

USO DE SISTEMAS AGROFORESTALES PARA LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA
DE ÁREAS DREGRADADAS EN LA ORINOQUÍA COLOMBIANA



ANGIE KATERINE VIÑA ROSERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

USO DE SISTEMAS AGROFORESTALES PARA LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA
DE ÁREAS DREGRADADAS EN LA ORINOQUÍA COLOMBIANA

ANGIE KATERINE VIÑA ROSERO

Estado del arte presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental

Director

Mg. ANGÉLICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA

Magister en desarrollo sustentable y gestión ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2024

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 Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Mag. WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

A mis amados padres, Hugo Viña y Liliana Rosero que han sido mi refugio, mi fuerza y mi mayor inspiración durante este viaje universitario. Desde el primer día me enseñaron el valor del esfuerzo, la constancia y la fe en uno mismo, brindándome todo su apoyo, tanto en los momentos de alegría como en aquellos de incertidumbre. Cada consejo que me dieron, cada abrazo y palabra de ánimo me impulsaron a seguir adelante cuando las cosas parecían difíciles.

Este logro es un reflejo de todo lo que me han enseñado y todo el amor que me han dado. Ustedes han sido mi mayor ejemplo de perseverancia, y su confianza en mí me ha dado la fuerza para superar los obstáculos. No hay palabras suficientes para agradecer todo lo que han hecho por mí; su sacrificio y dedicación son lo que han hecho posible que hoy pueda alcanzar esta meta.

A ustedes, les dedico cada paso, cada esfuerzo y cada éxito. Gracias por ser siempre mi guía y por no soltarme de la mano, incluso cuando yo dudaba. Este título no es solo mío, es de ustedes también. Los amo con todo mi corazón, hoy y siempre.

Agradecimientos

A mis padres, por confiar plenamente en mí y por ofrecerme su incondicional apoyo sin importar las circunstancias.

A mi tío Jaime Viña, quien hoy está acompañándome en este proceso desde el cielo.

A Paulina Villareal, por ser una gran inspiración y por impulsar mi determinación para alcanzar mis objetivos, sin importar la magnitud de los desafíos.

A mis amigas Lizeth Álvarez, Laura Agudelo y Gabriela Traslaviña, por ser parte importante de este proceso, por su constante apoyo y hacer más ameno mi camino universitario.

A la docente Angélica Bustamante, por ser mi directora y brindarme su apoyo incondicional, por compartir sus conocimientos y acompañarme durante este proceso de formación.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Glosario.....	11
1. Introducción.....	12
2. Desarrollo estado del arte.....	16
2.1. Delimitación del problema.....	16
2.2. Características de la muestra documental	17
2.3. Aspectos importantes de los sistemas agroforestales.....	18
2.3.1 Beneficios ecológicos y sociales de los sistemas agroforestales	18
2.3.2 Utilización de sistemas agroforestales en la rehabilitación ecológica	20
2.3.3 Barreras en la implementación de los sistemas agroforestales	22
3. Discusión.....	26
3.1. Importancia social y ecológica de los sistemas agroforestales.....	26
3.2. Beneficios de los sistemas agroforestales en la Orinoquía Colombiana.....	27
3.3. Desafíos en la implementación de sistemas agroforestales en la Orinoquía.....	29
Conclusiones.....	31
Recomendaciones	32
Referencias bibliográficas.....	34

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Protocolo para la revisión bibliográfica.....	17
Tabla 2. Impactos ambientales y socioeconómicos de los sistemas agroforestales	24

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Servicios ecosistémicos ofrecidos por los bosques tropicales.....	19

Resumen

La región de la Orinoquía colombiana actualmente enfrenta problemas graves como la deforestación, asociado a actividades como la expansión agropecuaria y los monocultivos lo que ha reducido la cobertura forestal y deteriorado los servicios ecosistémicos que pueden brindar ecosistemas como los bosques tropicales. A partir de esto, los Sistemas Agroforestales (SAF) surgen como una estrategia prometedora para la rehabilitación de ecosistemas degradados. Estos sistemas se caracterizan por combinar árboles, arbustos y cultivos agrícolas, ofreciendo beneficios significativos como la mejora de la fertilidad del suelo, el aumento de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

Estudios han demostrado que la implementación de SAF puede aumentar los ingresos de los agricultores entre un 2-80%, al emplear especies comerciales y locales. Por ejemplo, en el departamento del Casanare, en donde el cacao y el plátano representan gran parte de los ingresos de estas comunidades, el uso de estas especies no solo generará ingresos adicionales, sino que también promoverá prácticas sostenibles a largo plazo.

