



Artículo original / Original article

Influencia de las actividades antropogénicas en la calidad del agua de la microcuenca Chonta en la provincia Tambopata, Madre de Dios

Influence of anthropogenic activities on the water quality of the Chonta micro-watershed in the Tambopata province, Madre de Dios

Rembrandt Ramiro Canahuire-Robles¹; Shadira Hilares-Vargas¹; Joel Peña-Valdiglesias¹

¹ Departamento de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado - Perú

Recibido: 12/01/2023

Aceptado: 10/03/2023

Publicado: 20/06/2023

Autor correspondiente: rcanahuire@unamad.edu.pe

Resumen: El agua de los ríos en la microcuenca Chonta se ve perjudicada por la actividad humana, principalmente la agricultura y la ganadería. Las mediciones muestran diferencias significativas en los niveles de oxígeno, pH, nitratos, fosfatos y turbidez entre los distintos puntos de muestreo. El análisis espacial con ArcMap y EMVI reveló que el 41 % de la microcuenca está cubierto por bosques, lo que resalta su importancia para la conservación. Sin embargo, el 9 % de la zona presenta suelos desnudos, indicando degradación del suelo. El uso de pastizales en el 50 % del área también contribuye a esta degradación. Aproximadamente el 78 % de la microcuenca está destinado a la agricultura, lo que, junto con la presencia de suelos desnudos y la falta de bosques, plantea desafíos para la conservación. La ocupación de pastizales también tiene impactos negativos en la calidad del agua, el suelo y la biodiversidad. Se identificó una zona de amortiguamiento que cubre el 35 % del área total, crucial para la protección del ecosistema circundante. En resumen, las actividades humanas, como la agricultura y la ganadería, están afectando la calidad del agua en la microcuenca Chonta, lo que plantea desafíos para la conservación y el manejo sostenible de los recursos naturales.

Palabras clave: Cambio climático; cobertura y uso del suelo; conservación del agua; huertos familiares; servicio ecosistémico

Abstract: The water of the rivers in the Chonta micro-basin is harmed by human activity, mainly agriculture and livestock. The measurements show significant differences in the levels of oxygen, pH, nitrates, phosphates and turbidity between the different sampling points. Spatial analysis with ArcMap and EMVI revealed that 41 % of the microwatershed is covered by forests, highlighting its importance for conservation. However, 9 % of the area has bare soils, indicating soil degradation. The use of grasslands in 50 % of the area also contributes to this degradation. Approximately 78 % of the micro-watershed is dedicated to agriculture, which, together with the presence of bare soils and lack of forests, poses challenges for conservation. The occupation of grasslands also has negative impacts on water quality, soil and biodiversity. A buffer zone covering 35 % of the total area was identified, crucial for the protection of the surrounding ecosystem. In summary, human activities, such as agriculture and livestock, are affecting water quality in the Chonta micro-basin, posing challenges for the conservation and sustainable management of natural resources.

Keywords: Climate change; land cover and use; water conservation; family gardens; ecosystem service

1. Introducción

La selva amazónica es un bioma valioso y extenso que brinda servicios ecosistémicos esenciales. La microcuenca Chonta provee agua dulce vital para los habitantes, pero las acciones humanas y el cambio climático comprometen la calidad del agua en los ríos. Es importante asegurar la calidad óptima del agua para su uso diario. El uso de la tierra puede tener efectos positivos o negativos en la calidad del agua, liberando sedimentos, nutrientes y patógenos (Anh et al., 2023; Camara et al., 2019; Y. Li et al., 2023; Lopes et al., 2022; Sousa et al., 2023; Zhang et al., 2023).

El conocimiento de la dinámica de las actividades humanas en las cuencas de los ríos es fundamental para tomar decisiones informadas y desarrollar planes de manejo adecuados que fomenten el desarrollo sostenible y aborden los desafíos relacionados con la ingeniería y la escasez de agua (Mahdian et al., 2023; Rosello et al., 2022; Silva et al., 2022). Por otro lado, los conflictos entre las necesidades humanas de agua y la disponibilidad de recursos hídricos han sido más severos debido al cambio climático y la pérdida de los bosques. El aumento de la temperatura promedio, la mayor evaporación y la disminución de la escorrentía no solo afectan la salud ecológica de las cuencas, sino que también representan desafíos significativos para las comunidades ribereñas. Estos conflictos se intensifican cada vez más, poniendo en riesgo la sostenibilidad y la calidad de vida de las personas (C. Li et al., 2020; Niu et al., 2022). Donde la disponibilidad de sedimentos transportados por las cuencas tropicales desempeña un papel crucial en el crecimiento de deltas, playas y ecosistemas asociados en la región. Además, estos sedimentos controlan dichos procesos de manera significativa, lo que provoca cambios notables en los patrones de descarga de los ríos y el flujo de sedimentos hacia las aguas costeras. Estos cambios alteran las propiedades del ecosistema de forma significativa (Gupta et al., 2012; Hong et al., 2017; Panda et al., 2011; Syvitski et al., 2009; Vercruyse et al., 2017).

Por otro lado, en la región de Madre de Dios, los ríos transportan una carga pesada de minerales con altas concentraciones de calcio y presentan un pH cercano a neutro. Además, a lo largo de sus cursos de menor altitud, se encuentran amplias llanuras aluviales que cuentan con lagunas. Estos ríos permanecen turbios durante todo el año, pero es durante la temporada de lluvias cuando transportan la mayor cantidad de sedimentos. Por otro lado, la cuenca baja de Madre de Dios se caracteriza por tener un clima tropical húmedo. En esta zona, las precipitaciones son estacionales y varían entre 1 200 y 3 300 mm, aumentando de este a oeste. En cuanto a la vegetación, en las tierras bajas predomina el bosque siempre verde o semi-perenne, aunque también se pueden encontrar matorrales de bambú en áreas con un drenaje deficiente de las llanuras aluviales de tierras altas (Griscom & P. Mark S. Ashton, 2003; Hamilton et al., 2007; Osher & Buol, 1998; Thieme et al., 2007; Wang et al., 2023).

La urbanización, la industrialización y los procesos agrícolas continúan afectando negativamente la calidad del agua en diferentes niveles. Para comprender mejor este impacto, se han estudiado las conexiones entre el uso del suelo y los indicadores de calidad del agua. En el estudio mencionado, también se realizaron análisis físico-químicos del agua. Estos análisis fueron fundamentales para comprender el impacto negativo de la urbanización, la industrialización y los procesos agrícolas en la calidad del agua. Además, se utilizaron herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para analizar y delimitar las zonas de uso de la tierra, y se llevaron a cabo entrevistas con informantes clave para identificar las consecuencias tanto a nivel biofísico como socioeconómico de la microcuenca estudiada (Deche et al., 2023). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue examinar y analizar las principales relaciones entre el uso de la tierra y

la calidad del agua, además de identificar las principales fuentes y procesos de contaminación del agua.

