

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD EN LA CUENCA DEL ORINOCO
COLOMBIANO BASADOS EN EXPERIENCIAS APLICADAS EN OTRAS CUENCAS



YEINER JAIR CARDOZO MARTINES



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2025

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE SOSTENIBILIDAD EN LA CUENCA DEL ORINOCO
COLOMBIANO BASADOS EN EXPERIENCIAS APLICADAS EN OTRAS CUENCAS

YEINER JAIR CARDOZO MARTINES

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director

Mg. DEIBYS GILDARDO MANCO SILVA

Magíster en Ecotecnología

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. William PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

Se puede incluir una dedicatoria como homenaje a una o más personas que influyeron en el éxito del trabajo. El uso del título Dedicatoria es opcional.

Agradecimientos

En esta sección se reconoce la ayuda de personas e instituciones que contribuyeron significativamente al desarrollo del trabajo. apoyo económico, toma de datos, el préstamo de literatura y equipo, la asistencia en la preparación de tablas e ilustraciones, las sugerencias útiles, las ideas que ayudaron a explicar los resultados, y la ayuda con la lectura crítica y corrección del documento.

Contenido

	Pág.
Resumen	9
Abstract.....	10
Glosario.....	11
1. Introducción.....	12
2. Desarrollo del Estado del Arte	15
2.1. Delimitación del Problema	15
2.2. Características de la muestra documental	18
2.3. Aspectos que afectan a las cuencas hidrográficas.....	19
2.4. Estrategias de gestión para la recuperación de cuencas hidrográficas.....	21
2.5. Desafíos en la gestión de cuencas hidrográficas.....	25
3. Discusión	27
3.1. Aspectos que afectan la gestión integral de la cuenca del río Orinoco.....	27
3.2. Estrategias de manejo sostenible aplicables en la Cuenca del río Orinoco	28
3.3. Desafíos de gobernanza en la Cuenca del río Orinoco	30
4. Conclusiones	32
5. Recomendaciones	33
6. Referencias bibliográficas	34

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1. Procedimiento establecido para la revisión bibliográfica	18
Tabla 2. Resumen de las estrategias de gestión aplicadas en cuencas hidrográficas.....	24

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1. Red de drenajes de la Cuenca del río Orinoco	15
Figura 2. Coberturas de tierra de la Cuenca del río Orinoco	16

Resumen

La cuenca del Orinoco colombiano, una de las más ricas en biodiversidad, enfrenta serias amenazas debido a la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, la minería y la extracción de hidrocarburos. Estas actividades han reducido la capacidad de la cuenca para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del agua y el soporte de la biodiversidad. Frente a este contexto, se han identificado y analizado experiencias exitosas de sostenibilidad en otras cuencas que podrían adaptarse y aplicarse en el Orinoco para mitigar estos impactos negativos.

El presente estudio se centra en la revisión de proyectos de sostenibilidad implementados en cuencas de diversas regiones, como el Yangtsé en China, el Lago Chad en África, y el río Grand en Canadá, que han demostrado con éxito la restauración ecológica y el manejo de recursos hídricos. Estos proyectos combinan prácticas de restauración del suelo, reforestación y gobernanza participativa, permitiendo la recuperación de áreas degradadas y la mejora en la calidad de vida de las comunidades locales. La implementación de estos enfoques ha promovido mayor resiliencia de los ecosistemas y un aprovechamiento sostenible de los recursos.

En el caso de la cuenca del Orinoco, se considera que replicar algunos de estos modelos, adaptándolos a las particularidades ecológicas y sociales de la región, podría ofrecer soluciones viables para restaurar el equilibrio ambiental y mejorar la sostenibilidad. Sin embargo, se identifican desafíos importantes en cuanto a la gobernanza, dada la necesidad de coordinar acciones entre los sectores agrícola, minero y de conservación, así como fortalecer la participación de las comunidades locales.

Este estudio concluye que la integración de políticas públicas que apoyen prácticas sostenibles, el uso de tecnologías de modelado, priorización de áreas, y la creación de incentivos económicos para la adopción de prácticas amigables con el ambiente son elementos clave para avanzar hacia la sostenibilidad en el Orinoco. Asimismo, se recomienda implementar programas de capacitación comunitaria y desarrollar investigaciones específicas para garantizar la adaptabilidad y efectividad de estos proyectos en las condiciones locales de esta cuenca colombiana.

Palabras Clave: *Cuenca del Orinoco, gestión, sostenibilidad, restauración ecológica, gobernanza participativa.*

Abstract

Colombia's Orinoco watershed, one of the richest in biodiversity, faces serious threats from deforestation, expansion of the agricultural frontier, mining, and hydrocarbon extraction. These activities have reduced the watershed's capacity to provide essential ecosystem services, such as water regulation and biodiversity support. In this context, successful sustainability experiences in other watersheds have been identified and analyzed that could be adapted and applied in the Orinoco to mitigate these negative impacts.

This study focuses on the review of sustainability projects implemented in watersheds in various regions, such as the Yangtze in China, Lake Chad in Africa, and the Grand River in Canada, which have demonstrated success in ecological restoration and water resource management. These projects combine soil restoration, reforestation and participatory governance practices, enabling the recovery of degraded areas and improving the quality of life of local communities. The implementation of these approaches has promoted greater ecosystem resilience and a more sustainable use of resources.

In the case of the Orinoco basin, it is considered that replicating some of these models, adapting them to the ecological and social particularities of the region, could offer viable solutions to restore environmental balance and improve sustainability. However, significant governance challenges are identified, given the need to coordinate actions between the agricultural, mining and conservation sectors, as well as to strengthen the participation of local communities.

This study concludes that the integration of public policies that support sustainable practices, the use of modeling technologies and prioritization of areas, and the creation of economic incentives for the adoption of environmentally friendly practices are key elements for advancing towards sustainability in Orinoco. It is also recommended to implement community training programs and develop specific research to guarantee the adaptability and effectiveness of these projects in the local conditions of this Colombian basin.

Key Word: *Orinoco basin, management, sustainability, ecological restoration, participatory governance.*

Glosario

Cuenca Hidrográfica: Una cuenca hidrográfica es una “unidad morfológica integral que se define en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce”, como así también se explica como “unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de las aguas, las cuales fluyen al mar o a través de una red de cauces principales” (Aumassanne & Gaspari, 2023).

Servicios ecosistémicos: Beneficios que los ecosistemas proporcionan a los seres humanos, incluyendo provisión de agua, regulación del clima, polinización de cultivos, y conservación de la biodiversidad (Ivars et al., 2023).

Gobernanza participativa: Modelo de gestión en el que los actores locales, comunidades y autoridades participan de manera activa en la toma de decisiones, asegurando un manejo equilibrado de los recursos naturales (Alcivar & Miranda, 2024).

Sistemas Agroforestales (SAF): Estrategia de uso de la tierra que combina la plantación de árboles con cultivos agrícolas o ganadería para mejorar la fertilidad del suelo, incrementar la biodiversidad y reducir los impactos del cambio climático (Cortés, 2023).

Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS): Es el instrumento a través del cual se realiza la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna y el manejo de la cuenca, en el que participa la población que habita en el territorio de la cuenca, conducente al buen uso y manejo de tales recursos (Departamento de Planeación Nacional (DPN), 2020).

1. Introducción

A nivel mundial las cuencas hidrográficas son ecosistemas esenciales para la vida en la Tierra, proporcionando agua dulce, regulando el clima y siendo hábitat para una gran variedad de especies de fauna y flora (Aguirre, 2007). Sin embargo, estos sistemas enfrentan amenazas crecientes derivadas de la actividad humana. Según (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2020) los recursos de agua dulce disponibles por persona han disminuido en más de un 20% en las últimas dos décadas debido a factores como el crecimiento de la población y el desarrollo económico, exacerbados por el cambio climático. Adicional a esto, (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2021) afirma a partir de un estudio realizado, que el 40% de 75.000 cuerpos de agua en 89 países se encontraban gravemente contaminados.

La deforestación también ha incrementado a niveles alarmantes, con una pérdida de 4.7 millones de hectáreas anuales de bosques, lo que afecta negativamente la capacidad de las cuencas para almacenar agua y regular los flujos hídricos (World Wildlife Fund (WWF), 2020). Este escenario crítico plantea la necesidad urgente de implementar soluciones sostenibles que restauren y protejan las cuencas hidrográficas.

En Colombia, un país con el 10% de la diversidad biológica del planeta y grandes recursos hídricos (Castillo & Peña, 2006), las cuencas hidrográficas desempeñan un papel crucial para el bienestar económico, social y ambiental. De acuerdo con Donato (2024) entre 1995 y 2006 la disponibilidad de agua per cápita se redujo de 60.000 a 40.000 m³/año/habitante, provocando que para el 2005 el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y el Banco Mundial ya no clasificará al país como una de las potencias hídricas del mundo, sino como el país número 24 en una lista de 182. Además, de acuerdo con World Wildlife Fund (WWF) (2024), se estima que, en los últimos años, cerca de 3.3 millones de hectáreas han sido deforestadas en el territorio colombiano. Este panorama no solo amenaza la biodiversidad de las regiones, sino también la capacidad de las cuencas de proveer servicios ecosistémicos esenciales, como la recarga de acuíferos, la regulación de las inundaciones y la oferta de agua para consumo humano y actividades productivas (Aguirre, 2011).