A pesar de sus ventajas, la implementación de los SAF enfrenta varios desafíos como la falta de conocimientos técnicos y de incentivos económicos, además, de los costos iniciales en su establecimiento y el tiempo necesario para obtener retornos económicos son barreras para tener en cuenta. También, la efectividad de los SAF puede variar según las condiciones locales, entre un 41-80%. Por esta razón, se requiere una planificación adaptativa y una selección adecuada de especies nativas, para asegura el éxito de estas estrategias.

A partir de esto, se recomienda establecer programas de capacitación y asesoría técnica a nivel local. Estos programas deben incluir la formación sobre la selección de especies y el manejo de SAF. También se deben realizar estudios previos sobre las condiciones del suelo, clima y biodiversidad para ajustar las prácticas agroforestales a las condiciones específicas de la región. Además, es necesario implementar políticas públicas y ofrecer incentivos económicos que cubran los costos iniciales y apoyo durante el período de adaptación. Por último, se debe ampliar la investigación sobre la efectividad de los SAF y fomentar la diversificación de cultivos, para mejorar la resiliencia del sistema ecológico.

Palabras Clave: *Sistemas agroforestales, rehabilitación ecológica, Orinoquía, especies nativas, degradación.*

Abstract

The Orinoco region of Colombia is currently facing serious problems such as deforestation, associated with activities such as agricultural expansion and monocultures, which have reduced forest cover and deteriorated the ecosystem services that ecosystems such as tropical forests can provide. Based on this, Agroforestry Systems (AFS) emerge as a promising strategy for the rehabilitation of degraded ecosystems. These systems are characterized by combining trees, shrubs and agricultural crops, offering significant benefits such as improved soil fertility, increased biodiversity and climate change mitigation.

Studies have shown that the implementation of FFS can increase farmers' incomes by 2-80% by employing commercial and local species. For example, in the department of Casanare, where cocoa and bananas represent a large part of the income of these communities, the use of these species will not only generate additional income, but will also promote long-term sustainable practices.

Despite their advantages, the implementation of FFS faces several challenges such as lack of technical knowledge and economic incentives, as well as the initial costs in their establishment and the time needed to obtain economic returns are barriers to take into account. Also, the effectiveness of PFS can vary according to local conditions, ranging from 41-80%. For this reason, adaptive planning and appropriate selection of native species are required to ensure the success of these strategies.

Based on this, it is recommended that training and technical assistance programs be established at the local level. These programs should include training on species selection and PES management. Previous studies on soil conditions, climate and biodiversity should also be carried out to adjust agroforestry practices to the specific conditions of the region. In addition, it is necessary to implement public policies and provide economic incentives to cover initial costs and support during the adaptation period. Finally, research on the effectiveness of PFS should be expanded and crop diversification should be encouraged to improve the resilience of the ecological system.

Key Word: *Agroforestry systems, Ecological rehabilitation, Orinoquía, Native species, Degradation.*

Glosario

Degradación ambiental: La degradación ambiental se refiere al deterioro del entorno natural causado por actividades humanas y procesos naturales (Pérez et al., 2020).

Estrés hídrico: Se refiere a la condición en la que la disponibilidad de agua es insuficiente para satisfacer las necesidades de los cultivos, lo que puede afectar su crecimiento y productividad. Este fenómeno puede ser causado por diversos factores, incluyendo el cambio climático, la inadecuada gestión del agua y la creciente demanda de recursos hídricos debido al aumento de la población (Núñez et al., 2017).