2. Materiales y métodos

El departamento de Madre de Dios, que alberga la microcuenca Chonta, se encuentra en la parte sur de Perú. Limita con el departamento de Puno, Cusco al oeste y Ucayali al norte. La cuenca abarca tres provincias: Tambopata, Laberinto e Inambari, e incluye 11 asentamientos: Bajo Madre de Dios, El Castañal, Bajo Tambopata, Chonta, Fitzcarrald, Tres Estrellas, Monte Sinaí, San Bernardo, Los Cedros, Víctor Raúl Haya de La Torre y Los Manantiales (Manrique & Delgado, 2016) (Figura 1). La delimitación de la Microcuenca Chonta es esencial para los análisis territoriales, ya que es la unidad básica que afecta a las poblaciones. Para este propósito, se emplearon modelos de elevación digital (DEM) obtenidos a través del satélite ALOS PALSAR, con una resolución de 12 metros. Gracias a esto, se pudo delimitar un área de 34 439,61 hectáreas y determinar una altitud que oscila entre 204 y 298 metros sobre el nivel del mar (Figura 2).

Con el fin de obtener una visión más completa y precisa de la situación, se llevaron a cabo entrevistas exhaustivas a informantes clave en diferentes puntos de la microcuenca Chonta. Estas entrevistas se realizaron con el objetivo de contrastar y complementar la información recopilada previamente.

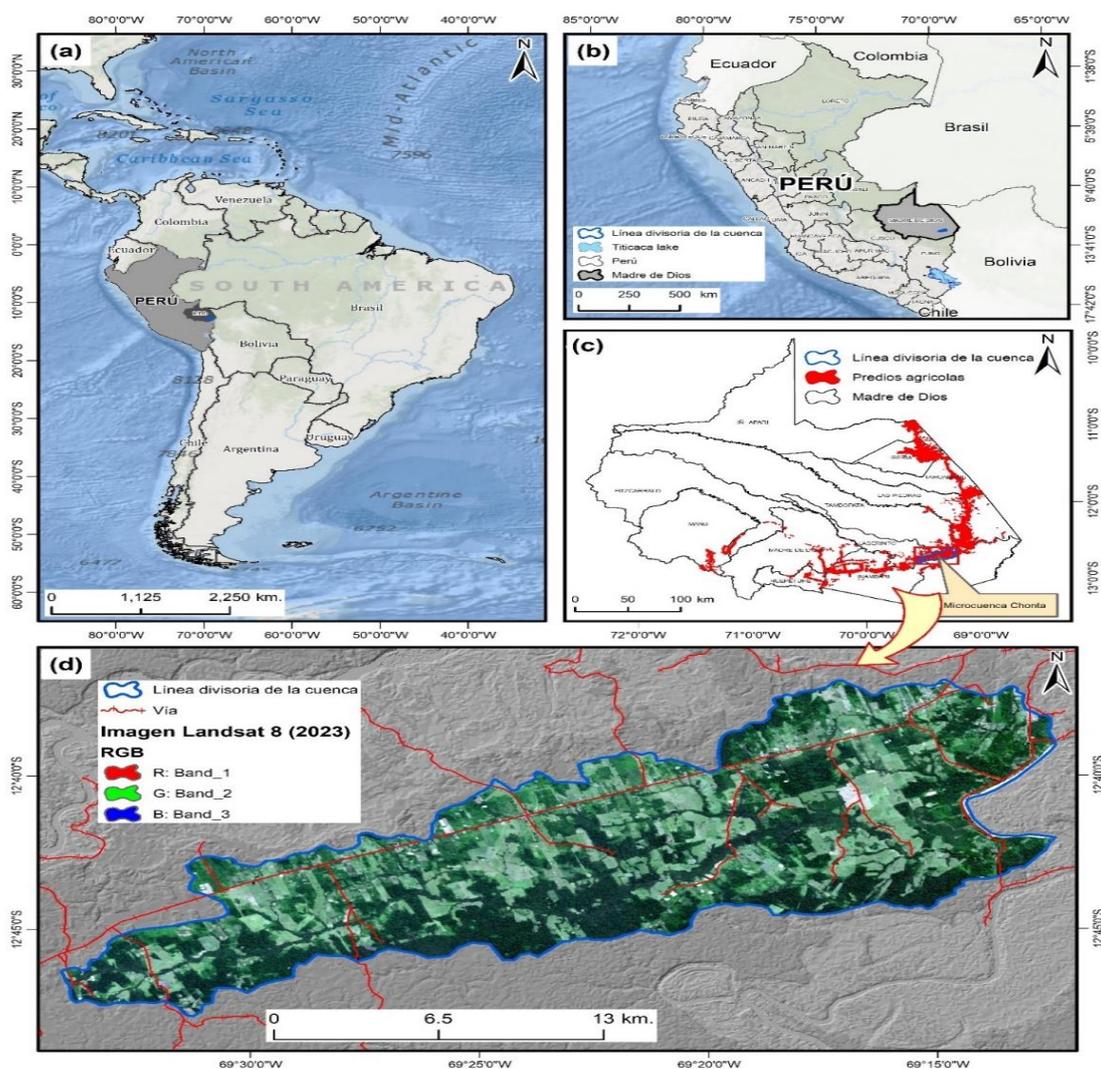


Figura 1. Plano de ubicación. a) se muestra América del sur y el Perú; b) se muestra el Perú y la región de Madre de Dios; c) se muestra la región de Madre de Dios y las concesiones agrícolas; d) se muestra la delimitación de la microcuenca Chonta y las vías de accesibilidad.

Durante el proceso de entrevistas, se seleccionaron cuidadosamente a los informantes clave, quienes poseían un profundo conocimiento y experiencia en relación con la microcuenca Chonta. Estos informantes incluyeron a líderes comunitarios y agricultores locales.

Además de las entrevistas, se realizaron visitas de campo a diferentes áreas de la microcuenca para observar directamente los impactos ambientales y recopilar datos adicionales donde se utilizó el fotómetro WaterLink® Spin Touch™ DW, el cual emplea discos de reactivo sellados que contienen la cantidad exacta de reactivo necesario para realizar una serie completa de pruebas. Se recolectaron muestras de agua de diversas fuentes de agua dulce y se realizaron pruebas para medir los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, potencial de hidrogeno, nitrato, fosfato y unidad de turbidez. El uso de este sistema de análisis representa una mejora significativa en comparación con los métodos convencionales, ya que permite obtener resultados precisos en un corto periodo de tiempo, eliminando la necesidad de realizar análisis y procedimientos de limpieza que requieren mucho tiempo. Además, su facilidad de uso lo hace accesible para cualquier persona interesada en monitorear la calidad del agua. Asimismo, estas visitas complementaron las entrevistas al brindar una perspectiva visual y tangible de la situación.

Las entrevistas se llevaron a cabo en un ambiente abierto, donde se fomentó la participación activa de los informantes clave. Se utilizaron técnicas de entrevista semi-estructuradas, lo que permitió una mayor flexibilidad para explorar diferentes aspectos y perspectivas de la microcuenca (Dalla & Basso, 2023; Laura et al., 2023; López et al., 2023).