En este contexto, la cuenca del Orinoco, la cual tiene un área de 981.446 km², de los cuales 343.506,1 km² (35% de su extensión) se encuentra en Colombia, que representa al 30% del territorio colombiano (World Wildlife Fund (WWF), 2016). Se destaca por su enorme relevancia

ecológica y económica, caracterizándose por ser una de las más ricas del mundo desde el punto de vista biológico, hidrológico y cultural. Sin embargo, enfrenta desafíos críticos relacionados con el incremento de la expansión de la minería (942 concesiones para 2014), la extracción de hidrocarburos (8 millones de hectáreas bajo exploración), la agroindustria (320.829 ha) y el desarrollo de infraestructura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). La presión sobre los recursos naturales en la Cuenca del Orinoco ha alterado la dinámica de los ecosistemas y ha aumentado la vulnerabilidad de las comunidades locales a fenómenos como sequías e inundaciones, exacerbados por el cambio climático (Gordon et al., 2018). Para asegurar un futuro sostenible en esta región, es fundamental implementar estrategias de gestión sostenible que equilibren el desarrollo económico con la conservación de los ecosistemas de cuenca.

Frente a esto, en Colombia, se han desarrollado varios instrumentos enfocados en la gestión integral de cuencas hidrográficas, entre las que se destacan los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCAS). Estos planes son instrumentos de planificación ambiental que buscan regular el uso, manejo y conservación de los recursos naturales en las cuencas, estableciendo medidas para mitigar la degradación de los ecosistemas y promover el uso sostenibles de los recursos hídricos (Olaya et al., 2014). Los POMCAS, impulsados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, han sido implementados en varias regiones del país, con resultados positivos en términos de la recuperación de áreas degradadas y la protección de fuentes hídricas (Villegas et al., 2015).

En otras partes de mundo, experiencias exitosas en la gestión de cuencas hidrográficas, como las llevadas a cabo en la Cuenca de río Yangtze en China, la Cuenca de Grand River en Canadá y la Cuenca del Lago Chad en la región africana del Sahel, han demostrado que es posible mitigar los efectos de la degradación ambiental mediante proyectos de restauración ecológica, implementación de sistemas agroforestales, y políticas integradas de manejo sostenible de recursos (Ramsar, 2010). Estas iniciativas han promovido la recuperación de áreas degradadas, mejorando la calidad del agua, y fomentando el desarrollo de economías verdes, beneficiando tanto a las comunidades locales como al entorno natural.

La implementación de proyectos de sostenibilidad en la Cuenca del Orinoco, basados en las experiencias exitosas de otras cuencas, puede contribuir significativamente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la ONU. En particular, este tipo de proyectos puede apoyar directamente los ODS relacionados con la vida submarina y terrestre (ODS

14 y 15), garantizando la conservación de la biodiversidad marina y terrestre; agua limpia y saneamiento (ODS 6), mejorando la calidad del agua y su disponibilidad para las comunidades; y la acción por el clima (ODS 13), fortaleciendo la resiliencia de los ecosistemas ante el cambio climático (Keesstra et al., 2018). La implementación de estrategias, restauración ecológica y gestión sostenible de cuencas también puede promover un uso eficiente y equitativo de los recursos naturales, lo que contribuye a la erradicación de la pobreza y mejora las condiciones de vida de las comunidades locales, alineándose con los ODS 1 y 10 (Rasul, 2016).

Este tipo de estrategias tiene un valor estratégico para el campo de la ingeniería ambiental, al proporcionar un marco teórico y práctico para el diseño e implementación de proyectos sostenibles en la gestión de cuencas hidrográficas. Los ingenieros ambientales desempeñan un papel clave en el desarrollo de las alternativas de soluciones que promueven la sostenibilidad, mitigan los impactos ambientales y fortalezcan la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades. De esta forma, no solo se contribuirá al avance del conocimiento en la gestión integral de cuencas, sino que también se podrán desarrollar políticas públicas y la implementación de proyectos de sostenibilidad.

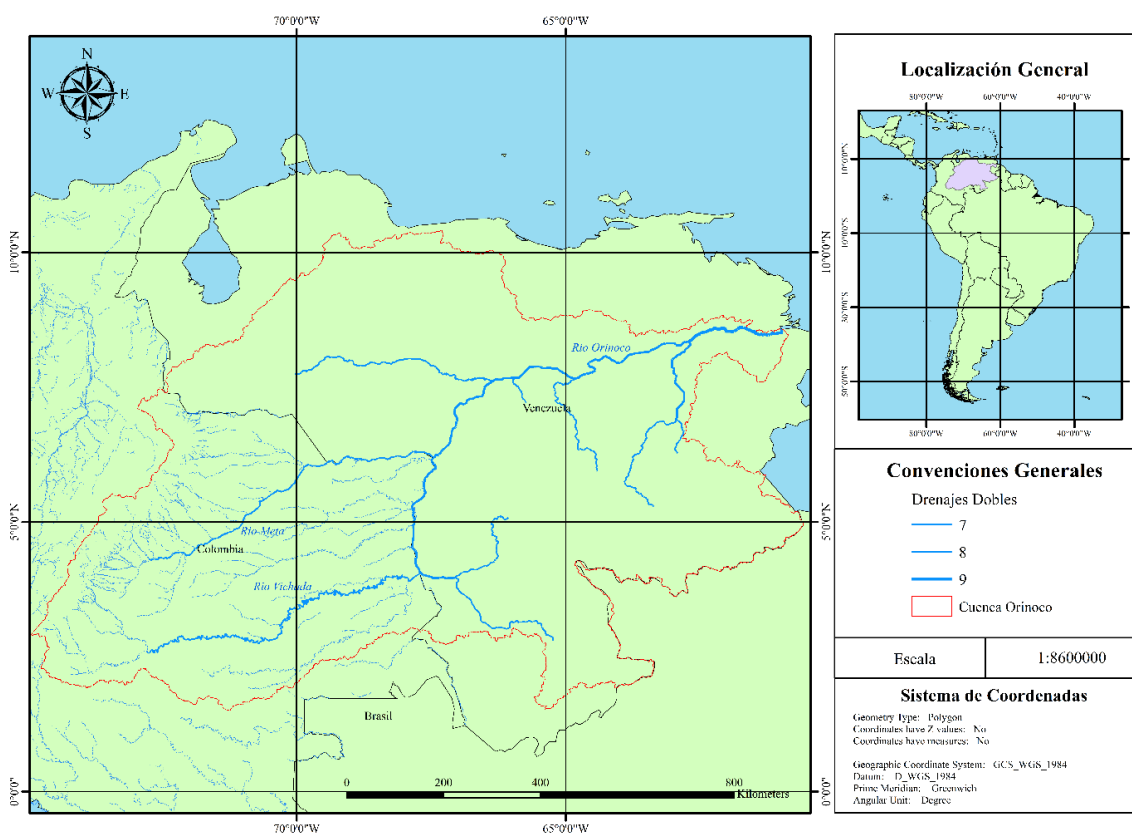
El presente estado del arte tiene como objetivo analizar la aplicación de proyectos de sostenibilidad en la cuenca del río Orinoco colombiano basados en experiencias exitosas de otras cuencas. Se recopilará información sobre el uso de sistemas de gestión aplicados en la conservación y desarrollo de proyectos sostenibles dentro de las cuencas hidrográficas. Además, se explorará las ventajas y restricciones de la aplicación de este tipo de proyectos, por medio de la revisión material bibliográfico. Por último, se darán recomendaciones para la correcta gestión de la cuenca del Orinoco a través de la aplicación de proyectos de sostenibilidad.

2. Desarrollo del Estado del Arte

2.1. Delimitación del Problema

En la Figura 1, se observa la red de drenajes de la Cuenca del río Orinoco, la cual abarca parte del territorio de Colombia, Venezuela y Brasil. Este sistema hidrográfico es uno de los más extensos y biodiversos de América del Sur, destacándose como una región clave para la regulación hídrica, la conectividad ecológica y el soporte a múltiples actividades socioeconómicas. En el contexto colombiano, la cuenca representa el 30% del territorio colombiano, siendo un área estratégica tanto por su riqueza natural como por los desafíos asociados a su sostenibilidad, debido a presiones antrópicas como la deforestación, la expansión agrícola y la explotación de recursos naturales.

Figura 1. Red de drenajes de la Cuenca del río Orinoco



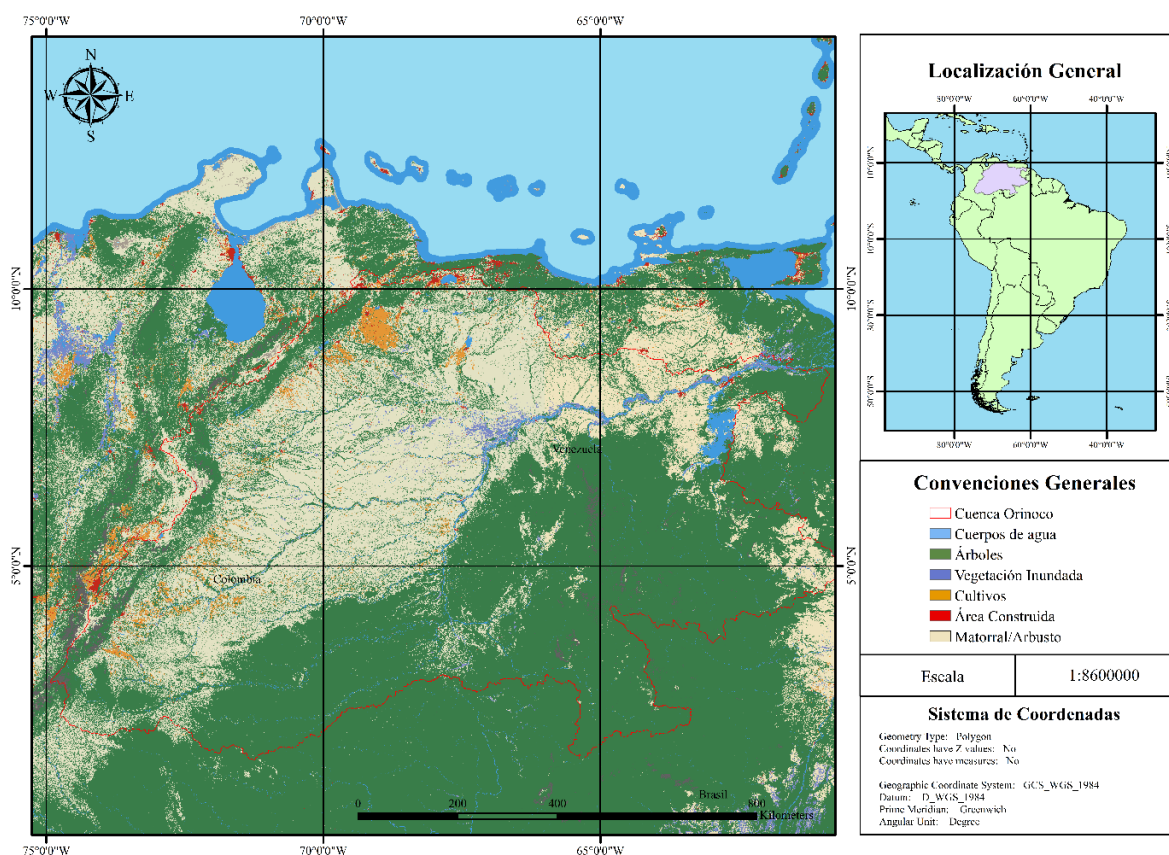
Nota. Elaborado a partir de información secundaria recopilada en bases de datos especializadas

La Figura 1, detalla la extensión geográfica de la Cuenca del río Orinoco, delimitando sus principales afluentes y áreas de influencia en Colombia, Venezuela y Brasil, con información

extraída de la plataforma HydroSheds. Se observa la complejidad del sistema hídrico, compuesto por ríos como el Meta, Vichada y Guaviare, que drenan grandes áreas de la región colombiana y desembocan en el río Orinoco. Las convenciones gráficas destacan los drenajes dobles, ilustrando las conexiones fluviales que conforman la red hidrográfica. Además, se incluye una localización general que sitúa la cuenca dentro del contexto sudamericano, mostrando su importancia como una región transfronteriza de alta relevancia. Este enfoque espacial permite visualizar las dimensiones y características del territorio, identificando áreas clave para la conservación, así como zonas que podrían estar bajo presión por actividades humanas.

La Figura 2 presenta una representación cartográfica de las coberturas de tierra en la Cuenca del río Orinoco, destacando la distribución de diferentes tipos de uso y cobertura, como cuerpos de agua, áreas forestales, vegetación inundada, cultivos, áreas construidas y matorrales.

Figura 2. Coberturas de tierra de la Cuenca del río Orinoco



Nota. Elaborado a partir de información secundaria obtenida de la plataforma ESRI

La Figura 2 refleja la predominancia de áreas boscosas y cuerpos de agua en la cuenca, lo que subraya su importancia como un ecosistema vital para la biodiversidad y los ciclos

hidrológicos. Las áreas de vegetación inundada se concentran principalmente en zonas bajas, destacando su rol en la regulación hídrica y como hábitat de numerosas especies. Por otro lado, las zonas de cultivos y áreas construidas, identificadas en tonos naranjas y rojos, evidencian los impactos de las actividades humanas en la transformación del paisaje, especialmente en las regiones más accesibles y cercanas a los principales ríos. Esta distribución espacial es útil para priorizar estrategias de conservación y manejo sostenible, considerando las áreas más afectadas por la presión antrópica y aquellas que mantienen su cobertura natural.

La cuenca del Orinoco, una de las regiones más importantes de Colombia en términos de biodiversidad, recursos hídricos y economía, enfrenta múltiples desafíos derivados de la actividad humana, tales como la deforestación, la expansión de la frontera agrícola, la minería y la extracción de hidrocarburos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Estas actividades han afectado gravemente los ecosistemas locales, alterando la disponibilidad de agua, la calidad de los suelos y la biodiversidad. A pesar de la implementación de instrumentos como los POMCAS en ríos importantes de esta cuenca, como el Guayuriba, Humea, Ariari, Ariporo, Cravo Sur, Tame, Banadía y Caranal, el deterioro continúa afectando tanto a los ecosistemas como a las comunidades locales (Instituto Humboldt, 2016).

La situación actual de la cuenca del Orinoco no es única. En otras regiones del mundo, como la cuenca del río Yangtze en China y la cuenca del Grand River en Canadá, se han implementado con éxito proyectos de gestión para alcanzar la sostenibilidad en las cuencas, logrando mitigar los efectos de la degradación ambiental. Estas experiencias incluyen la restauración ecológica, la implementación de sistemas agroforestales y políticas de manejo sostenible, que han promovido la recuperación de ecosistemas y mejorado la calidad de vida de las comunidades (Ramsar, 2010).

En este contexto, es fundamental analizar cómo estas experiencias exitosas en la gestión sostenible de cuencas hidrográficas pueden ser adaptadas y aplicadas en la cuenca del Orinoco. Se requiere un enfoque que se centre también en aspectos socioeconómicos, garantizando un desarrollo equilibrado que promueva la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales.

Ante esta problemática, la investigación se enfocará en analizar la aplicabilidad de proyectos de sostenibilidad en la cuenca del Orinoco, integrando enfoques como la restauración ecológica y el manejo sostenible de los recursos hídricos. Estas estrategias pueden ofrecer soluciones viables para la conservación y recuperación de las cuencas. El análisis se basará en las

lecciones aprendidas de otras cuencas alrededor del mundo, identificando las condiciones necesarias para implementar dichas estrategias, sus posibles beneficios ambientales y sociales, así como las barreras que podrían presentarse, como limitaciones técnicas, financieras o incluso la resistencia cultural.

2.2. Características de la muestra documental

En esta investigación se estableció una revisión sistemática basada en la inclusión/exclusión, siguiendo la metodología planteada por Gutiérrez et al. (2019), los cuales establecieron una estrategia de búsqueda de documentos para obtener registros bibliográficos relevantes como fuera posible, teniendo en cuenta preguntas moduladoras, estrategia de búsqueda y criterios de inclusión y exclusión, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. *Procedimiento establecido para la revisión bibliográfica*

Ítem	Descripción
Preguntas Moduladoras	¿Cuáles son las principales estrategias sostenibles implementadas en la Cuenca del Orinoco para mitigar los efectos de la degradación ambiental? ¿Cómo se comparan las estrategias de sostenibilidad aplicadas en otras cuencas del mundo con las implementadas en la Cuenca del Orinoco? ¿Qué obstáculos y desafíos podrían enfrentar los proyectos de sostenibilidad en la Cuenca del Orinoco y cómo podrían superarse?
Estrategia de búsqueda	• Bases de Datos: Scopus, Google Scholar, Springer Link y Science Direct • Documentos en inglés y español • Año de publicación: 2013-2024 • Ecuación de búsqueda (<i>Sustainability AND Watershed AND Environmental Management AND (Tropical Or Subtropical)</i>)/(<i>Sostenibilidad Y Cuencas hidrográficas Y Gestión medioambiental Y (Tropical o subtropical)</i>)
Criterios de inclusión y exclusión	Inclusión: • Estudios que analicen la implementación de proyectos sostenibles en la gestión de cuencas hidrográficas • Estudios sobre la gestión en cuencas tropicales o subtropicales, con un enfoque en Latinoamérica, Asia y África Exclusión:

Tabla 1. Continuación

Estudios que no aborden la relación entre proyectos de sostenibilidad y la gestión de cuencas
Nota. Elaborado a partir de información secundaria recopilada

Al aplicar la ecuación de búsqueda en las bases de datos listadas en la Tabla 1 y mejorar los criterios de búsqueda, se obtuvieron 34 resultados en *Scopus*, 16.900 en *Google Scholar*, 994 en *Science Direct* y 208 en *Springer Link*. Por último, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión definidos en la Tabla 1, se seleccionaron un total de 17 documentos: cuatro (4) de *Scopus*, cinco (5) en *Google Scholar*, cinco (5) en *Science Direct* y tres (3) en *Springer Link*.