Rehabilitación ecológica: Se refiere a la mejora de un ecosistema degradado, donde se busca recuperar su funcionalidad y estructura, pero no necesariamente se intenta devolverlo a su estado original (Vanegas et al., 2015)

Restauración ecológica: Implica un enfoque más integral que busca devolver un ecosistema a su estado natural anterior, incluyendo la recuperación de su biodiversidad, estructura y funciones (Vanegas et al., 2015).

Resiliencia de ecosistemas: Se refiere a la capacidad de un ecosistema para recuperarse de perturbaciones, adaptarse a cambios y mantener su funcionalidad y estructura a lo largo del tiempo (Lozano et al., 2019).

1. Introducción

A lo largo de la historia, las actividades humanas han sido factores clave en la degradación de diversos ecosistemas, ejerciendo una considerable presión sobre los servicios ecosistémicos que estos biomas proporcionan (Cerchar et al., 2018). La Organización de las Naciones Unidas (ONU) identifica la deforestación global como uno de los desafíos críticos que enfrentan los ecosistemas de la Tierra, un fenómeno alarmante, ya que cada año se pierden aproximadamente 10 millones de hectáreas de bosques (Federación Nacional de Industriales de la Madera (FEDEMADERAS), 2023).

De acuerdo con el reciente informe del Programa ONU-REDD+, el Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-CMVC) y la iniciativa Green Gigaton Challenge (GGC), la agricultura, la deforestación y otros cambios en el uso del suelo son responsables del 25% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) (FEDEMADERAS, 2023). La deforestación ha tenido un impacto devastador en el último medio siglo, marcando uno de los periodos de mayor pérdida de cobertura forestal en la historia, durante el cual aproximadamente un 15% de la superficie mundial de vegetación ha sido destruida, y en los últimos 13 años ha acabado con 43 millones de hectáreas en todo el mundo, devastando bosques y selvas a gran escala y provocando daños irreparables en la calidad de los suelos (National Geographic, 2024).

De acuerdo con esto, Hancock, (2019) advierte que, para el año 2030, aproximadamente el 47% de los bosques del mundo estará en alto riesgo de deforestación o degradación, subrayando la urgencia de tomar medidas para frenar esta tendencia destructiva.

En Colombia, la deforestación representa un desafío ambiental de gran relevancia. En 2018, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) reportó la pérdida de aproximadamente 1.971,6 km² de bosque, mientras que en 2019 la cifra alcanzó los 1.588,9 km² (World Wildlife Fund (WWF), 2022). Además, se estima que, en los últimos 21 años, cerca de 3,3 millones de hectáreas han sido deforestadas en el territorio colombiano (World Wildlife Fund (WWF), 2024).

Frente a esto, Colombia al poseer una notable diversidad ecológica con al menos 81 tipos de ecosistemas, enfrenta un riesgo significativo: el 46% de estos ecosistemas se encuentran en categorías de alto riesgo, siendo clasificados como “En Estado Crítico” (CR) o “En Peligro” (EN)

(Etter et al., 2017). Según mencionan Etter et al., (2017) los ecosistemas en peligro crítico (CR) incluyen el bosque seco tropical y el desierto tropical, los ecosistemas secos intrazonales de los Andes, los ecosistemas húmedos (como los humedales de los departamentos de Boyacá y Cundinamarca), y las áreas de bosque húmedo tropical del piedemonte de los Llanos Orientales.

La región de la Orinoquía, conformada por los departamentos de Arauca, Casanare, Meta, Vichada y el norte del Guaviare, alberga una gran diversidad de fauna y flora en ecosistemas como pastizales, matorrales y bosques; sin embargo, en las últimas décadas ha experimentado un aumento en la deforestación, impulsado por diversas actividades humanas, como la expansión de la frontera agropecuaria, los monocultivos lícitos e ilícitos, así como incendios forestales (Universidad Nacional de Colombia (UNAL), 2021). El departamento del Meta, en particular, ha sufrido pérdidas significativas en áreas de bosque primario húmedo, se estima que entre 2002 y 2023 el departamento del Meta ha perdido 397 mil hectáreas, lo que representa una disminución del 15% en su área total de bosque primario húmedo (Global Forest Watch (GFW), 2024).

Por otra parte, la actividad económica del Meta se centra en la agricultura, la ganadería, el comercio y la industria, siendo la agricultura y la ganadería grandes contribuyentes a la deforestación y degradación de los ecosistemas del departamento, y frente a la creciente problemática de degradación ambiental han surgido diversas estrategias, entre ellas la rehabilitación ecológica, un proceso que busca restaurar las funciones ecológicas de un ecosistema degradado sin necesariamente devolverlo a su estado original, este enfoque se centra en estabilizar el ecosistema y mejorar sus funciones básicas, como la conservación del suelo, la regulación del agua y el apoyo a la biodiversidad, aunque no se recupere en su totalidad la biodiversidad original (Escallón, 2017). El objetivo principal de la rehabilitación ecológica es asegurar que el ecosistema pueda seguir funcionando de manera sostenible, mejorando los servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, la protección contra la erosión y la regeneración de la vegetación, aún cuando no se logre su restauración completa (Plaza & Romero, 2021).

En este contexto, los sistemas agroforestales (SAF) se presentan como una herramienta clave para la rehabilitación ecológica de ecosistemas degradados, consolidándose como una alternativa sostenible para el uso de la tierra debido a sus múltiples beneficios socioeconómicos y ambientales. Estos sistemas responden a la necesidad urgente de adoptar prácticas de producción sostenibles frente a los cambios en el uso del suelo, los efectos del cambio climático y la creciente

conciencia de que el bienestar social esta directamente vinculado a los servicios ecosistemicos (Gutiérrez, 2014).

Según Food and Agriculture Organization (FAO), (2018), los sistemas agroforestales se caracterizan por la integración de arboles, arbustos, palmas y flora silvestre junto con una amplia variedad de cultivos y animales domésticos en una misma parcela de tierra. La implementación de estos sistemas varia considerablemente según el paisaje, el país o la región, en función de las necesidades y capacidades de las personas, así como de las condiciones ambientales, culturales y socioeconómicas predominantes (FAO, 2018).

En Colombia, se han desarrollado diversos proyectos de rehabilitación ecológica que han adoptado el uso de sistemas agroforestales. Un ejemplo de ellos es el proyecto liderado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), que en 2023 puso en marcha un nuevo programa agroforestal con el objetivo de recuperar la cobertura boscosa y mejorar la funcionalidad ecosistémica. Este proyecto no promueve la sostenibilidad ambiental y la conectividad biológica, sino que también genera ingresos a través de cultivos comerciales sostenibles, fomenta buenas prácticas agrícolas y apoya a familias vulnerables, mejorando su calidad de vida mientras contribuyen al cuidado del medio ambiente (Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), 2023).

La implementación de los sistemas agroforestales contribuye al cumplimiento de acuerdos internacionales de gran relevancia, como el Acuerdo de París, ya que los SAF son considerados estrategias clave para la mitigación y adaptación al cambio climático, al mejorar la captura de carbono y aumentar la resiliencia de los ecosistemas (García et al., 2016). Asimismo, estos sistemas desempeñan un papel crucial en el marco del Tratado de Cooperación Amazónica (TCA), favoreciendo la conservación y el uso sostenible de los recursos en la región amazónica colombiana mediante la promoción de prácticas agrícolas que protegen los ecosistemas, según lo menciona la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA), (2021). Además, los sistemas agroforestales están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como ODS 1 (Fin de la pobreza), ODS 2 (Hambre cero), ODS 13 (Acción por el clima), ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) y ODS 12 (Producción y consumo responsables), entre otros (Asocarbono, 2024).

Este tipo de herramientas puede convertirse en una solución clave para ingenieros ambientales y autoridades debido a su capacidad para gestionar de manera sostenible los recursos

naturales, restaurar ecosistemas degradados y mitigar el cambio climático. Además, los sistemas agroforestales (SAF) contribuyen a la captura de carbono, lo que los convierte en una herramienta fundamental para reducir las emisiones de CO₂, alineándose con las políticas globales de mitigación del cambio climático, como las recomendadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) en su informe de 2019.

El presente estado del arte tiene como objetivo analizar el uso de los sistemas agroforestales como herramientas para la rehabilitación de áreas degradadas en la región de la Orinoquía colombiana. Se recopila información sobre la implementación de estos sistemas en el proceso de rehabilitación de áreas deforestadas, identificando los factores clave que influyen en su éxito. Además, se exploran tanto las ventajas como las restricciones de su aplicación a través de la revisión de diversos materiales bibliográficos. Finalmente, se proponen recomendaciones para la implementación efectiva de los sistemas agroforestales en proyectos de rehabilitación ecológica.

2. Desarrollo estado del arte

2.1. Delimitación del problema

La deforestación representa una de las principales problemáticas ambientales a nivel global, no solo por su impacto en la biodiversidad superficial, sino también por sus efectos negativos en la biodiversidad del suelo y los servicios ecosistémicos que este proporciona. La conversión de bosques nativos en cultivos, pastizales y plantaciones reduce significativamente la capacidad del suelo para almacenar carbono, regular el agua, ciclar nutrientes y descomponer materia orgánica, lo que compromete funciones clave del ecosistema (Qu et al., 2024). La Orinoquía ha sido gravemente afectada. Hoy por la deforestación, debido a la expansión de la frontera agrícola y la producción ganadera, por lo cual, es esencial evitar los modelos de producción que han demostrado ser perjudiciales, optando por prácticas sostenibles de restaurar en tierras degradadas y minimizan la presión sobre ecosistemas, promoviendo un modelo de crecimiento agrícola que proteja la biodiversidad y asegure la producción a largo plazo (Truitt & Thurow, 2018).

En este contexto, la implementación de sistemas agroforestales para la rehabilitación de áreas degradadas es fundamental debido a su capacidad para restaurar la biodiversidad, mejorar la calidad del suelo y promover servicios ecosistémicos clave, ya que permiten integrar cultivos, árboles y pasturas, lo que mejora la estructura y fertilidad del suelo, reduce la erosión y promueve la resiliencia climática (Gupta et al., 2023). Estos sistemas ofrecen una alternativa sostenible que no solo restauran las tierras degradadas, sino que también ayudan a mejorar la productividad agrícola a largo plazo, contribuyendo a la conservación de la biodiversidad (Kaur et al., 2023).

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación se orienta a evaluar cómo y en qué condiciones los sistemas agroforestales pueden contribuir de manera eficiente a la rehabilitación de áreas degradadas, considerando tanto los beneficios ecológicos como sociales. Asimismo, se abordará la implementación de sistemas agroforestales como herramienta para la restauración ecológica, identificando las especies vegetales más adecuadas según las características del área degradada. Por último, se analizarán las barreras en la implementación de estos sistemas, como la disponibilidad de recursos financieros, la resistencia cultural, y las limitaciones técnicas en el manejo agroforestal, aspectos críticos para el éxito a largo plazo de estas intervenciones.

2.2. Características de la muestra documental

Para esta investigación se ha determinado una revisión sistemática de inclusión/exclusión, siguiendo la metodología planteada por Gutiérrez et al., (2019), los cuales establecieron una estrategia de búsqueda para obtener tantos 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. *Protocolo para la revisión bibliográfica*

Ítem	Descripción
Preguntas moduladoras	¿Cuáles son las principales características de los sistemas agroforestales aplicados en la rehabilitación ecológica de bosques tropicales? ¿Qué beneficios ofrecen los sistemas agroforestales para la restauración ecológica en comparación con otras estrategias de restauración, como la regeneración natural o la reforestación? ¿En qué tipo de áreas degradadas (pasturas, áreas agrícolas abandonadas, etc.) son más efectivos los sistemas agroforestales?
Estrategia de búsqueda	- Ecuación de búsqueda (<i>Agroforestry AND systems AND rehabilitation AND (tropical forests OR Orinoco region)</i>) / (<i>Agroforestales Y sistemas Y (bosques tropicales O Orinoquía)</i>) - Bases de Datos: Science Direct, Google Scholar y Springer Link - Artículos de investigación en inglés y español - Año publicación: 2014 - 2024
Criterios de inclusión y exclusión	Inclusión: - Estudios que analicen la implementación de sistemas agroforestales como herramienta para la rehabilitación ecológica de bosques tropicales degradados. - Estudios realizados en bosques o áreas tropicales, incluyendo América Latina, África y el Sudeste Asiático. Exclusión: No cumple ninguno de los criterios anteriores

Nota: Elaborado a partir de lo establecido por Gutiérrez et al., (2019)

Después de aplicar la ecuación de búsqueda en las bases de datos listadas en la Tabla 1 y refinar los criterios de búsqueda, se obtuvieron cinco (5) resultados en *Science Direct*, dos (2) en *Springer Link* y tres mil (3000) en *Google Scholar*. Al aplicar los criterios de inclusión y exclusión definidos en la Tabla 1, y siguiendo la metodología establecida por Osma y Peña (2024), en donde

eliminaron los documentos de manera secuencial: primero, los duplicados; luego, aquellos que no contenían texto completo; y, por último, los que no se ajustaban a la temática establecida. Siguiendo este proceso, se seleccionaron un total de 14 documentos: cuatro (4) de Science Direct, ocho (8) de Google Scholar y dos (2) de Springer Link.

2.3. Aspectos importantes de los sistemas agroforestales

A partir de la revisión bibliográfica, se han definido varios temas claves relacionados con los sistemas agroforestales, los cuales destacan su importancia como una alternativa viable para la restauración ecológica de áreas degradadas en los bosques tropicales de la Orinoquía colombiana. Estos temas incluyen tanto los beneficios ecológicos como los sociales que los sistemas agroforestales pueden aportar, además de analizar proyectos en los que se ha implementado esta estrategia y las barreras que han surgido durante su aplicación.

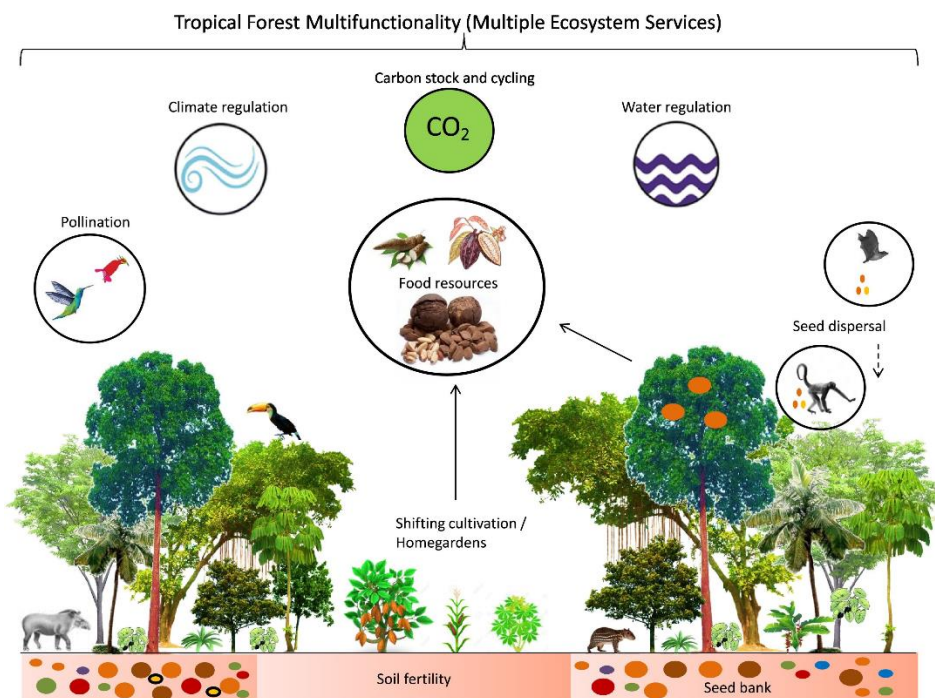
2.3.1 Beneficios ecológicos y sociales de los sistemas agroforestales

Según Shimamoto et al., (2018), los sistemas agroforestales se definen como una práctica de manejo sostenible que integra árboles con cultivos agrícolas o ganadería en el mismo terreno. De acuerdo con esto, en su estudio, pudieron establecer que, al promover el crecimiento de árboles nativos, se mejora el hábitat para las especies locales y se incrementa la biodiversidad en comparación con áreas agrícolas degradadas, lo cual tiene un efecto positivo, ya que se convierten en sumideros de carbono tanto en la biomasa aérea (árboles) como en el suelo, lo que ayuda a mitigar los efectos del cambio climático.

Sahoo et al., (2020) destacan que los sistemas agroforestales son particularmente eficaces para restaurar paisajes forestales degradados al proporcionar una cobertura arbórea permanente. Esta estrategia es especialmente valiosa en áreas donde la restauración natural del bosque no es viable a gran escala (Sahoo et al., 2020). La integración de árboles en las tierras agrícolas puede prevenir la degradación ambiental, mejorar la productividad agrícola, y contribuir con la sostenibilidad a largo plazo (Fahad et al., 2022). Además, Murniati et al., (2022) y Shimamoto et al., (2018), demostraron que la implementación de sistemas agroforestales tiene impactos positivos en áreas forestales degradadas, mejorando los servicios ecosistémicos que estos proporcionan

como son: aumento en la capacidad de generación de alimento, la mejora en la cantidad y la calidad del agua, la reducción en la erosión del suelo y el incremento en la diversidad de especies arbóreas en estos ecosistemas. En la Figura 1, se pueden observar los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales.

Figura 1. *Servicios ecosistémicos ofrecidos por los bosques tropicales*



Nota. Los bosques tropicales cubren sólo el 8% de la superficie terrestre, pero albergan más de la mitad de la biodiversidad terrestre y almacenan un tercio del carbono terrestre, proporcionan importantes servicios ecosistémicos a escala local y global (Villa et al., 2021).

Según Villa et al., (2021) los sistemas agroforestales tienen un alto potencial como sistemas alimentarios sostenibles y permanentes. Estos sistemas pueden reducir la intensificación de la agricultura migratoria, que es una práctica tradicional de uso de la tierra en la que se cultivan áreas pequeñas (0.1-0.8 ha) durante ciclos cortos de cultivo (1-3 años), seguidos de períodos de barbecho de 2-7 años. Esta práctica obliga a los agricultores a utilizar fertilizantes, mecanización o pesticidas para acelerar los procesos, lo que genera impactos negativos como la degradación y fragmentación forestal, mayores emisiones de gases de efecto invernadero, y pérdida de servicios ecosistémicos y biodiversidad (Villa et al., 2021). La implementación de sistemas agroforestales puede ayudar a

reducir la deforestación de nuevas áreas forestales para cubrir la necesidad de nuevos cultivos y satisfacer la demanda por más alimento (Ngo et al., 2021).

En el estudio realizado por Valdés et al., (2024), se pudo identificar cómo los sistemas agroforestales constituyen una alternativa ante la problemática de los monocultivos y la deforestación, debido a la combinación de árboles forestales con otros cultivos o con animales, lo que permite el mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad del suelo, debido al aumento en la capacidad de reciclar los nutrientes y adicionar residuos. Situación que reduce la contaminación de las aguas freáticas por nitratos u otras sustancias dañinas, las cuales afectan directamente las especies forestales de los bosques tropicales.

De acuerdo con lo realizado por Rosero, (2018) en el departamento de Casanare, Colombia se pudo determinar cómo la implementación de sistemas agroforestales como alternativa de restauración ecológica, no solo trae consigo beneficios ambientales, sino que también permite el beneficio económico en las comunidades que lo implementan. Con el desarrollo de un sistema agroforestal compuesto por cacao, plátano y maderables, pensado en los productos que más se generan en esta zona, se pueden obtener ingresos estimados por hectárea en el segundo año de producción de cacao y plátano cercanos a los \$9.550.000 COP, superando el salario mínimo mensual vigente, es decir, un incremento del 1.86%, lo cual mejoraría las condiciones de vida de las comunidades y les permitiría contribuir en la restauración ecológica de áreas degradadas (Rosero, 2018).

2.3.2 Utilización de sistemas agroforestales en la rehabilitación ecológica

Un proyecto de restauración agroforestal realizado por Murniati et al., (2022) en el Gran Parque Forestal Wan Abdul Rachman (WAR GFP) en Lampung, Indonesia, demostró que al plantar especies arbóreas no nativas como el cacao (*Theobroma cacao*) y especies nativas como el durian (*Durio zibethinus*), el petai (*Parkia speciosa*) y el candlenut (*Aleurites mollucana*), se lograron resultados significativos. Este estudio, que involucró a 59 agricultores que gestionaban 63 parcelas, con un área total de 3 ha, reveló que estas especies, las más comunes cultivadas por los agricultores en WAR GFP y presentes en un 78-93% de las parcelas manejadas, provocaron un aumento del 88% en la cobertura arbórea y diversidad. Además, se observaron impactos positivos,

como la mejora en la calidad y la cantidad del agua, la disminución en la erosión del suelo y un incremento superior al 80% en los ingresos de los agricultores.

Con el propósito de evaluar la capacidad de los Sistemas Agroforestales (SAF) para conservar la vegetación nativa, Rendón et al., (2020) llevaron a cabo un estudio en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán en México. En este estudio, se determinó cómo las prácticas agroforestales locales implementadas en esta zona, como el Apancle (Sistema Agroforestal Tradicional Asociado al Bosque Tropical), influyen en la regeneración ecológica de los Bosques Tropicales Secos. Los resultados mostraron que este sistema agroforestal permitió la conservación significativa de una porción de la riqueza de especies (68%), así como de la abundancia de especies (53%). Entre las especies destacadas se encuentran especies nativas como los guajes, *Leucaena spp.* y el jobo o ciruela (*Spondias purpurea*), así como especies silvestres del bosque húmedo tropical como el coyul (*Acrocomia mexicana*) y el chicozapote o zapote (*Manilkara zapota*). Además, el sistema agroforestal contribuyó a conservar la diversidad vegetal presente, con una diversidad alfa (ubicada en un solo sitio o parcela) del 81% y una diversidad gamma (ubicada en dos o más parcelas) del 96%.

En Colombia, Mazo et al., (2016) realizaron un estudio geoespacial en la Región Pacífica. Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), determinaron que el Sistema Agroforestal Quesungual (SAQ) —una práctica agroforestal originaria del sur del departamento de Lempira, Honduras, donde se cultivan maíz y frijol en parcelas con árboles dispersos— podría implementarse en el municipio de Mercaderes, en el departamento del Cauca. Esta técnica podría aplicarse en una extensión aproximada de 35,000 hectáreas. El municipio de Mercaderes caracteriza por su ubicación en una zona subxerófica del Patía y por tener una precipitación anual inferior a 2,000 mm. La implementación del SAQ en esta región podría ayudar a recuperar hectáreas de Bosque Seco Tropical afectadas por la desertificación, mejorando la calidad de los suelos degradados y contribuyendo a la reducción del cambio climático.

Con respecto a la Orinoquía colombiana, se analizó el estudio llevado a cabo por Rosero, (2018) en el departamento de Casanare, Colombia, que buscaba determinar las mejores medidas de compensación frente al impacto negativo del modelo económico extractivo, basado en la explotación de hidrocarburos, sobre los recursos naturales y ecosistemas en esta zona del país. Ante esto, Rosero, (2018) definió que la implementación de sistemas agroforestales compuestos por cacao (*Theobroma cacao*), plátano y especies maderables podría reducir esta problemática

ambiental. