Ha.
- Sedimentación: Se observa una sedimentación total de 16.486 Ha.

➤ **Análisis estadístico y Prueba de hipótesis**

Distancia del meandro 1 en los años 1995 al 2024

Tabla 4

Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 1

Estadísticas de la regresión				
Coeficiente de correlación (r)	0.9741			
Coeficiente de determinación (R ²)	0.9488			
Error típico	3.4029			
Observaciones (n)	7			
Estadísticas de correlación				
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	2632.8955	260.0125	10.1260	0.000160977
Tiempo (años)	-1.2451	0.129357853	-9.6250	0.000205282
Modelo de regresión	Y = 2632.8955 - 1.2451X			

Según los resultados de la **Tabla 4**, existe correlación muy alta (0.9741) entre el período de tiempo y la distancia del meandro 1. Según el coeficiente de determinación se estima que aproximadamente el 94% de la distancia del meandro 1 está relacionada con el período de tiempo. Asimismo, se asume que existe relación lineal entre la distancia del meandro 1 y el período de tiempo, dado que la probabilidad (0.000160977) es menor que el valor de Alpha asumido (0.05), lo cual implica la idoneidad del modelo de regresión.

En cuanto a la prueba de hipótesis se realizó mediante la distribución t de Student para el coeficiente de correlación, con un nivel de confianza del 95%. Al reemplazar los valores de la tabla 9 en la siguiente fórmula:

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Arroja un resultado de 9.6250; este valor es mayor al valor crítico obtenido de la tabla t Student (2.447), comprobando la hipótesis que la dinámica del meandro 1 del río Mayo es significativa durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba.

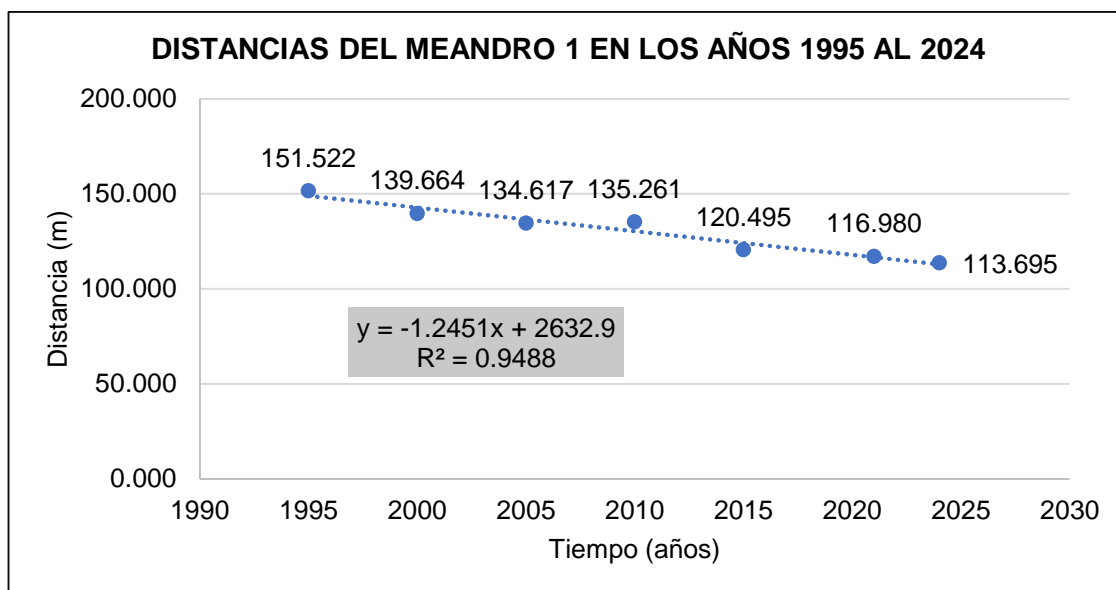


Figura 25

Distancias del meandro 1 en los años 1995 al 2024.

Distancia del meandro 2 en los años 1995 al 2024

Tabla 5

Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 2

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación (r)	0.9777
Coeficiente de determinación (R ²)	0.9559
Error típico	4.5673
Observaciones (n)	7
Estadísticas de correlación	
	Coeficientes Error típico Estadístico t Probabilidad

Intercepción	3823.7845	348.9881	10.9568	0.00011
Tiempo (años)	-1.8077	0.1736	-10.4117	0.00014
Ecuación de regresión	Y=3823.7845 - 1.8077X			

Según los resultados de la **Tabla 5**, existe correlación muy alta (0.9777) entre el período de tiempo y la distancia del meandro 2. Según el coeficiente de determinación se estima que aproximadamente el 95% de la distancia del meandro 2 está relacionada con el período de tiempo. Asimismo, se asume que existe relación lineal entre la distancia del meandro 2 y el período de tiempo, dado que la probabilidad (0.00014) es menor que el valor de Alpha asumido (0.05), lo cual implica la idoneidad del modelo de regresión.

En cuanto a la prueba de hipótesis se realizó mediante la distribución t de Student para el coeficiente de correlación, con un nivel de confianza del 95%. Al reemplazar los valores de la tabla 10 en la siguiente fórmula:

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Arrojan un resultado de 10.4117. Este valor es mayor al valor crítico obtenido de la tabla t student (2.447), comprobando la hipótesis que la dinámica del meandro 2 del río Mayo es significativa durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba.

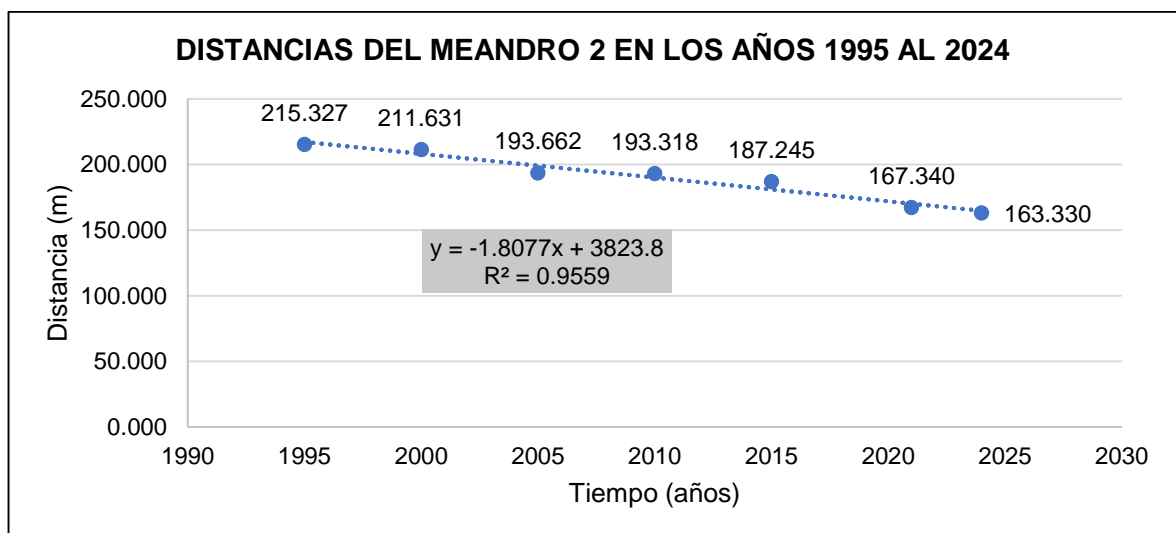


Figura 26

Distancias del meandro 2 en los años 1995 al 2024.

Distancia del meandro 3 en los años 1995 al 2024

Tabla 6

Estadísticas de la regresión y correlación del meandro 3

Estadísticas de la regresión				
Coefficiente de correlación (r)	0.9512			
Coefficiente de determinación (R ²)	0.9047			
Error típico	17.1557			
Observaciones (n)	7			
Estadísticas de correlación				
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	9138.1044	1310.8640	6.9711	0.0009344
Tiempo (años)	-4.4944	0.6522	-6.8915	0.0009850
Ecuación de regresión	Y=9138.1044 - 4.4944X			

Según los resultados de la **Tabla 6**, existe correlación muy alta (0.9512) entre el período de tiempo y la distancia del meandro 3. Según el coeficiente de determinación se estima que aproximadamente el 90% de la distancia del meandro 3 está relacionada con el período de tiempo. Asimismo, se asume que existe relación lineal entre la distancia del meandro 3 y el período de tiempo, dado que la probabilidad (0.0009850) es menor que el valor de Alpha asumido (0.05), lo cual implica la idoneidad del modelo de regresión.

En cuanto a la prueba de hipótesis se realizó mediante la distribución t de Student para el coeficiente de correlación, con un nivel de confianza del 95%. Al reemplazar los valores de la tabla 10 en la siguiente fórmula:

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Arrojan un resultado de 6.8915. Este valor es mayor al valor crítico obtenido de la tabla t Student (2.447), comprobando la hipótesis que la dinámica del meandro 3 del río Mayo es significativa durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba.

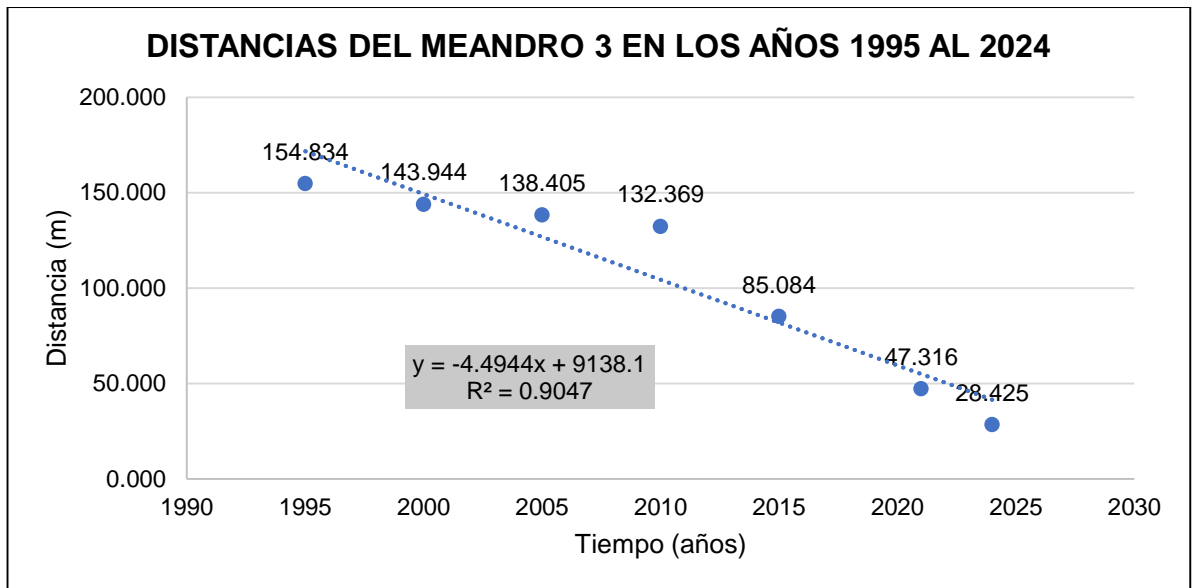


Figura 27

Distancias del meandro 3 en los años 1995 al 2024.

Considerando que el meandro 3 es el que ha experimentado la mayor disminución de distancia durante el período de estudio, se aplicó la ecuación de regresión lineal simple. Esta proyección estima que para el año 2033 la distancia de orilla a orilla del río podría reducirse a 0 m, lo que indicaría el inicio de la formación de un lago de herradura. No obstante, es importante señalar que esta predicción puede variar debido a factores como las actividades agrícolas en la zona y las variaciones en la precipitación, que pueden influir significativamente en la dinámica fluvial y los procesos de erosión y sedimentación en el área.

DISCUSIONES

Condori (2020) demuestra en su investigación que la precipitación total anual tiene un impacto significativo en los índices de riesgo de erosión potencial del suelo, especialmente en las quebradas Erbacio, Ronda y Pichcapuquio, situadas en la subcuenca del río Shullcas. En su estudio, que abarca el período 2010 – 2018, la precipitación anual varía entre 850.80 mm y 1017.20 mm. De manera similar, en la presente investigación se han analizado los datos meteorológicos de precipitación total anual para el período 1995 – 2021, con valores que oscilan entre 1188.3 mm y 1674 mm. En particular, el año 2015 registró la mayor precipitación con 1674 mm, lo cual coincide con un incremento notable en la erosión, alcanzando 12.733 Ha entre el periodo 2010 – 2015.

Guio y Parra (2018) utilizaron imágenes satelitales y el programa ArcGIS, junto con la herramienta de álgebra de mapas, para estudiar los cambios en el cauce del río y las zonas con mayor sinuosidad en el periodo 1985 - 2015. Identificaron meandros abandonados susceptibles a inundaciones, clasificados en niveles de susceptibilidad alta, media y baja. Además, evaluaron la cobertura vegetal desde 1985 hasta 2009 mediante el método de clasificación supervisada, concluyendo que los cambios en la cobertura influyen significativamente en la susceptibilidad a inundaciones. En el presente estudio, se ha empleado imágenes satelitales tipo Landsat, donde se ha determinado que el tercer meandro de la zona de estudio, en su totalidad, es inundable en épocas de constantes precipitaciones, provocando el aumentando el caudal del río Mayo, además, esta área ha experimentado cambios notables en la cobertura vegetal, identificando actividades agrícolas en el área, que incluyen la siembra de cultivos como arroz, maíz, plátano, frijol, etc. Afectando directamente el comportamiento de los meandros debido a la alteración de la cobertura vegetal, lo que conllevan al incremento de los procesos de erosión. Es importante que para futuras investigaciones se tomen en cuenta el cambio de la cobertura vegetal en dicha zona en el periodo de estudio, a través de un análisis multitemporal.

Silva y Davila (2022) evaluaron el impacto del flujo del transporte fluvial de carga provocado por la migración del río Amazonas en el sector de ingreso al terminal portuario de Iquitos y el posicionamiento del río Itaya sobre ese sector, utilizaron la técnica multitemporal de imágenes LANDSAT, batimetría y seccionamiento del río Itaya con ADCP, determinando un desplazamiento de 5288 m del río Amazonas entre 1985 y 2000, con una migración neta de 5997 m hasta el año de su publicación, lo que implica una velocidad de 166 m/año. En comparación, en este estudio se evaluaron tres

meandros del río Mayo en un área del sector del centro poblado Juningue – Moyobamba, mediante el análisis multitemporal con imágenes Landsat, dando como resultado el desplazamiento de estos tres meandros, siendo el tercero, el que muestra una mayor disminución de distancia de orilla a orilla desde 1995 con 154.834 m hasta el año 2024 con 28.425 m, es decir un 81.642% de reducción, y aplicando la ecuación de regresión lineal simple se ha proyectado que para el año 2033 esta distancia será 0 m, formando un lago de herradura o comúnmente denominado en la zona como “tipishca”.

Abanto (2021), en su tesis de pregrado, analizó la erosión lateral del río Huallaga en el distrito de Picota, utilizando imágenes satelitales Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI, a través de ArcGIS 10.5. Como resultado se muestra que entre 2010 y 2015 se erosionaron 29 zonas con un área total de 152.720 Ha. En este estudio, empleando imágenes satelitales Landsat 5, 7 y 8, se determinaron las áreas de la erosión y sedimentación provocado por la dinámica de los meandros del río Mayo, evaluados en distintos periodos entre el año 1995 al 2021, como resultado las áreas fueron de 15.569 Ha y 16.486 Ha, respectivamente.

CONCLUSIONES

Durante los 27 años de estudio, comprendidos entre 1995 y 2021, se observó un ligero incremento en la precipitación total anual. Destaca el año 2015, que registró la mayor precipitación total anual de 1674 mm. Además, las actividades agrícolas predominantes en la región, como el cultivo de arroz, maíz, plátano, y frijol, etc., han contribuido a la modificación de la cobertura vegetal, lo cual ha influido directamente en el comportamiento de los meandros.

Se identificó una tendencia generalizada a la reducción de la distancia entre las orillas de los tres meandros. Este fenómeno se atribuye a procesos de erosión y sedimentación, que han provocado la rectificación de los meandros y el desarrollo de nuevos cauces más directos. Los resultados son los siguientes:

Meandro 1: Se registró una disminución del 24.965%, pasando de 151.522 m en 1995 a 113.695 m en 2024.

Meandro 2: Se observó una reducción del 24.148%, de 215.327 m a 163.330 m en el mismo periodo.

Meandro 3: Se evidenció la reducción más pronunciada, con una disminución del 81.642%, desde 154.834 m en 1995 hasta 28.425 m en 2024.

La tasa total de erosión y sedimentación durante el periodo de estudio fue considerable, con 15.569 Ha afectadas por la erosión y 16.486 Ha por la sedimentación, identificando en el periodo 2010 – 2015 que fue particularmente crítico, con incrementos significativos en ambos procesos, alcanzando 12.733 Ha de erosión y 13.645 Ha de sedimentación, en comparación a los otros periodos de estudio.

El análisis estadístico mediante la prueba t de Student demostró una significancia en la variación de las distancias de los meandros a lo largo del tiempo. Los valores de t calculados fueron 9.6250, 10.4117 y 6.8915 para los meandros 1, 2 y 3 respectivamente, todos superiores al valor crítico de 2.447. Estos resultados confirman la hipótesis de que la dinámica de los meandros del río Mayo son significativas durante el período 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba. Considerando que el meandro 3 es el que ha experimentado la mayor disminución de distancia durante el período de estudio, se aplicó la ecuación de regresión lineal simple. Esta proyección estima que para el año 2033 la distancia de orilla a orilla del río podría reducirse a 0 m, lo que indicaría el inicio de la formación de un lago de herradura o comúnmente denominado en la zona como “tipishca”.

RECOMENDACIONES

A los investigadores, analizar el comportamiento de los años pasados utilizando los datos históricos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), a través simulaciones de precipitación con proyecciones a 30 años en el futuro para anticipar posibles escenarios climáticos y su impacto en la dinámica fluvial.

Para obtener una comprensión más integral de la dinámica fluvial del río Mayo, es esencial incluir datos del caudal, ya que es un factor importante que influye en los procesos de erosión y sedimentación, permitiendo una mejor evaluación de los cambios en la morfología fluvial.

Se recomienda realizar una clasificación supervisada y no supervisada en el área de estudio para un análisis detallado de los cambios en la cobertura vegetal durante el periodo de estudio.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el área de estudio a toda la cuenca del Alto Mayo, esto permitirá una evaluación holística de la dinámica fluvial, a través del software *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) con la finalidad de obtener cálculos más precisos.

A las autoridades locales, implementar medidas preventivas y de gestión de riesgos, con el objetivo de proteger a las comunidades locales y sus economías, especialmente en áreas propensas a inundaciones, ya que la mayoría de estas áreas están destinadas a la agricultura, por lo que es crucial prever y mitigar los posibles impactos.

Al Gobierno Regional de San Martín, a través de la Autoridad Regional Ambiental, declarar como interés la creación de una Zona de Conservación de Recuperación de Ecosistemas (ZoCRE) en el área de estudio, esta medida estaría en línea con las zonas de conservación existentes, como ZoCRE Gobernador, Pantanos de Burrucucha y Gobernador I y II, dichas áreas de conservación son esenciales para proteger los ecosistemas que emergen debido a la migración meándrica del río Mayo, como los lagos de herradura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, D. (2021). *Análisis mediante imágenes satelitales de la erosión lateral del río Huallaga, en el área de influencia del distrito de Picota*. <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/4445/ING.%20AMBIENTAL%20%20Diana%20Arel%c3%ad%20Abanto%20D%c3%adaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alonzo, R. B. R., y Huayaney, M. E. A. (2020). Análisis geomorfológico y dinámica fluvial del río Huallaga en la localidad de Yurimaguas. *Investigaciones sociales*, 23(43), 71-85.
- Bohórquez, M., Olarte, L., Santa, y Luis. (2021). *Análisis multitemporal de la frontera fluvial entre Perú y Colombia mediante análisis de imágenes satelitales basado en objetos geográficos durante el periodo 1989 - 2015*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-37692020000100077&lng=en&nrm=iso
- Condori, R. (2020). *Influencia de la precipitación total anual en los índices de riesgo de erosión potencial del suelo de las quebradas Erbacio, Ronda y Pichcapuquio de subcuenca del río Shullcas*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental, Escuela académico profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Continental, Huancayo, Perú.
- DePerú.com. (2022). *Juningue*. <https://www.deperu.com/centros-poblados/juningue-112152>
- Guio, L., y Parra, C. (2018). *Análisis multitemporal de la dinámica fluvial del río Cravo sur en el tramo Yopal-Guafal, para la identificación de áreas susceptibles a inundaciones*. https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Parra-Acosta/publication/332899681_ANALISIS_MULTITEMPORAL_DE_LA_DINAMICA_FLUVIAL_DEL_RIO_CRAVO_SUR_EN_EL_TRAMO_YOPAL_GUAFAL_PARA_LA_IDENTIFICACION_DE_AREAS_SUSCEPTIBLES_A_INUNDACIONES/links/5cd1089d299bf14d95
- Güneralp, I., Abad, J., Zolezzi, G., y Hooke, J. (2012). *Advances and challenges in meandering channels research*. <https://webapps.unitn.it/public/store/ermete/allegato/per0004808/319a6885-786d-4f2e-a948-442d448a0adc.pdf>

- Knighton, D. (1999). *Downstream variation in stream power*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X9900015X>
- Leeder, M., Mack, G., Peakall, J., y Salyards, S. (1996). *First quantitative test of alluvial stratigraphic models: Southern Rio Grande rift, New Mexico*.
<https://hi.booksc.org/book/51714684/8bd6c3>
- Leopold, L. (1994). *A View of the River*.
[https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqw2orz553k1w0r45\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1997000](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqw2orz553k1w0r45))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1997000)
- Lucas, S., & Ortega, J. (2019). *Diagnóstico de la incidencia del fenómeno corte cuello de meandro sobre la población e infraestructura pública de San José del Guaviare*.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1545&context=ing_civil
- Olivares, E. (2016). *Patrones de cambio morfológico y meándrico de 13 ríos pertenecientes a la cuenca hidrográfica del Amazonas*. Lima.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7619>
- Pantevis, M., y Torres, V. (2020). *Geomorfología y dinámica fluvial de río Amazonas a la altura de Lítica, aplicado a Zonas de inundación*.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29742/2020victortorres.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Richards, K. (1982). *Rivers: form and process in alluvial channels*. London.
<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/030913338500900111>
- Rocha, A. (1998). *Hidraulica fluvial*. <https://es.slideshare.net/lizbethsolo/libro-introduccion-a-la-hidraulica-fluvial-arturo-rocha>
- Senamhi. (2021). *Datos hidrometeorológicos*. Obtenido de
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Slingerland, R., y Smith, N. (2004). *River Avulsions and Their Deposits*. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*.
<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120201>
- Silva, G., y Davila, B. (2022). *Evaluación de los impactos generados sobre el tránsito fluvial ante los últimos desplazamientos del río Amazonas en el sector de ingreso al terminal potuario de Iquitos y el posicionamiento del río Itaya sobre ese sector, 2021*. Obtenido de
<http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1798/SILVA%20VILLACOR>

TA%20GRECIA%20MILAGROS%20Y%20DAVILA%20DEL%20CASTILLO%20BRUNO%20ALEXANDER%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Suarez, J. (2001). *Ingeniería de rios en zonas de montaña tropical*.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019670/Paginas/15.htm>

Suarez, J., y Vargas, J. (2021). *Análisis multitemporal en el cambio de la dinámica fluvial en relación al cambio de coberturas de la tierra en el afluente principal de la subcuenca del Río San Juan-Cundinamarca*.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/38183/2021johnvargasjosesuarez.pdf?sequence=1>

USC. (2012). *Regresión lineal simple*. Obtenido de
http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf

USGS. (2024). *Explorador de tierra*. Obtenido de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
<p>General: ¿Cuál es la evolución de la dinámica meándrica durante del río Mayo el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba?</p>	<p>General: Evaluación de los meandros del río Mayo durante el periodo 1995 – 2021, mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba.</p> <hr/> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la dinámica fluvial durante el periodo 1995 – 2021. • Determinar escenarios de meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021. • Analizar patrones espaciales de los meandros en el área de influencia por medio de imágenes satelitales durante el periodo 1995 – 2021. 	<p>H: La dinámica de los meandros del río Mayo son significativos durante el periodo 1995 – 2021 mediante análisis multitemporal en Juningue – Moyobamba</p>	<p>Variable: Dinámica meándrica</p> <hr/> <p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evolución del cambio del curso del Río - Desplazamiento - Tasa de erosión y sedimentación 	<p>Tipo: Aplicada Tiene como objetivo la aplicación de conocimientos culturales y científicos y la producción tecnológica (Pimienta, 2017).</p> <p>Nivel: Descriptivo Puntualiza las características de la población de estudio (Recimundo, 2020)</p> <hr/> <p>Se caracteriza por no haber manipulación ni control en las variables de estudio (Montano, 2018) Diseño descriptivo simple M-----O Muestra-----Observación</p>	<p>Población: Meandros del río Mayo en el área de estudio</p> <hr/> <p>Muestra: Los 3 meandros del río Mayo en el área de estudio.</p>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Unidad de Medida	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos
V: Migración meándrica	Curvas que describen el curso de un río (RAE, 2021).	Física	Desplazamiento	Metros (m)	Técnica: Observación directa Análisis documentario Instrumento: Ficha de registro

Anexo 3. Carta de presentación de la facultad Ecología – UNSM que se derivó al SENAMHI.



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Moyobamba, 23 de octubre de 2023.

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor.
JUAN CARLOS REQUEJO ALEMAN
 Gerente General del SENAMHI
 Estimado Señor,

Me es grato dirigirme para saludarle cordialmente y me presento ante usted en calidad de Decana de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín – UNSM para presentar como investigadora principal del Proyecto: **"Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue – Moyobamba"** para solicitar autorización de ingreso para la recopilación de datos meteorológicos de los años de 1,995 al 2,021 los cuales serán de utilidad en la ejecución de su tesis.

Nombres	Apellidos	Documento de Identidad	Cargo en la Investigación	Vinculo con la Institución Científica
Hans Michael	Sandoval Hidalgo	72718547	Investigador Principal	Egresado de la E.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología.
Ing. M.Sc. Percy	Martínez Dávila	05402553	Asesor	Docente

El investigador, está plenamente respaldado por nuestra institución y conducirá el proyecto comprometiéndose a seguir indicaciones por las autoridades competentes.

Sin más que agregar me despido.

Documento firmado digitalmente

Biga. M.Sc. Astriht Ruiz Rios
 Decana de la Facultad de Ecología

Cc.
 Archivo

FEJAL MOYOBAMBA
 Prolongación 20 de Abril C-3 S/N - Moyobamba, Perú
 +51 (042) 291030
 fecol@unsm.edu.pe
<https://unsm.edu.pe/>

Anexo 4. Acreditación del profesional para la operación de dron.



Anexo 5. Certificado otorgado por el Centro de Instrucción de Aeronáutica Civil al profesional que realizó las tomas áreas del área de estudio.



**CENTRO DE INSTRUCCION DE
AERONAUTICA CIVIL CIAC N° 004**

RD N° 159-2014-MTC/12

Programa de Instrucción
Por cuanto,

John Adams Inuma Oliveira
*ha cumplido con los requisitos de evaluación establecidos en
el Programa de Instrucción y entrenamiento en:*

Curso de Piloto a Distancia RPAS
Por tanto,
para que conste, se le expide el presente

DIPLOMA

Emitido en Miraflores, a los 13 días de Enero del 2020

Alexander López Vilela
Director
Centro de Instrucción de Aeronáutica
Civil




Johanna Francisca Rojas
DIRECTORA DESESC
Centro de Instrucción de Aeronáutica
Civil




CODIGO:
CIAC 004
1973



Juan O. Ramirez Lazo
Piloto Privado - RPAS
Lic. N° 00260



COPIA:

Anexo 6. Fichas de recolección de datos.

A. Coordenadas de zonas de desplazamiento

N°	Nombre	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)
-----------	---------------	-----------------	------------------	--------------------

B. Tasa de desplazamiento.

Tiempo (años)	Meandro 1	Meandro 2	Meandro 3
	Distancia (m)	Distancia (m)	Distancia (m)
1995			
2000			
2005			
2010			
2015			
2021			
2024			

C. Tasa de erosión y sedimentación

Periodo	Área sin cambio (Ha)	Erosión (Ha)	Sedimentación (Ha)
1995-2000			
2000-2005			
2005-2010			
2010-2015			
2015-2021			

Anexo 7. Validación de ficha de recolección de datos.

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS POR CRITERIO EXPERTO

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y nombres del experto:

Ing. M. Sc. Alfonso Rojas Bardales

1.2. Cargo e institución donde labora:

Docente de la facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín

1.3. Nombre del instrumento evaluado:

Cuestionario de la investigación "Análisis multitemporal los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Junigue - Moyobamba"

II. ASPECTO DE LA VALIDACIÓN

ÍTEMS	SI	NO	SUGERENCIAS
1. Los indicadores persiguen fines del objetivo general	X		
2. Los indicadores persiguen los fines del objetivo específico.	X		
3. Los indicadores abarcan variables e indicadores.	X		
4. Los ítems permiten medir el problema de la investigación.	X		
5. Los términos utilizados son claros y comprensibles.	X		
6. El grado de dificultad o complejidad es aceptable.	X		
7. Los ítems permiten contrastar la hipótesis de la investigación.	X		
8. Los indicadores siguen un orden lógico.	X		
9. Se deben considerar otros ítems.		X	
10. Los ítems despiertan ambigüedad en el encuestado.		X	

- III. **CALIFICACIÓN GLOBAL** (ubique el coeficiente de validez obtenido en el intervalo respectivo y marque con un aspa el cuadro asociado)

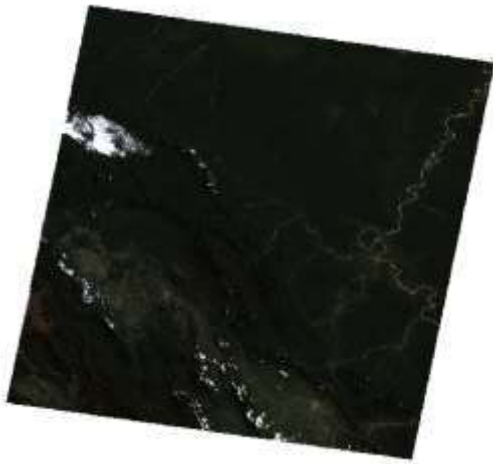
Categoría		Intervalo
Desaprobado	<input type="checkbox"/>	0 - 3
Observado	<input type="checkbox"/>	4 - 7
Aprobado	<input checked="" type="checkbox"/>	8 - 10

Lugar y fecha: Moyobamba 11 de abril del 2023



Firma del experto

Anexo 8. Imágenes satelitales empleadas en la investigación.



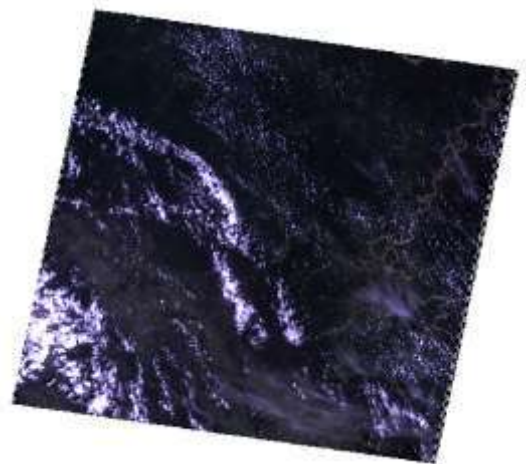
Año 1995



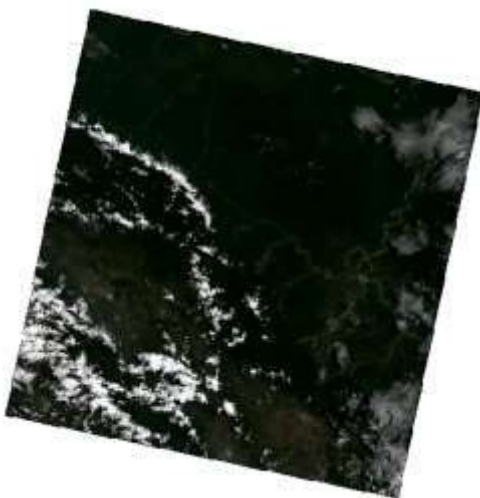
Año 2000



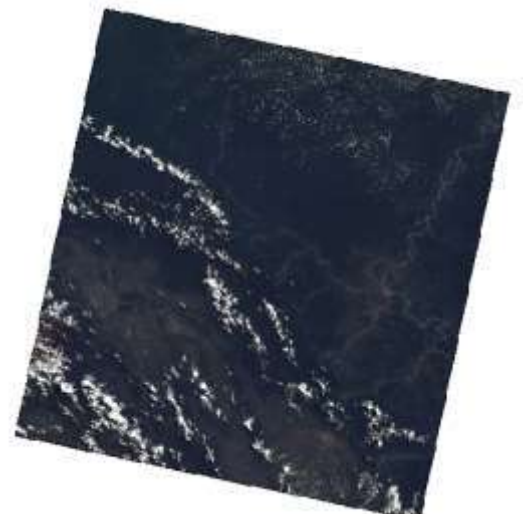
Año 2005



Año 2010



Año 2015



Año 2021

Anexo 9. Datos de las imágenes Landsat utilizadas en la investigación.

Año	Satélite	Level	Pansharpen	Fecha de la imagen satelital
1995	Landsat 5	Level 2	NO	09 de agosto de 1995
2000	Landsat 7	Level 1	SI	04 diciembre de 2000
2005	Landsat 5	Level 2	NO	17 de junio del 2005
2010	Landsat 5	Level 2	NO	08 de diciembre del 2010
2015	Landsat 8	Level 1	SI	17 septiembre del 2015
2021	Landsat 8	Level 1	SI	01 de septiembre del 2021

Anexo 10. Panel fotográfico.

Fotografía 1. Toma de puntos dentro del área de estudio.



Fotografía 2. Identificación de puntos de erosión.



Fotografía 3. Identificación de puntos de sedimentación.



Fotografía 4. Uso de dron para toma de fotografía área del área de estudio.



Fotografía 5. Vista aérea del área de estudio.

Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue - Moyobamba

por Hans Michael Sandoval Hidalgo

Fecha de entrega: 09-ene-2025 12:26p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2561660505

Nombre del archivo: TESIS_HANS_SANDOVAL_HIDALGO_08.01.2025.docx (12.53M)

Total de palabras: 10934

Total de caracteres: 59139

Análisis multitemporal de los meandros del río Mayo en el periodo 1995 – 2021, Juningue - Moyobamba

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	3%
4	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unican.es Fuente de Internet	1%
6	www.selper.org.mx Fuente de Internet	1%
7	www.polodelconocimiento.com Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%