2.3. Aspectos que afectan a las cuencas hidrográficas

De acuerdo con el estudio realizado por Desta et al. (2017) en la cuenca del Lago Ziway, en Etiopía, se determinó que la principal problemática que afecta a la cuenca está relacionada con el consumo excesivo de recursos hídricos. Este lago, siendo la fuente de agua más importante para las comunidades locales, enfrenta amenazas adicionales por factores externos que ponen en peligro la supervivencia del ecosistema. Entre estos factores se encuentran la pérdida de agua por evapotranspiración, los cambios en el uso del suelo y la cobertura terrestre, como el incremento de asentamientos rurales y áreas de cultivo. Factores que también fueron los principales en la problemática analizada en el estudio hecho por Warku et al. (2022) en la cuenca alta del río Gibe en Etiopía. Dicho esto, estas circunstancias han llevado a la cuenca a una situación crítica, y según las estimaciones del estudio, el Lago Ziway podría secarse por completo en siete décadas si las condiciones actuales persisten y no se realiza una gestión adecuada por parte de las autoridades gubernamentales.

Zafirah et al. (2017) realizó un estudio que aborda las principales problemáticas que pueden llegar afectar a las cuencas hidrográficas, destacando los efectos del cambio climático y la deforestación como los principales factores de degradación. El calentamiento global ha alterado los patrones climáticos, generando eventos extremos como inundaciones y sequías, que impactan los servicios ecosistémicos cruciales como la regulación del agua. Además, la deforestación reduce la capacidad de evapotranspiración, lo que exacerba la erosión del suelo y aumenta la sedimentación en los ríos, afectando la calidad del agua y provocando riesgos de inundación. La

erosión del suelo, producto de la deforestación y prácticas agrícolas no sostenibles, degrada los suelos, afectando la biodiversidad y contribuyendo a la contaminación de las cuencas hidrográficas.

Con respecto a lo anterior, Ghimire et al. (2024) en su estudio realizado en el distrito de Syangja en Nepal en las subcuencas que se encuentran a lo largo del río Andhi Khola y Kali Gandaki, determino como diversos factores impactan directamente la salud y sostenibilidad de las cuencas hidrográficas, incluyendo la presión humana y el uso intensivo del suelo. La deforestación y las prácticas agrícolas en pendientes contribuyen al deterioro del suelo y a la alteración de los flujos hídricos, incrementando la vulnerabilidad a desastres naturales como inundaciones y deslizamientos. Además, las condiciones climáticas y geomorfológicas de las cuencas, caracterizadas por lluvias intensas y topografías empinadas, amplifican la susceptibilidad de estas áreas a procesos erosivos, especialmente en zonas montañosas. La pérdida de cobertura forestal por actividades como la urbanización y la expansión agrícola reduce la capacidad de las cuencas para regular el flujo de agua y afecta la biodiversidad, lo que disminuye los servicios ecosistémicos y aumenta el riesgo de degradación ambiental en las cuencas (Ghimire et al., 2024).

En relación con la erosión del suelo en cuencas hidrográficas, estudios realizados por Raji et al. (2023) en la cuenca del río Anambra, Nigeria, y por Foo & Hashim (2014) en la cuenca del río Pahang, Malasia, establecen una relación directa entre este fenómeno y la pérdida de características fundamentales de las cuencas. Según los autores, las principales causas de la intensificación de este problema son la complejidad de las características geomorfológicas, la influencia de factores hidrológicos y el uso del suelo. En el caso del río Anambra, este presenta un alto potencial erosivo, lo que genera una considerable capacidad de transporte de sedimentos, especialmente durante la temporada de lluvias. Esto provoca la erosión gradual de las orillas y del lecho del río, con la consecuente pérdida de suelo fértil y su degradación, afectando tanto la composición de la cuenca como los asentamientos humanos. Una situación similar se observa en la cuenca del río Pahang, donde, además, se ha demostrado que este fenómeno ocasiona pérdidas económicas significativas para las comunidades locales. En 2010, estas pérdidas alcanzaron los 26 millones de USD anuales debido a la erosión del suelo.

2.4. Estrategias de gestión para la recuperación de cuencas hidrográficas

Para la gestión de las cuencas hidrográficas en el sureste de Queensland, Australia, Patterson (2016) realizó un estudio, con el objetivo de comprender mejor como surgen las respuestas locales a problemas relacionados con la gestión de cuencas y recursos naturales (GRN). A partir de esto pudieron determinar que las estrategias de gestión de cuencas se basaron en la acción colectiva local y la gobernanza multinivel, donde la participación de los actores locales como agricultores, comunidades y gobiernos fue clave para enfrentar problemas complejos como la contaminación difusa. Las iniciativas que integraron dentro de estas estrategias estaban relacionadas con temas de manejo del terreno, restauración de ríos, con planificación estratégica, abarcando desde la reforestación hasta la gestión del uso del suelo. Por otro lado, un aspecto central fue el desarrollo de capacidad institucional a través de enfoques colaborativos e innovadores, promoviendo aprendizajes sociales entre los actores involucrados (Patterson, 2016).

La participación local y la construcción colectiva han sido fundamentales para la conservación de recursos en comunidades indígenas de tres cuencas hidrográficas en México, según Reyes et al. (2022). Estas comunidades, tradicionalmente marginadas, se han convertido en un modelo para implementar estrategias de producción de alimentos y restauración de ecosistemas, fortaleciendo la gobernanza ambiental. A través de talleres participativos y análisis de conectividad hidrológica, se ha mejorado la toma de decisiones sobre manejo de suelos y captura de agua. En comunidades como San José Xilatzén y La Cebadilla, la alta participación permitió alcanzar un índice de persistencia de agua (WP) superior al 70% en infraestructuras de captación, reflejando una gestión efectiva de los recursos hídricos.

De acuerdo lo anterior un estudio realizado por Heredia (2017) en la cuenca baja del río Zaña se han implementado estrategias de gestión que priorizan la integración de actividades para la recuperación y uso sostenible del agua, destacando la importancia de modelos de manejo integral de cuencas hidrográficas (MICH). Estas estrategias incluyen la participación activa de los usuarios en la toma de decisiones, la implementación de programas de educación ambiental, y el fortalecimiento institucional mediante la creación de alianzas entre los sectores público y privado. Además, se han promovido prácticas de riego más eficientes y el uso controlado de agroquímicos para reducir la contaminación, abordando tanto la sostenibilidad ambiental como el bienestar de las comunidades locales en un marco de gestión colaborativa.

En la cuenca hidrográfica de Rebu, que se encuentra en la parte superior de la cuenca de Gibe, en las tierras altas del suroeste de Etiopía, Mengistu & Assefa (2019) buscaron entender como la participación de comunidades agrícolas de la zona, las llevo a adoptar prácticas sostenibles en gestión de cuencas y como estas contribuyeron a la conservación de las mismas. Prácticas de gestión como terraplén de tierra; terraplén de tierra con revestimiento de piedra; cultivo de franjas de pasto con terraplén, aplicación de compost y prácticas agroforestales, etc., fueron las mas usadas de acuerdo con el estudio, las cuales buscaban principalmente darle control a la erosión del suelo y del agua. Siendo estas las problemáticas de mayor impacto en las actividades económicas de estas comunidades.

En cuanto a la gestión del uso del suelo, Silva et al. (2017) realizó un estudio sobre una estrategia implementada en la cuenca urbanizada del municipio de Sorocaba, Brasil, la cual se centró en la restauración de la cobertura vegetal y el manejo sostenible del suelo para mejorar la calidad del mismo y mitigar los efectos de la urbanización. El estudio reveló que la revegetación de áreas clave, como los parches forestales y la vegetación riparia, puede reducir la erosión, mejorar la infiltración de agua y aumentar el almacenamiento de carbono en los suelos urbanos. Además, se destacó que la compactación del suelo y la pérdida de porosidad afectan la capacidad del suelo para infiltrar agua, lo que sugiere la necesidad de estrategias de manejo que incluyan infraestructura verde, como bioretención y jardines de lluvia, para controlar la escorrentía y prevenir la contaminación de los cuerpos de agua. También se observó que un diseño adecuado de uso del suelo, que integre la conservación de áreas naturales, permite maximizar los servicios ecosistémicos, como el almacenamiento de carbono y la regulación hídrica.

Un instrumento relevante para la gestión de cuencas hidrográficas es el modelado. En este contexto, Raji et al. (2023) realizaron un estudio en la cuenca del río Anambra, Nigeria, en el que se priorizaron subcuencas mediante modelos de toma de decisiones multicriterio (MCDM), como la Optimización Multiobjetivo basada en Análisis de Ratios (MOORA) y Evaluación Proporcional Compleja (COPRAS), los cuales fueron clave para identificar las áreas más vulnerables a la erosión. Estas herramientas permitieron asignar recursos de manera eficiente hacia las subcuencas de mayor riesgo, asegurando una intervención más efectiva. A partir de los resultados, se propusieron estrategias personalizadas para el control de la erosión, como la construcción de terrazas y el uso de cultivos de cobertura en subcuencas críticas. Estas medidas, junto con la

priorización basada en rasgos geomorfométricos, permiten la formulación de políticas adaptativas y específicas para la gestión de la erosión en cuencas hidrográficas.

Otro caso en el que se ha empleado la modelación para la gestión de cuencas es el estudio de Opedes et al. (2023), quienes investigaron la cuenca alta del río Manafwa en Uganda. A través del modelo iCLUE y con la participación de partes interesadas, como las comunidades locales, se evaluaron diferentes escenarios futuros (2030-2050) relacionados con los cambios en el suelo y la cobertura vegetal. Este análisis aporta información valiosa para la conservación de la cuenca desde un enfoque de planificación agrícola. El modelo identificó las principales áreas de conservación en el bosque del Monte Elgon, el cual se encuentra en riesgo debido a la creciente expansión agrícola. Estos conocimientos permiten a conservacionistas y a las partes interesadas diseñar estrategias precisas para contrarrestar la invasión de tierras dentro del parque y proteger la cuenca del río Manafwa.

De acuerdo con lo realizado por Katusiime & Schütt (2020) la gestión integrada de cuencas hidrográficas (GICH) destaca como un enfoque clave para la conservación y manejo sostenible de los recursos naturales, integrando aspectos ecológicos, sociales y económicos. Un hallazgo importante en la revisión es el rol de la tenencia de la tierra en la efectividad de la gestión de cuencas. La seguridad en la tenencia de la tierra promueve la participación comunitaria, fomenta la adopción de prácticas de conservación a largo plazo, y reduce la degradación de los recursos naturales. Sin embargo, la inseguridad en la tenencia de la tierra puede resultar en la fragmentación del uso del suelo, lo que incrementa los riesgos de erosión y pérdida de biodiversidad. Por lo que se resalta, la importancia de adaptar las estrategias de gestión a los contextos locales y utilizar modelos basados en incentivos, como los pagos por servicios ecosistémicos, para involucrar a las comunidades en la protección de los ecosistemas.

Para poder evaluar aspectos como la tenencia de la tierra, calidad del agua y erosión de suelo, etc., en la gestión de cuencas hidrográficas, el uso de indicadores de sustentabilidad se han convertido en una importante herramienta para cuantificar estos parámetros. De acuerdo con esto, un estudio realizado por Cuervo et al. (2020), afirman que la gestión de cuencas hidrográficas debe basarse en la implementación de estrategias sostenibles que integren indicadores de sustentabilidad en las dimensiones ecológica, social y económica. Esta metodología permite un análisis holístico de los agroecosistemas y su interdependencia con factores externos. Los indicadores clave utilizados en este estudio incluyen la calidad del agua, el uso del suelo, la erosión, y factores

socioeconómicos como el acceso a recursos hídricos y la organización de los productores. Los resultados destacan la relevancia de un enfoque participativo que involucre a actores locales, como productores y académicos, lo cual asegura que las prácticas de manejo respondan a las necesidades y características específicas de cada cuenca.

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 2, se muestra un resumen de los hallazgos más importantes de cada uno de los referentes consultados durante el desarrollo de este documento, relacionado con las estrategias de gestión aplicadas en otras cuencas hidrográficas.

Tabla 2. *Resumen de las estrategias de gestión aplicadas en cuencas hidrográficas*

Autor	País	Cuenca Hidrográfica estudiada	Estrategia implementada
(Patterson, 2016)	Australia	Tres cuencas al Sureste de Queensland	Gobernanza multinivel y acción colectiva para manejo de suelo y restauración de ríos.
(Reyes et al., 2022)	México	Subcuencas Malilijá, La Cebadilla, La Labor y San José Xilatzén	Participación comunitaria para manejo de suelo, agua y gobernanza ambiental.
(Heredia, 2017)	Perú	Cuenca Baja del Río Zaña	Manejo integral de cuencas hidrográficas, con enfoque en recuperación del agua, participación activa y educación ambiental.
(Mengistu & Assefa, 2019)	Etiopía	Cuenca de Rebu (parte superior de Gibe)	Prácticas sostenibles de gestión de cuencas: terraplenes de tierra, franjas de pasto y agroforestería para control de erosión.
(Silva et al., 2017)	Brasil	Cuenca Urbanizada de Sorocaba	Restauración de vegetación y uso de infraestructura verde para control de erosión y regulación hídrica.
(Raji et al., 2023)	Nigeria	Cuenca del río Anambra	Priorización de subcuencas para control de erosión con terrazas y cultivos de cobertura.
(Opedes et al., 2023)	Uganda	Cuenca alta del río Manafwa	Modelado iCLUE para conservación y planificación agrícola, con enfoque en protección contra expansión agrícola.
(Katusiime & Schütt, 2020)	N/A	N/A	Gestión integrada de cuencas hidrográficas (GICH) con enfoque en tenencia de tierra y pagos por servicios ecosistémicos para conservar recursos naturales.
(Cuervo et al., 2020)	N/A	N/A	Uso de indicadores de sustentabilidad para análisis integral de agroecosistemas en gestión de cuencas hidrográficas.

Nota. Elaborado a partir de información secundaria recopilada.

2.5. Desafíos en la gestión de cuencas hidrográficas

Patterson (2016) determinó en los tres casos de estudio que analizó la importancia de un sistema de gobernanza policéntrica, donde las decisiones locales influyen en las políticas regionales, y viceversa, resaltando la necesidad de soluciones adaptativas y sostenibles en la gestión de cuencas. Esta posición es compartida por el estudio realizado por Marques et al. (2019) en la cuenca del río São Francisco, Brasil, donde se evidenció que la incompatibilidad entre los límites administrativos e hidrológicos puede generar problemas e inconsistencias legales en la gobernanza del agua. Dado que esta gobernanza involucra a múltiples sectores (ambientales, productivos, sindicatos y órganos gubernamentales), la participación suele ser no homogénea, lo que puede ocasionar conflictos entre los actores y dificultar la definición de metas e instrumentos de implementación para la adecuada gestión del recurso hídrico.

La posición de Patterson (2016) y Marques et al. (2019) encuentra respaldo en los principios de gobernanza de la OCDE, que destacan la necesidad de gestionar el agua a escalas apropiadas y asegurar coherencia entre políticas y actores (Principios 2 y 3) (Instituto Tecnológico de Monterrey (ITM), 2018). La fragmentación administrativa y la falta de coordinación intersectorial, señaladas como desafíos en ambos estudios, reflejan una brecha común en la gobernanza multinivel. La OCDE subraya que la integración de decisiones locales y regionales, combinada con un marco normativo claro y herramientas de financiamiento sostenible, puede reducir conflictos y fomentar la adopción de soluciones adaptativas (Domínguez, 2011). Sin embargo, para superar las limitaciones señaladas, es clave promover la participación activa y equitativa de todos los sectores, garantizando que los actores más vulnerables, como comunidades rurales e indígenas, tengan voz en la toma de decisiones. Esto no solo fortalecería la legitimidad de las políticas, sino también su eficacia y sostenibilidad a largo plazo (Instituto Tecnológico de Monterrey (ITM), 2018).

A lo anterior, se suma lo establecido por Kedida & Arsano (2024), los cuales determinaron como la gestión de cuencas hidrográficas en áreas transfronterizas, como el Nilo Azul, enfrenta desafíos significativos debido a la falta de cooperación entre los países ribereños (Egipto, Etiopía, Sudán del Sur y Sudán). En el caso de Etiopía, los esfuerzos unilaterales para conservar y proteger el agua en la cuenca alta del Nilo Azul han demostrado ser insuficientes, resaltando la necesidad de estrategias de colaboración para abordar problemas comunes como la degradación ambiental y

la variabilidad climática. Estos desafíos reflejan la falta de acuerdos efectivos para la conservación del agua y la protección de cuencas, destacando la importancia de instituciones regionales fuertes que promuevan el trabajo conjunto y gestionen los recursos hídricos de manera sostenible en beneficio de todos los países de la cuenca.

Por otro lado, Muñoz & Bustos (2021) afirman que los desafíos en la gestión de cuencas hidrográficas, como en el caso de la cuenca del río Vines en Ecuador, incluyen la alta demanda de agua para riego agrícola y la falta de coordinación entre los actores públicos y privados. Esta situación es particularmente crítica debido a la dependencia de monocultivos intensivos, los cuales ejercen una presión significativa sobre los recursos hídricos, especialmente en épocas de sequía. La investigación resalta la necesidad de implementar modelos de gobernanza integrada que permitan una administración equitativa y sostenible del agua, facilitando la participación de comunidades locales y mejorando la eficacia en la asignación de recursos hídricos para equilibrar la conservación ambiental con las necesidades económicas de la región (Muñoz & Bustos, 2021).

Según Ghimire et al. (2024), la gestión de cuencas hidrográficas enfrenta importantes desafíos debido a la complejidad de evaluar y priorizar vulnerabilidades en contextos geográficos diversos. La amplia gama de variables involucradas –desde factores socioeconómicos hasta ambientales y geológicos– demanda modelos de evaluación sofisticados, que incorporen herramientas como sistemas de información geográfica (SIG) y datos de alta resolución para una comprensión integral. Asimismo, el cambio climático impone nuevas dificultades, incrementando la frecuencia de eventos extremos, como inundaciones y sequías, y destacando la necesidad de estrategias adaptativas que incluyan evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad climática.

De acuerdo con Mengistu & Assefa (2019), se pudo determinar que, en relación con la participación de las comunidades en la gestión de cuencas, el principal desafío que se presenta es la falta de conocimiento técnico y tecnológico sobre las prácticas de gestión. Esta carencia ha provocado que las comunidades no logren una mayor participación en proyectos de este tipo. Al existir un escaso entendimiento de los conceptos involucrados en estas iniciativas, se genera una pérdida de motivación entre las comunidades a la hora de implementar estrategias de gestión de cuencas.

3. Discusión

3.1. Aspectos que afectan la gestión integral de la cuenca del río Orinoco

La Cuenca del río Orinoco enfrenta una serie de problemas ambientales que afectan su equilibrio ecológico y su capacidad de ofrecer servicios ecosistémicos cruciales. Los estudios sobre otras cuencas han resaltado factores comunes que también amenazan la cuenca del río Orinoco, como el cambio climático, la deforestación y la explotación intensiva del suelo. En la cuenca del Lago Ziway en Etiopía, el consumo descontrolado de agua y la pérdida de cobertura vegetal han llevado al lago a una situación crítica, donde la evaporación excesiva y los cambios en el uso del suelo pueden llevar al agotamiento de sus reservas hídricas en las próximas décadas (Desta et al., 2017). En el Orinoco, actividades similares de deforestación y expansión agrícola aumentan la presión sobre los recursos hídricos, reduciendo la capacidad del suelo para retener agua y afectando la biodiversidad de la región (Márquez & Lemus, 2020).

Además, Zafirah et al. (2017) destacan cómo el cambio climático incrementa los problemas de las cuencas, generando eventos extremos como sequías prolongadas e inundaciones, los cuales alteran la calidad del agua y erosionan los suelos. Esta situación se refleja en el Orinoco, donde la deforestación reduce la capacidad de evapotranspiración del suelo, afectando la regulación del flujo de agua y aumentando el riesgo de erosión y sedimentación en el río (Cifuentes & Cote, 2022). Este proceso amenaza la calidad del agua en el Orinoco y disminuye su capacidad de mantener la biodiversidad (Márquez & Lemus, 2020).

Por otro lado, los estudios en la cuenca del río Pahang en Malasia y en el río Anambra en Nigeria revelan cómo la erosión y el transporte de sedimentos afectan la sostenibilidad de las cuencas al provocar pérdida de suelo fértil y afectar a las comunidades locales (Raji et al., 2023). De igual forma, en la Cuenca del Orinoco, la actividad agrícola y minera intensiva contribuye a una alta tasa de erosión, impactando negativamente tanto la fertilidad del suelo como la disponibilidad de agua limpia, factores que son esenciales para la supervivencia de los ecosistemas y las comunidades de la región (Gordon et al., 2018).

3.2. Estrategias de manejo sostenible aplicables en la Cuenca del río Orinoco

La implementación de estrategias de manejo sostenible en la Cuenca del río Orinoco puede beneficiarse de experiencias exitosas en otras cuencas, enfocadas en la restauración ecológica, la gobernanza participativa y el manejo del suelo y los recursos hídricos. Estas estrategias no solo permiten mejorar la sostenibilidad, sino también fortalecer el compromiso de las comunidades y actores locales en el cuidado y protección de sus recursos naturales.

Un ejemplo relevante es la experiencia de gestión en las cuencas del sureste de Queensland, Australia, donde la colaboración entre distintos niveles de gobierno y la participación de comunidades y agricultores ha sido clave para el éxito en la restauración de ríos y el manejo de suelos. En esta región, las prácticas de gobernanza multinivel y la acción colectiva permitieron una planificación estratégica que abarcó desde la reforestación de áreas clave hasta la gestión del uso del suelo y la conservación de humedales (Patterson, 2016). Este modelo puede ser replicado en la cuenca del Orinoco colombiano, donde una estrategia de gobernanza participativa que incluya la cooperación entre autoridades locales, comunidades y sectores como el agrícola y el minero permitiría enfrentar desafíos similares. En este contexto, la creación de mesas de diálogo y comités de gestión con representación de los diferentes actores puede facilitar una toma de decisiones informada y colaborativa, promoviendo prácticas sostenibles de uso del suelo y protección de fuentes hídricas.

Otro ejemplo exitoso es el de las comunidades indígenas en México, quienes han desarrollado un modelo de gestión de cuencas basado en la recuperación de la conectividad hidrológica y la restauración de suelos degradados. Estas comunidades, apoyadas por talleres participativos y análisis de captación de agua, han mejorado significativamente la eficiencia en el manejo de sus recursos hídricos y la conservación de sus suelos, logrando un alto índice de persistencia de agua en infraestructuras de captación (Reyes et al., 2022). En el caso de la Cuenca del Orinoco, donde existen diversas comunidades locales dependientes de los recursos naturales, el fomento de estrategias participativas podría empoderar a los habitantes de la región, incentivando su participación en proyectos de restauración y manejo del agua. Además, el desarrollo de capacidades locales a través de talleres de formación y el uso de tecnología permitiría que las comunidades en el Orinoco no solo se involucren, sino que también contribuyan activamente a la conservación de su entorno y se conviertan en actores clave de la sostenibilidad.

La experiencia en la cuenca de Sorocaba, Brasil, demuestra el impacto positivo de la restauración de vegetación y la incorporación de infraestructura verde en áreas urbanizadas para reducir la erosión, mejorar la calidad del agua y aumentar el almacenamiento de carbono (Silva et al., 2017). La restauración de áreas clave mediante revegetación de vegetación riparia y de parches forestales contribuyó a reducir la escorrentía y aumentar la infiltración de agua en esta cuenca urbanizada. En el contexto de la Cuenca del Orinoco, la rápida expansión urbana en ciudades como Villavicencio representa un reto para la sostenibilidad de los ecosistemas locales. La creación de infraestructura verde, como biorretención, corredores de conectividad ecológicos y jardines de lluvia, ayudaría a controlar la escorrentía y mitigar el impacto de las áreas urbanizadas en la calidad del agua de los cuerpos hídricos. Estas prácticas permiten una integración armónica entre el desarrollo urbano y la sostenibilidad ambiental, un balance que es urgente para proteger los ecosistemas de la cuenca.

Adicionalmente, el uso de prácticas agroforestales y técnicas de conservación de suelos se destaca como una estrategia clave para reducir la degradación en áreas agrícolas. Por ejemplo, en la cuenca de Rebu, Etiopía, se adoptaron prácticas sostenibles de gestión, como terraplenes de tierra, franjas de pasto y agroforestería para el control de erosión y la conservación de suelos, mejorando así la sostenibilidad de la agricultura local (Mengistu & Assefa, 2019). En el Orinoco, la implementación de sistemas agroforestales en áreas agrícolas podría reducir la erosión del suelo, mejorar la infiltración de agua y diversificar las fuentes de ingresos para las comunidades. Este tipo de técnicas, que promueven una producción agrícola que coexiste con la conservación ambiental, contribuiría a disminuir la presión sobre los ecosistemas y garantizar un uso más equilibrado del suelo y el agua.

Por último, el uso de herramientas de modelado y priorización, como las empleadas en la cuenca del río Anambra en Nigeria, permiten una asignación eficiente de recursos hacia las áreas que presentan mayor vulnerabilidad (Raji et al., 2023). Mediante el uso de Modelos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM), en esta cuenca se identificaron las zonas de mayor riesgo de erosión, lo que facilitó la formulación de políticas específicas y la asignación de recursos en las subcuencas más vulnerables. Este enfoque podría adaptarse al Orinoco mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para identificar áreas críticas, permitiendo que los proyectos de sostenibilidad en la cuenca sean más eficaces al enfocarse en las zonas que requieren

una intervención prioritaria. Esto también permitiría a los actores locales y gubernamentales formular políticas adaptativas y con objetivos claros para mejorar la sostenibilidad de la región.

3.3. Desafíos de gobernanza en la Cuenca del río Orinoco

Uno de los principales desafíos que se puede presentar a la hora de implementar proyectos de sostenibilidad en la Cuenca del Orinoco es la coordinación efectiva entre los diferentes actores involucrados, que incluye sectores como la minería, la agricultura y la conservación. El caso de la cuenca del Nilo Azul resalta la importancia de establecer acuerdos de colaboración entre actores que comparten los recursos hídricos, especialmente en contextos de uso intensivo del agua. Kedida & Arsano (2024) enfatizan que la falta de cooperación entre los países ribereños en el Nilo Azul obstaculiza los esfuerzos de conservación y manejo sostenible. Este desafío de gobernanza puede ser relevante en el Orinoco, donde la coordinación entre actores podría mejorar la eficacia de los proyectos de sostenibilidad, especialmente en áreas con alta presión económica y ambiental.

En la cuenca del río Vines en Ecuador, Muñoz & Bustos (2021) identifican que la alta demanda de agua para el riego de monocultivos y la falta de coordinación entre actores públicos y privados agravan los problemas de disponibilidad de agua, especialmente en épocas de sequía. Este es un escenario aplicable al Orinoco, donde la expansión de monocultivos de palma de aceite y el uso intensivo de agua para riego representan una gran presión sobre los recursos hídricos (Gómez, 2017). La implementación de un modelo de gobernanza integrada que permita la participación de comunidades locales, empresas y entidades gubernamentales podría equilibrar las necesidades de conservación ambiental con las demandas de desarrollo económico, optimizando el uso del agua en la región.

Otro desafío clave en la gobernanza de la Cuenca del Orinoco es la falta de participación efectiva de las comunidades locales y su integración en la toma de decisiones sobre el manejo de recursos (Correa et al., 2005). En la cuenca de Rebu en Etiopía, la participación de las comunidades locales en la gestión de cuencas ha demostrado ser fundamental para el éxito de las prácticas sostenibles de conservación y restauración de suelos (Mengistu & Assefa, 2019). A través de la inclusión activa en proyectos de conservación, las comunidades han adoptado prácticas como la construcción de terrazas y el uso de sistemas agroforestales que han permitido la regeneración del suelo y una mayor resiliencia ante eventos de erosión. En el Orinoco, la falta de programas que

promuevan la educación y el empoderamiento de las comunidades para involucrarse en la conservación y restauración limita el éxito de las estrategias de sostenibilidad (Correa et al., 2005).

4. Conclusiones

A partir del análisis en el estado del arte sobre la aplicación de proyectos de sostenibilidad en la cuenca del río Orinoco colombiano, se concluye que las estrategias de gestión adaptadas de experiencias exitosas en otras cuencas representan una vía factible para abordar los múltiples desafíos ambientales de esta región. Las principales problemáticas, entre ellas la deforestación, la contaminación y la expansión de la frontera agrícola, han deteriorado la biodiversidad y la disponibilidad de recursos hídricos en el Orinoco, lo que compromete los servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades y los ecosistemas de la zona.

Los proyectos que integran restauración ecológica y una gobernanza local inclusiva, como se observa en iniciativas aplicadas en cuencas de México, Australia y otras regiones, destacan por su capacidad para revertir la degradación y fomentar prácticas sostenibles. Estas experiencias resaltan la importancia de la participación de las comunidades locales en la gestión de recursos, lo que fortalece tanto la apropiación de los proyectos como la efectividad de las intervenciones a largo plazo. En el contexto del Orinoco, promover la inclusión y el empoderamiento de las comunidades resulta fundamental, pues los habitantes locales pueden ser agentes de cambio que ayuden a mitigar los impactos ambientales y mejorar la resiliencia de sus territorios.

Se ha identificado, además, que uno de los mayores desafíos para la sostenibilidad en la cuenca del Orinoco radica en la gobernanza de los recursos naturales. La falta de coordinación entre sectores como la agricultura, la minería y la conservación dificulta la implementación efectiva de proyectos de sostenibilidad. La experiencia de otras cuencas, como el Nilo Azul, muestra que la cooperación entre múltiples actores y sectores es esencial para una gestión adecuada de los recursos hídricos. En el Orinoco, superar estos desafíos de gobernanza es fundamental para alinear los intereses de diferentes sectores y reducir los conflictos por el uso de recursos.

Por último, es necesario destacar que, aunque estas estrategias de sostenibilidad muestran un potencial significativo para mejorar las condiciones ecológicas y sociales en la cuenca del Orinoco, es importante que los proyectos se adapten a las condiciones específicas de esta región. Las características ecológicas, sociales y económicas de la cuenca del Orinoco deben ser consideradas cuidadosamente en la planificación de cualquier intervención, ya que factores como las diferencias en clima, biodiversidad y cultura pueden influir en el éxito y la eficacia de las iniciativas de sostenibilidad.

5. Recomendaciones

Para abordar los desafíos ambientales de la cuenca del Orinoco, se presentan las siguientes recomendaciones basadas en el análisis de experiencias exitosas en otras cuencas y en las necesidades específicas de esta región.

Primero, se recomienda implementar un modelo de gobernanza integrada que fomente la cooperación entre sectores como el agrícola, minero y de conservación, junto con los actores locales. Esta gobernanza integrada es esencial, ya que permite la toma de decisiones conjunta y asegura un uso coordinado y sostenible de los recursos naturales de la cuenca del Orinoco, reduciendo así conflictos de uso y mejorando la efectividad de los proyectos de sostenibilidad.

En segundo lugar, incentivar la participación comunitaria a través de programas de educación y capacitación en prácticas sostenibles, las cuales le permitirán a las comunidades locales involucrarse activamente en la conservación de su entorno. Esto es crucial para el éxito de los proyectos de sostenibilidad, ya que las comunidades bien informadas y empoderadas tienden a mantener y fortalecer las prácticas de conservación a largo plazo.

También se sugiere aplicar herramientas de modelado y priorización, como los sistemas de información geográfica (SIG), para identificar y enfocar recursos en las áreas de mayor vulnerabilidad. La implementación de estos sistemas garantiza que los esfuerzos se concentren en las zonas más críticas, permitiendo una asignación eficiente de recursos y optimizando el impacto de los proyectos.

Establecer incentivos económicos, pagos por servicios ambientales por servicios ecosistémicos – PSE (valoración SE in-situ). Estos incentivos son necesarios para superar las barreras financieras iniciales que enfrentan muchos agricultores y pobladores locales, promoviendo su compromiso con la sostenibilidad y facilitando el éxito de los proyectos en el tiempo.

Por último, fomentar prácticas agroforestales y técnicas de conservación del suelo en las áreas agrícolas reduce la erosión y mejora la fertilidad del suelo, además de diversificar los ingresos de las comunidades. Estas prácticas contribuyen a un modelo de agricultura en equilibrio con la conservación ambiental, lo cual es esencial para reducir la presión sobre los ecosistemas y garantizar la sostenibilidad de los recursos en la cuenca del río Orinoco.

6. Referencias bibliográficas

- Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1), 10-20. http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?pid=S1995-10782011000100003&script=sci_arttext&tlng=en
- Aguirre, N. (2007). Parte I: Caracterización de la cuenca hidrográfica. En N. Aguirre, *Manual para el manejo sustentable de Cuencas Hidrográficas* (págs. 4-68). Universidad Nacional de Loja. https://www.academia.edu/31926541/Universidad_Nacional_de_Loja
- Alcivar, J., & Miranda, F. (2024). Aportes de la Gobernanza Participativa en la Gestión Pública. Una Oportunidad para el Desarrollo Local Sostenible. *593 Digital Publisher CEIT*, 9(1), 746-761. <https://doi.org/10.33386/593dp.2024.1.2237>
- Aumassanne, C., & Gaspari, F. (2023). Conceptos para manejo integrado de cuencas. Caso de estudio: río Colorado, Argentina. *Boletín Geográfico*, 45(1), 1-20. <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/geografia/article/view/4489>
- Castillo, L., & Peña, V. (2006). *Colombia: Informe anual Censo Neotropical de Aves Acuáticas 2006*. Wetlands International. <https://www.capeox.org/uploads/1/3/1/9/131934518/biodiversidad.pdf>
- Cifuentes, A., & Cote, M. (2022). Influencia de la deforestación y el cambio climático en la formación de los “ríos voladores de la Amazonia” y su impacto en la disponibilidad hídrica de Bogotá y la región circundante. *Revista Colombia Amazónica*, 1(13), 48-60. <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/revista/pdf/13/3.%20Influencia%20de%20la%20deforestacio%CC%81n%20y%20el%20cambio%20clima%CC%81tico%20en%20la%20formacio%CC%81n%20de%20los%20%E2%80%99Cri%CC%81os%20voladores%20de%20la%20Amazonia%E2%80%99D%20y%20su%20>
- Correa, H., Ruiz, S., & Arévalo, L. (2005). *Plan de Acción en Biodiversidad de la Cuenca del Orinoco-Colombia*. Corporinoquia. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cbd.int/doc/world/co/co-nbsap-oth-es.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cbd.int/doc/world/co/co-nbsap-oth-es.pdf)
- Cortés, C. (2023). Análisis de los enfoques de la sostenibilidad ambiental de sistemas agroforestales. *[Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]*. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/84478>

- Cuervo, V., Ruíz, O., Vargas, L., García, E., & Díaz, F. G. (2020). Methodological frameworks for the evaluation of agricultural sustainability at watershed level: A review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23(1), 1-10. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v23i1.3118>
- Departamento de Planeación Nacional (DPN). (2020). *Planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas - POMCA formulados y/o ajustados con consideraciones de variabilidad y cambio climático*. Departamento de Planeación Nacional (DPN). https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Ambiente/Medida_21_POMCA.pdf
- Desta, H., Lemma, B., & Gebremariam, E. (2017). Identifying sustainability challenges on land and water uses: The case of Lake Ziway watershed, Ethiopia. *Applied Geography*, 88(1), 130-143. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.09.005>
- Domínguez, J. (2011). *Hacia una buena gobernanza para la gestión integrada de los recursos hídricos*. Organización de Estados Americanos (OEA). <https://www.oas.org/en/sedi/dsd/iwrm/past%20events/D7/6%20WWF-GOBERNANZA%20Final.pdf>
- Donato, J. (23 de abril de 2024). *Biodiversidad de Colombia: entre los imaginarios y las amenazas reales*. Periódico UNAL: <https://periodico.unal.edu.co/articulos/biodiversidad-de-colombia-entre-los-imaginarios-y-las-amenazas-reales>
- Foo, Y., & Hashim, M. (2014). Assessing the Impact of Landscape Development on Ecosystem Services Value in Tropical Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 18(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012186>
- Ghimire, M., Timalisina, N., & Zhao, W. (2024). A Geographical approach of watershed prioritization in the Himalayas: a case study in the middle mountain district of Nepal. *Environment, Development and Sustainability*, 26(1), 23527-23560. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03610-5>
- Gómez, L. (2017). Situación actual de Granada-Meta en relación a la salud pública y los daños medioambientales. *Boletín Semillas Ambientales*, 11(1), 40-60. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12232>
- Gordon, E., Suárez, L., & Quevedo, A. (2018). Vegetación acuática en lagunas de rebalse del Río Orinoco (sector Orinoquia, Venezuela). *Biollania*, 15(1), 334-356. https://www.researchgate.net/publication/328638213_Vegetacion_acuatica_en_lagunas_

- de_rebalse_del_Rio_Orinoco_sector_Orinoquia_Venezuela_Aquatic_vegetation_in_over
flow_lagoons_of_the_Orinoco_River_Orinoquia_Sector_Venezuela
- Gutiérrez, J., Posada, M., & González, M. (2019). Prácticas de recursos humanos que impactan la estrategia de sostenibilidad ambiental. *Innovar*, 29(73), 11-24. <https://doi.org/10.15446/innovar.v29n73.78008>
- Heredia Koo, G. (2017). Gestión Integrada del recurso hídrico en la Cuenca Baja del Río Zaña. [Trabajo de grado, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo"]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/6057>
- Instituto Humboldt. (2016). *Estructuración de lineamientos estratégicos y gestión de acuerdos con actores claves del plan estratégico Macrocuena Orinoco PEMO*. Instituto Humboldt.
- Instituto Tecnológico de Monterrey (ITM). (2018). *Evaluación de la en la Zona Metropolitana de Monterrey*. Fundación FEMSA.
- Ivars, J., Montaña, E., & Larsimont, R. (2023). Utilidad y limitaciones del concepto de servicios ecosistémicos para los análisis críticos acoplados de dinámicas socio-ecológicas. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 27(1), 257-283. <https://doi.org/10.1344/sn2023.27.39952>
- Katusiime, J., & Schütt, B. (2020). Linking Land Tenure and Integrated Watershed Management—A Review. *Sustainability*, 12(4), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su12041667>
- Kedida, E., & Arsano, Y. (2024). Challenges and prospects of transboundary river water conservation and watershed protection in Ethiopia: The case of the upper Blue Nile. *Heliyon*, 10(4), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25882>
- Keesstra, S., Mol, G., Leeuw, J. D., Okx, J., Molenaar, C., Cleen, M. D., & Visser, S. (2018). Soil-Related Sustainable Development Goals: Four Concepts to Make Land Degradation Neutrality and Restoration Work. *Land*, 7(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/land7040133>
- Marques, É., Gunkel, G., & Sobral, M. (2019). Management of Tropical River Basins and Reservoirs under Water Stress: Experiences from Northeast Brazil. *Entornos*, 62(6), 1-22. <https://doi.org/10.3390/environments6060062>
- Márquez, A., & Lemus, A. (2020). Riesgos ambientales por metales pesados en los sedimentos del río Orinoco. En D. Rodríguez, *Ríos en Riesgo de Venezuela 3* (págs. 57-76). Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. [https://www.researchgate.net/profile/Douglas-](https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Rodriguez-)
Rodriguez-

- Olarte/publication/339998506_Rios_en_Riesgo_de_Venezuela_Volumen_3/links/5e72bf11a6fdcc37caf631df/Rios-en-Riesgo-de-Venezuela-Volumen-3.pdf#page=151
- Mengistu, F., & Assefa, E. (2019). Farmers' decision to adopt watershed management practices in Gibe basin, southwest Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(4), 376-387. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.006>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Cuenca del Rio Orinoco: Reporte de Salud Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://ecoreportcard.org/report-cards/orinoco-river/publications/cuenca-del-rio-orinoco-reporte-de-salud-2016/>
- Muñoz, J., & Bustos, R. (2021). Gestión integrada de recursos hídricos y gobernanza: Subcuenca del río Vines, provincia Los Ríos-Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(3), 471-497. <https://www.redalyc.org/journal/280/28068276036/html/>
- Olaya, E., Navarro, L., Barragán, M., Brijaldo, N., Tasse, O., & Niño, W. (2014). *Guía técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/gestion-integral-del-recurso-hidrico/planificacion-de-cuencas-hidrograficas/cuenca-hidrografica/planes-de-ordenacion>
- Opedes, H., Eupen, M. v., Múcher, C., Baartman, J., & Mugagga, F. (2023). Park conservation or degradation? iCLUE modelling of land use change projections in the upper Manafwa watershed on Mount Elgon, Uganda. *Journal for Nature Conservation*, 76(126493), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2023.126493>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (26 de noviembre de 2020). *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas (ONU): <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (19 de marzo de 2021). *La salud de 3.000 millones de personas: en riesgo por falta de información sobre la calidad del agua*. Organización de las Naciones Unidas (ONU): <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-salud-de-3000-millones-de-personas-en-riesgo-por-falta-de>
- Patterson, J. (2016). Exploring Local Responses to a Wicked Problem: Context, Collective Action, and Outcomes in Catchments in Subtropical Australia. *Society & Natural Resources*, 29(10), 1198-1213. <https://doi.org/10.1080/08941920.2015.1132353>

- Raji, S., Akintuyi, A., Wunude, E., & Fashoto, B. (2023). Coupling MCDM-based ensemble and AHP for the sustainable management of erosion risk in a tropical Sub-Saharan basin. *Watershed Ecology and the Environment*, 5(1), 186-208. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2023.08.001>
- Ramsar. (2010). *Manual 9. Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Ramsar. <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-09sp.pdf>
- Rasul, G. (2016). Managing the food, water, and energy nexus for achieving the Sustainable Development Goals in South Asia. *Environmental Development*, 18(1), 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.12.001>
- Reyes, H., Silva, M., Muñoz, C., & Ortiz, A. (2022). Strengthening Environmental Management and Local Planning in Indigenous Communities Through Hydrological Connectivity Analysis. *Human Ecology*, 50(2), 617-632. <https://doi.org/10.1007/s10745-022-00329-1>
- Silva, A., Urban, R., Manfré, L., Brossard, M., & Moreira, M. (2017). Soil quality attributes related to urbanization in Brazilian watershed. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(4), 317-328. <https://doi.org/10.3846/16486897.2017.1296451>
- Villegas, E., Contreras, D., Cifuentes, J., & Fernández, L. (2015). Ordenamiento territorial como instrumento, para la zonificación ambiental a través de la Estructura Ecológica Principal, como apoyo a la formulación de los POTs y los POMCAS en Colombia. *Revista de Tecnología*, 14(2), 49-76. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6041486>
- Warku, F., Korme, T., Wedajo, G., & Nedow, D. (2022). Impacts of land use/cover change and climate variability on groundwater recharge for upper Gibe watershed, Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 8(2), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00588-8>
- World Wildlife Fund (WWF). (7 de julio de 2016). *El Orinoco al tablero*. World Wildlife Fund (WWF): <https://www.wwf.org.co/?272870/El-Orinoco-al-tablero>
- World Wildlife Fund (WWF). (11 de mayo de 2020). *Pérdida de bosques en 30 años: ha bajado, pero sigue siendo alarmante*. World Wildlife Fund (WWF): <https://www.wwf.org.co/?363453/Perdida-de-bosques-en-30-anos-ha-bajado-pero-sigue-siendo-alarmanete>
- World Wildlife Fund (WWF). (9 de septiembre de 2022). *Aumento de la deforestación en Colombia en 2022 exige acciones urgentes*. World Wildlife Fund (WWF):

<https://www.wwf.org.co/?378752/Aumento-de-la-deforestacion-en-Colombia-en-2022-exige-acciones-urgentes>

Zafirah, N., Nurin, N., Samsurijan, M., Zuknik, M., Rafatullah, M., & Syakir, M. (2017). Sustainable Ecosystem Services Framework for Tropical Catchment Management: A Review. *Sustainability*, 9(4), 1-25. <https://doi.org/10.3390/su9040546>