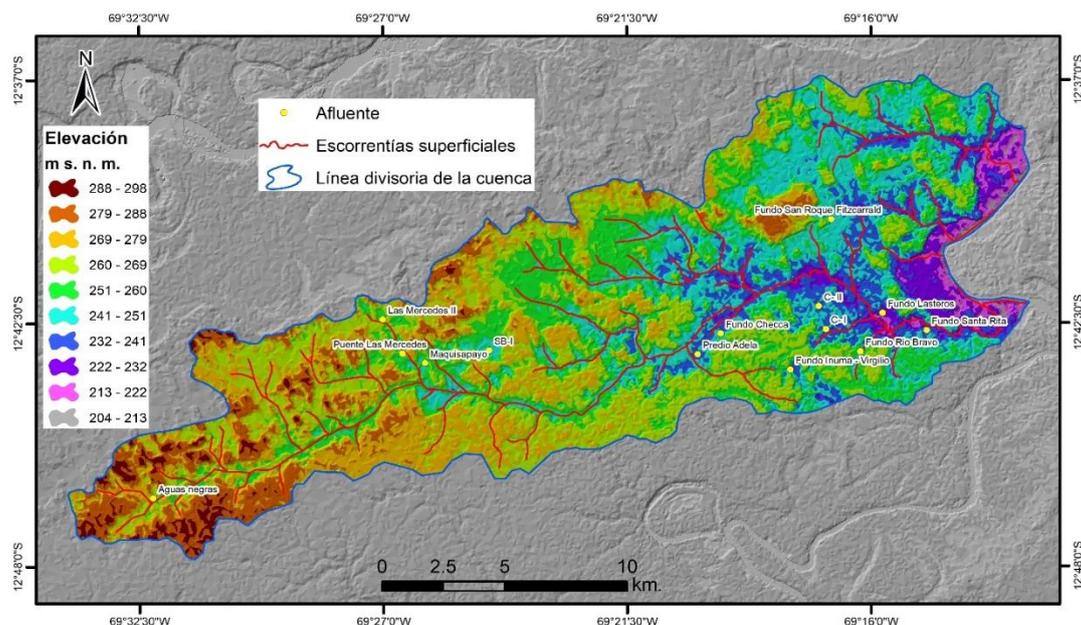


Figura 2. Se muestra la microcuenca Chonta, las escorrentías superficiales y los sitios donde se tomó la información de campo. Asimismo, se muestra la elevación máxima 298 y la elevación mínima 204 sobre el nivel del mar, que presenta la cuenca Chonta.

Por otro lado, se utilizó la herramienta "Landsat Acquisition Tool" para obtener información sobre la microcuenca Chonta. Esta herramienta permitió identificar la huella de mapeo de Landsat en el sitio web (https://landsat.usgs.gov/landsat_acq) y descargar las imágenes correspondientes a la escena que abarca el área de estudio (ROW 69). Para descargar las imágenes del satélite Landsat 8 (OLI), se utilizó el sitio web www.glovis.usgs.gov (plataforma GloVis), que ofrece imágenes de satélite de forma gratuita. Se descargaron imágenes con una cobertura de nubes inferior al 10 % en el área de estudio.

Además, se recurrió al sitio web <https://www.geogpsperu.com/> (GEO GPS PERÚ) para obtener información cartográfica en formato shapefile, que ayudó a ubicar el área de estudio y obtener las cuencas hidrográficas del Perú, las cuales están georreferenciadas. También se descargaron imágenes DEM del satélite ALOS PALSAR con una resolución nativa de 30 y 12,5 metros remuestreados, utilizando la plataforma Planet Explorer (<https://www.planet.com/>).

Las imágenes descargadas presentan diferentes resoluciones espaciales: 15 metros para la pancromática, 30 metros para la multiespectral y 60 metros para el infrarrojo lejano o termal. Estas resoluciones son óptimas para identificar la cobertura de la tierra. En el caso de las imágenes DEM del satélite ALOS PALSAR, la resolución es de 12,5 metros.

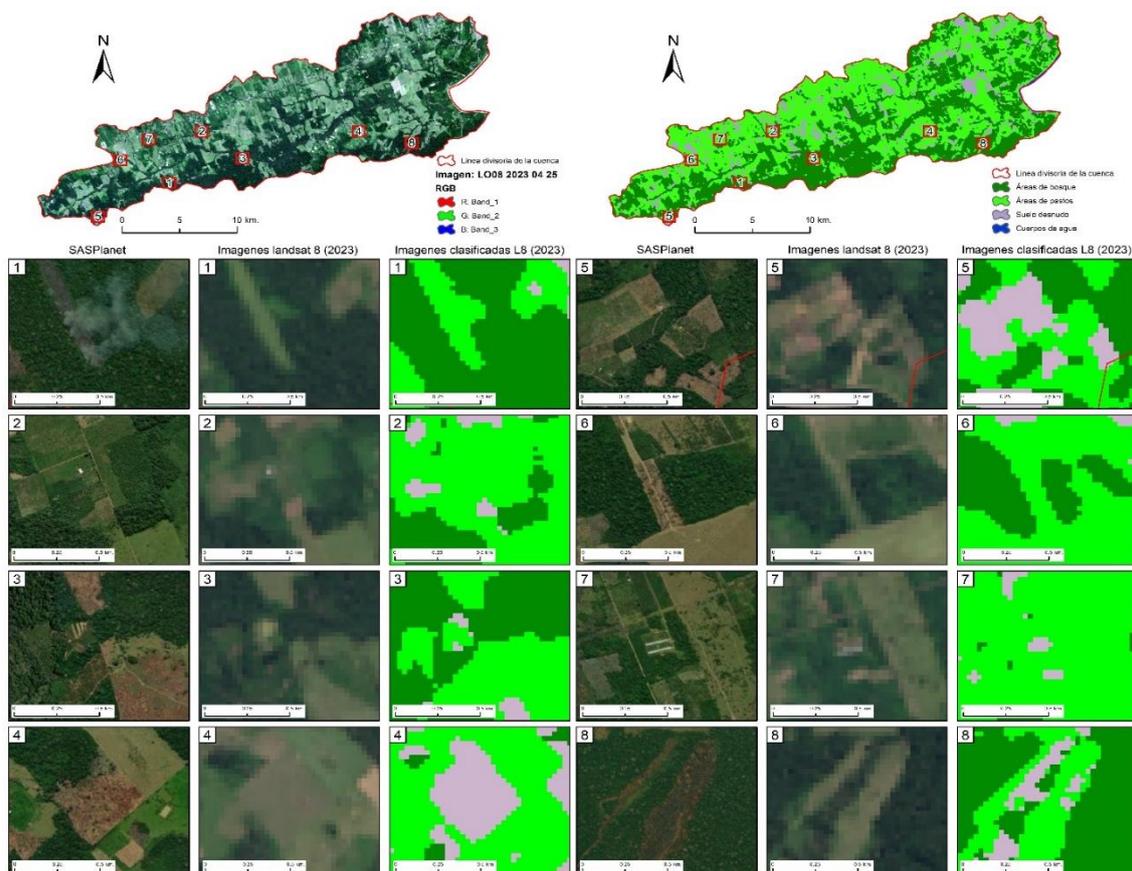


Figura 3. Se muestran ocho áreas donde la población realiza distintas actividades que deforestan los bosques, con imágenes SASPlanet e imágenes de Landsat 8 OLI.

Se utilizaron dos softwares para el análisis de los datos: ArcMap 10.8.1 y EMVI. ArcMap ayudó a realizar el análisis y obtener información sobre la microcuenca utilizando diversas herramientas de análisis. ENVI y ArcMap se utilizaron para identificar las clases de uso de la superficie de la tierra en el área de estudio, clasificándolas en bosques, suelos desnudos, pastos y cuerpos de agua (Ghute et al., 2023).

Para validar los resultados, se compararon los valores asignados a puntos en el mapa con los valores observados en el campo. Además, se utilizaron imágenes de mayor escala para el reconocimiento de grandes áreas, ya que el muestreo en campo resultaba costoso. Se realizaron comparaciones con imágenes de alta resolución de satélites y se agruparon los píxeles con características espectrales similares, teniendo en cuenta la forma, la textura, el tono, el color y el entorno espacial de los elementos (Boca & Rodríguez, 2012) (Figura 3).

Para evaluar los resultados, se utilizó la matriz de confusión y el coeficiente Kappa, que miden el nivel de acuerdo entre dos observaciones (Aларcon-Aguirre et al., 2021; Borràs et al., 2017; Hudson & Ramon, 1987; Landis & Koch, 1977; Talukdar et al., 2021).

El uso de los distintos softwares y herramientas fue fundamental para el análisis de los datos espaciales, ya que sin ellos sería casi imposible manejar la gran cantidad de información generada por cada imagen de satélite.

3. Resultados y discusión

3.1. Las actividades antropogénicas que tienen lugar en la microcuenca Chonta

De las 84 encuestas realizadas a lo largo de la microcuenca Chonta nos da a dilucidar que las quebradas del "Predio Adela", "Las Mercedes II" y "Fundo San Roque" son utilizadas para la práctica de la agricultura. Por otro lado, las quebradas "C-I", "C-II" y "Maquisapayo" son destinadas a la ganadería. En cuanto a la piscicultura, se ha observado que las quebradas "SB-I", "Fundo Checca" y "Fundo Lasteros" son utilizadas para esta actividad. Por otro lado, se ha identificado que las quebradas "Aguas negras", "Puente Las Mercedes" y "Fitzcarrald" son utilizadas para la urbanización. Por último, las quebradas "Fundo Santa Rita", "Fundo Inuma-Virgilio" y "Fundo Rio Bravo" son destinadas a la actividad de control-bosque.

Estos datos nos brindan una visión más clara de cómo se están utilizando las quebradas en términos de actividades antropogénicas. Es importante tener en cuenta estas actividades para poder evaluar su impacto en la cuenca y tomar medidas adecuadas para su conservación y manejo sostenible.

Según las encuestas, se determinó lo siguiente: el 52 % se dedica a la agricultura (65 individuos), el 25 % a la ganadería (32 individuos), el 7 % a actividades de negocio (9 individuos), el 4 % a la piscicultura (5 individuos), el 3 % exclusivamente a la avicultura (8 individuos), el 2 % a actividades relacionadas con ovinos u otros (5 individuos), y el 1 % a actividades relacionadas con porcino y castaña (2 individuos). Es importante destacar que estas cifras reflejan las preferencias y actividades económicas de la muestra encuestada. Estos resultados proporcionan una visión general de las principales áreas de interés y ocupación de los encuestados.

Es interesante notar que la agricultura es la actividad más común entre los encuestados, con más de la mitad de ellos dedicándose a esta labor. Esto sugiere que la agricultura desempeña un papel significativo en la economía local y en la vida de las personas encuestadas. Por otro lado, la ganadería también es una actividad relevante, aunque en menor medida que la agricultura. Aproximadamente una cuarta parte de los encuestados se dedican a la cría de animales, lo cual indica que esta actividad también tiene un impacto económico y social en la comunidad. En cuanto a las actividades de negocio, aunque representan un porcentaje menor, aún hay un número considerable de encuestados involucrados en esta área. Esto sugiere que existe una diversidad de emprendimientos y oportunidades comerciales en la región. En relación a la piscicultura, avicultura y otras actividades relacionadas con animales, si bien representan porcentajes más bajos, aún hay un número significativo de individuos que se dedican a ellas. Esto indica que estas actividades también tienen su lugar en la economía local y en las preferencias de los encuestados. Finalmente, es importante mencionar que las actividades relacionadas con ovinos u otros, así como las relacionadas con porcino y castaña, representan porcentajes más pequeños. Sin embargo, aún hay un número notable de encuestados que se dedican a estas áreas específicas, lo cual muestra la diversidad de actividades económicas presentes en la comunidad.

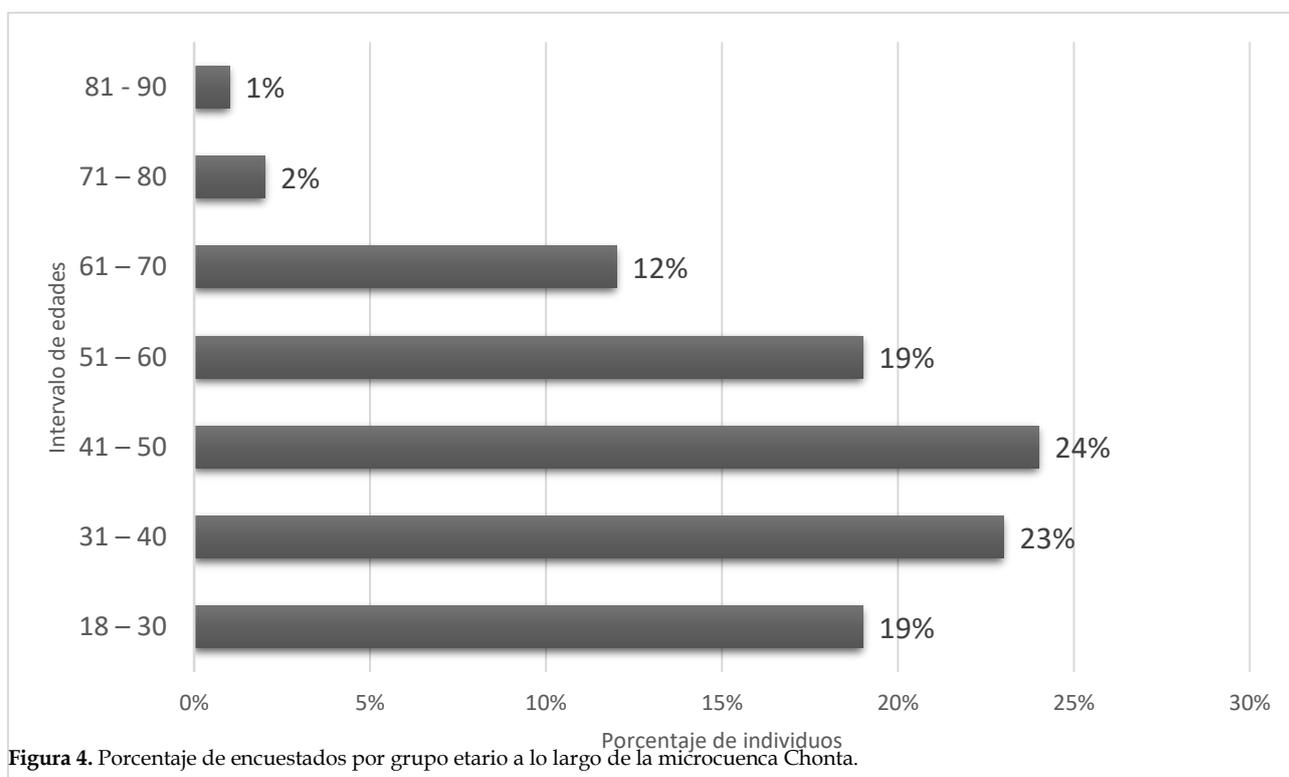
En concreto, las encuestas revelan una variedad de actividades económicas en las que los encuestados están involucrados, siendo la agricultura y la ganadería las más predominantes.

3.2. Encuestados por grupo etario

Es importante destacar que la muestra de la encuesta revela una diversidad en cuanto a la edad de los encuestados.

Los resultados muestran que la mayoría de los participantes se encuentran en el rango de edad de 41 a 50 años, seguido de cerca por aquellos que tienen entre 18 y 30 años, así como entre 51 y 60 años. Es interesante notar que solo un individuo, representando el 1 % de los encuestados, se encuentra en el grupo de edad de 81 a 90 años. Esto sugiere que la muestra de la encuesta está compuesta principalmente por personas de edades más jóvenes y de mediana edad (Figura 4).

Estos datos demuestran la importancia de considerar la diversidad en la edad al realizar encuestas y análisis demográficos. Cada grupo de edad puede tener diferentes perspectivas y experiencias, lo que puede influir en los resultados y conclusiones obtenidas.



3.3. Origen de procedencia de los encuestados

Tras el análisis de los pobladores encuestados en la microcuenca Chonta, se determinó que el 53 % de ellos provienen de la provincia de Puerto Maldonado, lo cual representa un total de 44 individuos. Además, se observó que el 21 % de los encuestados son originarios de la región Cusco, sumando un total de 18 individuos. Por otro lado, un 5 % de los encuestados proceden de la región Puno, con un total de 4 individuos (Tabla 1).

Estos datos demuestran la diversidad en cuanto a la procedencia de los encuestados en la microcuenca Chonta. La mayoría de ellos son originarios de la provincia de Puerto Maldonado, seguidos por aquellos que provienen de la región Cusco y Puno. Esta información es relevante

para comprender la composición geográfica de la población que se encuentra albergando la microcuenca.

Tabla 1. Procedencia de los encuestados en la microcuenca Chonta.

Origen	N°
Abancay	1
Alegría	1
Arequipa	1
Ayacucho	1
Cajamarca	1
Cusco	18
Huánuco	1
Junín	2
Laberinto	1
Moquegua	1
Piura	1
Pucallpa	2
Puerto Maldonado	44
Puno	4
Quillabamba	1
San Martín	1
Toronto - Canadá	1
No sabe	2
Total	84

3.4. Concentraciones del análisis físico químico

Se observaron variaciones en los caudales de las diferentes quebradas entre las dos mediciones, destacando el aumento en el caudal de la quebrada de "Fundo Lasteros" en la segunda medición.

En relación al nivel de oxígeno disuelto en las muestras tomadas de las quebradas de la microcuenca Chonta, se puede observar que existen diferencias significativas.

Tabla 2. Mediciones de parámetros químicos en los distintos sitios tomados en la cuenca Chonta.

Quebrada	Caudal (m ³ /s)		OD mg/L (ppm)		pH		Nitrato (mg N/l)		P mg/L (ppm)		NTU	
	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2	S 1	S 2
Predio Adela	0,013	0,026	4	4	6	6	4	5	2	1	0	0
Las Mercedes II	0,157	0,118	8	8	7	6	5	5	1	1	0	0
Fundo San Roque	0,041	0,042	4	4	5	5	5	5	1	1	0	0
Fundo Santa Rita	0,025	0,026	4	4	6	6	5	5	1	2	0	0
Fundo Inuma - Virgilio	0,093	0,06	8	4	6	5	5	5	1	1	0	0
Fundo Rio Bravo	0,091	0,103	8	8	6	7	5	5	4	4	0	0
C- I	0,083	0,103	8	8	6	6,5	5	5	3	2	0	0
C- II	0,017	0,026	4	2	6	7	5	5	4	4	10 0	40
Maquisapayo	0,085	0,093	4	4	5	5	5	5	2	4	0	40
SB-I	0,045	0,033	8	8	6	7	5	5	2	1	40	0
Fundo Checca	0,169	0,174	8	4	6	6	5	5	2	1	0	0
Fundo Lasteros	0,221	0,4	8	4	7	5	5	5	2	1	0	40
Aguas negras	0,119	0,119	4	8	6	6	6	5	2	2	40	0
Puente Las Mercedes	0,032	0,078	4	4	6	5	5	5	4	1	0	0
Fitzcarrald	0,048	0,037	4	8	6	6	5	5	3	2	0	0

OD: Oxígeno disuelto; P: Fosforo; NTU: Unidad de Turbidez nefelométrica.

En la primera toma de muestras, se encontró que algunas quebradas presentaron una concentración más alta de oxígeno disuelto, mientras que otras mostraron una concentración más baja. En la segunda toma de muestras, se observaron patrones similares, con algunas quebradas manteniendo una concentración máxima de oxígeno disuelto y otras mostrando concentraciones medias o mínimas. Estos hallazgos resaltan las variaciones en la concentración de oxígeno disuelto entre las quebradas muestreadas, lo que podría tener implicaciones importantes para la vida acuática y la salud general del ecosistema (Tabla 2).

En concreto, se puede concluir que las quebradas mencionadas presentaron variaciones en los niveles de oxígeno disuelto, siendo algunas de ellas más propicias para la vida acuática debido a su mayor concentración de oxígeno (Tabla 2).

En el caso del hidrógeno, se observa que, en la primera toma de muestras, algunas quebradas mostraron un potencial de hidrógeno neutro, mientras que otras presentaron un potencial ligeramente ácido. En la segunda toma de muestras, se mantuvieron patrones similares, con algunas quebradas mostrando un potencial de hidrógeno neutro y otras un potencial ligeramente ácido. Estos hallazgos indican variaciones en el potencial de hidrógeno entre las quebradas muestreadas, lo que podría tener implicaciones para la calidad del agua y el ecosistema circundante (Tabla 2).

Los resultados indican que algunas quebradas presentaron un potencial de hidrógeno neutro, mientras que otras mostraron un potencial ligeramente ácido. Es importante tener en cuenta estos niveles de pH para evaluar la calidad del agua y su impacto en el ecosistema circundante (Tabla 2).

Los resultados del análisis muestran variaciones significativas en los niveles de nitrato, fosfato y turbidez entre los arroyos muestreados en la microcuenca Chonta. La presencia de nitrato más

alta en el arroyo Aguas Negras en el primer muestreo sugiere una fuente potencial de contaminación en esa área, mientras que la mayor turbidez en la misma corriente en la primera muestra podría indicar niveles más altos de contaminación o escorrentía de sedimentos. Estos hallazgos subrayan la importancia de comprender las variaciones en la turbidez y los niveles de nitrato para abordar las posibles fuentes de contaminación y mantener la calidad del agua en estos arroyos (Tabla 2).

3.5. Estimación de la cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales en la microcuenca Chonta, para el año 2023

A partir de la clasificación de las imágenes Landsat 8 OLI del año 2023, se ha realizado un análisis espacial que revela lo siguiente. Se han identificado cuatro categorías de uso de la cobertura de la tierra: bosque, suelos desnudos, pastos y cuerpos de agua, la microcuenca Chonta tiene una extensión total de 34 439,61 hectáreas, de las cuales los cuerpos de agua ocuparon 98,55 hectáreas. Sin embargo, este valor no se tendrá en cuenta en los análisis debido a que representa un porcentaje insignificante en comparación con las demás clases analizadas. En cuanto a las clases restantes, se observa que los suelos desnudos abarcan el 9 % del área total de la microcuenca, seguidos por los bosques que representan el 41 % del total. Por último, los pastos ocuparon el 50 % del área de la microcuenca Chonta (Tabla 3).

Además, vale la pena señalar que la clasificación de la cobertura del suelo en la microcuenca Chonta proporciona información valiosa sobre la distribución y composición de los diferentes tipos de uso del suelo. La presencia de bosques que cubren el 41 % del área total indica que una porción significativa de la microcuenca todavía está cubierta por vegetación natural, que es crucial para la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Figura 5a).

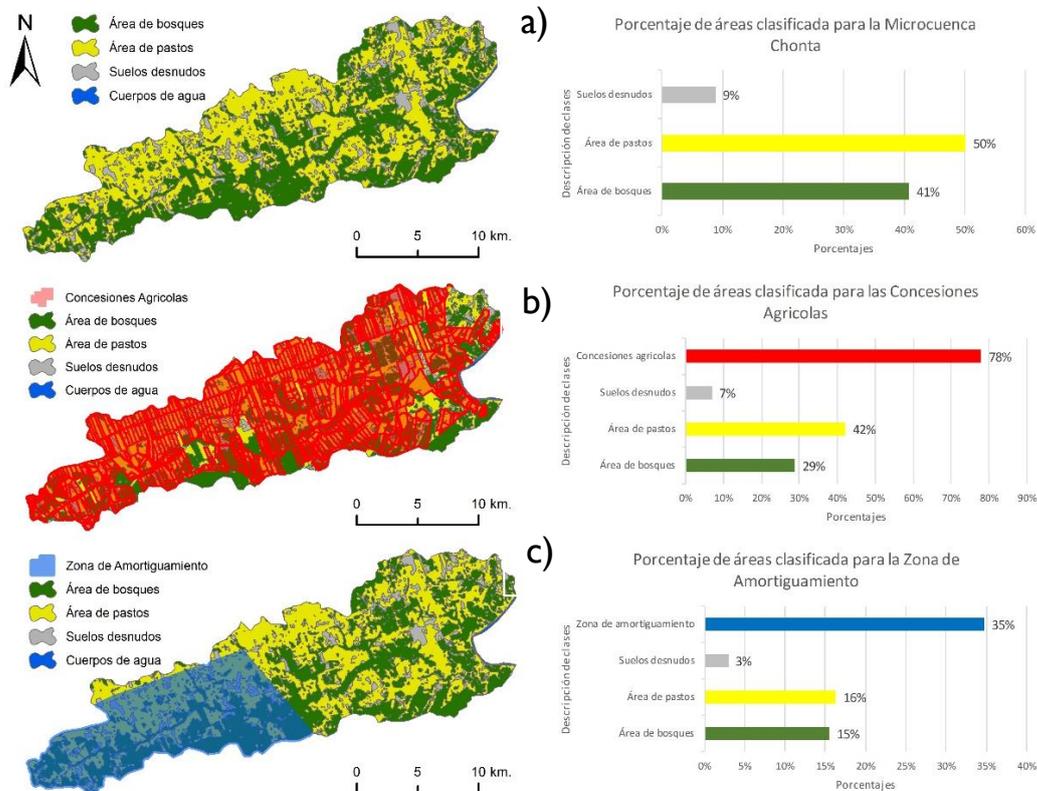


Figura 5. a) Se muestra la clasificación con las imágenes del satélite Landsat 8 OLI; b) se muestra las concesiones agrícolas sobrepuestas sobre la clasificación; c) se muestra la zona de amortiguamiento sobrepuesto en la clasificación.

Por otro lado, la presencia de suelos desnudos que ocupan el 9 % de la microcuenca sugiere una potencial degradación del suelo o cambios de uso del suelo en ciertas áreas. Este hallazgo destaca la necesidad de una mayor investigación y monitoreo para comprender las causas subyacentes e implementar estrategias apropiadas de manejo de la tierra para mitigar la erosión y degradación del suelo (Figura 5a).

La clase de pastos, que abarca la mitad del área de la microcuenca, indica una presencia importante de actividades agrícolas o de pastoreo de ganado. Este hallazgo implica la importancia de las prácticas agrícolas sostenibles para asegurar la productividad a largo plazo y la sostenibilidad ambiental de la región (Figura 5a).

Por otro lado, al analizar la superposición de las concesiones agrícolas en la clasificación de la microcuenca, se obtienen los siguientes resultados espaciales. Las concesiones agrícolas cubren un área total de 26 816,76 hectáreas, lo que representa aproximadamente el 78 % de la extensión total de la microcuenca Chonta. Sin embargo, existe una diferencia de tan solo el 22 % para que las concesiones agrícolas abarquen la totalidad de la microcuenca, Es importante resaltar que la clase de suelos desnudos ocupa un 7 % del área total de las concesiones agrícolas, seguida por la clase de bosque con un 29 % y la clase de pastos con un 42 % (Figura 5b).

Además, este análisis espacial revela la importancia de considerar el impacto de las concesiones agrícolas en la microcuenca Chonta. La extensión de estas concesiones abarca una gran parte del territorio, lo que plantea desafíos en términos de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales (Figura 5b).

Los resultados de los análisis de calidad del agua, que muestran variaciones en los niveles de nitrato, fosfato, turbidez, potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto entre las quebradas muestreadas en la microcuenca Chonta, están estrechamente relacionados con la información proporcionada sobre el uso de la tierra en la zona. La presencia de suelos desnudos en un 7 % del área de las concesiones agrícolas, así como la falta de bosques y la extensión de pastizales, sugieren una posible degradación del suelo y una conversión de tierras forestales en pastizales. Estos factores pueden tener consecuencias negativas para la calidad del agua, el suelo, la retención de agua y la biodiversidad en la microcuenca. La disminución de la calidad del suelo y la falta de vegetación pueden influir en los niveles de nitrato, fosfato, turbidez, potencial de hidrógeno y oxígeno disuelto en las muestras de agua, ya que la actividad agrícola intensiva y la falta de cobertura vegetal pueden contribuir a la escorrentía de nutrientes y sedimentos hacia los arroyos. Además, la falta de vegetación y corredores biológicos resalta la importancia de implementar prácticas de conservación del suelo y promover técnicas agrícolas sostenibles para minimizar el impacto ambiental. Por otro lado, la zona de amortiguamiento en la microcuenca Chonta, que abarca aproximadamente el 35 % del área total, desempeña un papel crucial en la protección y conservación del ecosistema circundante, mitigando los impactos negativos de las actividades humanas y contribuyendo a la biodiversidad (Figura 5b).

Tabla 3. Se muestra los datos obtenidos de la clasificación en la microcuenca Chonta, concesiones Agrícolas y la Zona de Amortiguamiento, estos datos se muestran en hectáreas y porcentajes.

Clasificación de la Microcuenca Chonta		
Diccionario	ÁREA (ha)	Áreas en (%)
Área de la Cuenca	34 439,61	100 %
Área de bosques	14 034,09	41 %
Área de pastos	17 241,59	50 %
Suelos desnudos	3 057,79	9 %
Cuerpos de agua	98,55	0 %
Áreas de las Concesiones Agrícolas		
Diccionario	ÁREA (ha)	Áreas en (%)
Área de la Cuenca	34 439,61	100 %
Concesiones Agrícolas	26 816,76	78 %
Área de bosques	9 899,53	29 %
Área de pastos	14 482,42	42 %
Suelos desnudos	2 416,89	7 %
Cuerpos de agua	98,55	0 %
Área de la Zona de Amortiguamiento		
Diccionario	ÁREA (ha)	Áreas en (%)
Área de la Cuenca	34 439,61	100 %
Zona de amortiguamiento	11 948,39	35 %
Área de bosques	5 325,10	15 %
Área de pastos	5 602,13	16 %
Suelos desnudos	1 013,30	3 %
Cuerpos de agua	98,55	0 %

En cuanto a la clasificación de la zona de amortiguamiento, es fundamental tener en cuenta la presencia de suelo desnudo, bosques y pastizales. El suelo desnudo, que representa un 3 % de la zona, puede ser un indicador de procesos de erosión y degradación del suelo. Es necesario implementar medidas de restauración y manejo adecuado para evitar la pérdida de suelo fértil y promover su regeneración (Tabla 3).

Por otro lado, los bosques, que abarcan un 15 % de la zona de amortiguamiento, son esenciales para la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Estos ecosistemas proveen hábitats para numerosas especies de flora y fauna, contribuyen a la regulación del ciclo del agua y actúan como sumideros de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático (Tabla 3).

El análisis espacial de las imágenes Landsat 8 OLI de 2023 revela información valiosa sobre la distribución de la cobertura terrestre en la microcuenca Chonta. Los resultados resaltan la importancia de conservar y gestionar de manera sostenible esta área para preservar su integridad ecológica y optimizar su uso. Se recomienda implementar medidas de restauración, promover la participación de la comunidad y las autoridades locales, y adoptar un enfoque integral para el manejo de las concesiones agrícolas en la microcuenca. Esto incluye fomentar prácticas agrícolas sostenibles, conservar los bosques existentes y prevenir la degradación del agua y suelo. Solo a través de una gestión responsable se podrá garantizar la protección de los recursos naturales y el desarrollo sostenible de la microcuenca Chonta.

4. Conclusiones

Se encontró que las actividades antropogénicas más comunes en la zona son la agricultura y la ganadería. La mayoría de los encuestados pertenecen al rango de edades entre 41 y 50 años y provienen principalmente de la provincia de Puerto Maldonado. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados se basan en una muestra limitada y pueden no representar a toda la población de la microcuenca.

En cuanto a las mediciones de caudales y parámetros del agua, se observaron variaciones significativas entre las diferentes muestras tomadas en las quebradas de la microcuenca Chonta. Se encontraron cambios en los caudales y diferencias en los niveles de oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, concentración de nitratos, concentración de fosfatos y turbidez. Estos resultados resaltan la importancia de monitorear regularmente los parámetros del agua para comprender mejor su calidad y tomar medidas adecuadas para su conservación y protección.

El análisis espacial de las imágenes Landsat 8 OLI reveló cuatro categorías de uso de la cobertura de la tierra en la microcuenca Chonta: bosque, suelos desnudos, pastos y cuerpos de agua. Los bosques ocupan el 41 % del área total, lo que destaca la importancia de conservar la vegetación natural. Sin embargo, se identificó la presencia de suelos desnudos en un 9 % del área, lo que sugiere una posible degradación del suelo. Los pastos ocupan el 50 % del área, lo que resalta la importancia de prácticas agrícolas sostenibles.

Se observó que aproximadamente el 78 % del territorio de la microcuenca está cubierto por concesiones agrícolas, lo que plantea desafíos en términos de conservación y manejo sostenible de los recursos naturales. La presencia de suelos desnudos y la falta de bosques en estas áreas indica posibles problemas de degradación del suelo y falta de vegetación. Además, la ocupación de pastos puede tener consecuencias negativas para la calidad del agua, el suelo y la biodiversidad.

Se identificó una zona de amortiguamiento que abarca aproximadamente el 35 % del área total de la microcuenca. Esta área desempeña un papel crucial en la protección y conservación del ecosistema circundante. Se encontró que la presencia de suelo desnudo en esta zona indica procesos de erosión y degradación del suelo, mientras que los bosques y pastizales contribuyen a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.

Financiamiento

Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD. Por intermedio del Vicerrectorado de Investigación-VRI, con RESOLUCIÓN DE VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN N° 263-2019 UNAMAD-VRI. Código del proyecto: 2019-2T-008.

Conflicto de intereses

Todos los autores declaran no tener ningún tipo de conflictos de intereses con la presente investigación.

Contribuciones de autor

Investigación y adquisición de fondos: SH-V; validación, análisis formal, revisión y edición, supervisión: JP-V; conceptualización, metodología, software, curación de datos y preparación del borrador original: RRC-R.

Referencias bibliográficas

- Alarcon-Aguirre, G., Canahuire-Robles, R. R., Guevara, F. M., Rodríguez, L., Gallegos, L. E., & Garate-Quispe, J. (2021). Dynamics of forest loss in the southeast of the Peruvian Amazon: a case study in Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2), 1-11. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2175>
- Anh, N. T., Can, L. D., Nhan, N. T., Schmalz, B., & Luu, T. Le. (2023). Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8(May), 100424. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100424>
- Boca, T., & Rodríguez, G. (2012). Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud de productos derivados de sensores remotos Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*, 48, 55. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>
- Camara, M., Jamil, N. R., & Abdullah, A. F. Bin. (2019). Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. *Ecological Processes*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0164-x>
- Dalla, R., & Basso, C. (2023). *Agricultura Familiar em Foz do Iguaçu/PR: Desafios e Oportunidades na Produção de Biomassa*. [Tesis de pregrado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana].
- Deche, A., Assen, M., Damene, S., Budds, J., & Kumsa, A. (2023). Dynamics and Drivers of Land Use and Land Cover Change in the Upper Awash Basin, Central Rift Valley of Ethiopia. *Environmental management*, 72(1), 160-178. <https://doi.org/10.1007/s00267-023-01814-z>
- Ghute, B. B., Shaikh, M. B., & Halder, B. (2023). Impact assessment of natural and anthropogenic activities using remote sensing and GIS techniques in the Upper Purna River basin, Maharashtra, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(2), 1507-1522. <https://doi.org/10.1007/S40808-022-01576-3/METRICS>
- Griscom, B. W., & P. Mark S. Ashton. (2003). Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. *Forest Ecology and Management*, 175(1-3), 445-454. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00214-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00214-1)
- Gupta, H., Kao, S. J., & Dai, M. (2012). The role of mega dams in reducing sediment fluxes: A case study of large Asian rivers. *Journal of Hydrology*, 464-465, 447-458. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2012.07.038>
- Hamilton, S. K., Kellndorfer, J., Lehner, B., & Tobler, M. (2007). Remote sensing of floodplain geomorphology as a surrogate for biodiversity in a tropical river system (Madre de Dios, Peru). *Geomorphology*, 89(1-2), 23-38. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2006.07.024>

- Hong, D., Westra, S., & Leonard, M. (2017). A global-scale investigation of trends in annual maximum streamflow. *Journal of Hydrology*, 552, 28-43. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.06.015>
- Hudson, W. D., & Ramon, C. W. (1987). Correct Formulation of the Kappa Coefficient of Agreement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 53, 421-422.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Laura, A., García, M., Carlos, F., & Contreras, A. (2023). Estudio socioantropológico de la agricultura urbana y cultura nutricional desde percepciones socioculturales en Cienfuegos. *Revista Conrado*, 19(93), 360-373.
- Li, C., Zhang, Y., Shen, Y., & Yu, Q. (2020). Decadal water storage decrease driven by vegetation changes in the Yellow River Basin. *Science Bulletin*, 65(22), 1859-1861. <https://doi.org/10.1016/J.SCIB.2020.07.020>
- Li, Y., Kong, M., Zang, C., & Deng, J. (2023). Spatial and Temporal Evolution and Driving Mechanisms of Water Conservation Amount of Major Ecosystems in Typical Watersheds in Subtropical China. *Forests*, 14(1), 93. <https://doi.org/10.3390/f14010093>
- Lopes, B. S., Corrêa, K. A. B., Ogasawara, M. E. K., Precinoto, R. S., Cassiano, C. C., Sell, B. M., Melo, R. S., dos Reis Oliveira, P. C., & Ferraz, S. F. de B. (2022). How does land use cover change affect hydrological response in the Atlantic Forest? Implications for ecological restoration. *Frontiers in Water*, 4, 998349. <https://doi.org/10.3389/FRWA.2022.998349/BIBTEX>
- López, J. L., Salgado, E., Aguirre, J. F., & Méndez, J. A. (2023). Agricultura de temporal y seguridad alimentaria en familias campesinas, un estudio de caso en Puebla-México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(1), 109-124. <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i1.1531>
- Mahdian, M., Hosseinzadeh, M., Siadatmousavi, S. M., Chalipa, Z., Delavar, M., Guo, M., Abolfathi, S., & Noori, R. (2023). Modelling impacts of climate change and anthropogenic activities on inflows and sediment loads of wetlands: case study of the Anzali wetland. *Scientific Reports*, 13(1), 5399. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32343-8>
- Manrique, C., & Delgado, C. (2016). *Análisis de situación de salud 2016*. Dirección Regional de Salud Madre de Dios: Dirección de Epidemiología.
- Niu, C., Chang, J., Wang, Y., Shi, X., Wang, X., Guo, A., Jin, W., & Zhou, S. (2022). A Water Resource Equilibrium Regulation Model Under Water Resource Utilization Conflict: A Case Study in the Yellow River Basin. *Water Resources Research*, 58(6), e2021WR030779. <https://doi.org/10.1029/2021WR030779>
- Osher, L. J., & Buol, S. W. (1998). Relationship of soil properties to parent material and landscape position in eastern Madre de Dios, Peru. *Geoderma*, 83(1-2), 143-166. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00133-X)
- Panda, D. K., Kumar, A., & Mohanty, S. (2011). Recent trends in sediment load of the tropical (Peninsular) river basins of India. *Global and Planetary Change*, 75(3-4), 108-118. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2010.10.012>
- Rosello, C., Elsawah, S., Guillaume, J., & Jakeman, A. (2022). A Century of Evolution of Modeling

- for River Basin Planning to the Next Generation of Models, Methods, and Concepts. En *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.624>
- Silva, L. S. da, Ferraz, L. L., Sousa, L. F. de, Santos, C. A. S., & Rocha, F. A. (2022). Trend in hydrological series and land use changes in a tropical basin at Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 57(1), 137-147. <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781097>
- Sousa, L. F., Ferraz, L. L., Santos, C. A. S., Rocha, F. A., & de Jesus, R. M. (2023). Assessment of hydrological trends and changes in hydroclimatic and land use parameters in a river basin in northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 128(February), 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104464>
- Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience* 2009 2:10, 2(10), 681-686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Talukdar, S., Eibek, K. U., Akhter, S., Ziaul, S., Towfiqul Islam, A. R. M., & Mallick, J. (2021). Modeling fragmentation probability of land-use and land-cover using the bagging, random forest and random subspace in the Teesta River Basin, Bangladesh. *Ecological Indicators*, 126, 107612. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107612>
- Thieme, M., Lehner, B., Abell, R., Hamilton, S. K., Kellendorfer, J., Powell, G., & Riveros, J. C. (2007). Freshwater conservation planning in data-poor areas: An example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). *Biological Conservation*, 135(4), 484-501. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2006.10.054>
- Vercruyssen, K., Grabowski, R. C., & Rickson, R. J. (2017). Suspended sediment transport dynamics in rivers: Multi-scale drivers of temporal variation. *Earth-Science Reviews*, 166, 38-52. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2016.12.016>
- Wang, B., Horna, V., Heckmann, M., Hapsari, K. A., Zimmermann, R., & Behling, H. (2023). Holocene environmental changes inferred from an oxbow lake in a Mauritia palm swamp (aguajal) in the Madre de Dios region, southeastern Peru. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 312, 104863. <https://doi.org/10.1016/J.REVPALBO.2023.104863>
- Zhang, H., Cao, X., Huo, S., Ma, C., Li, W., Liu, Y., Tong, Y., & Wu, F. (2023). Changes in China's river water quality since 1980: management implications from sustainable development. *npj Clean Water*, 6(1), 45. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00260-y>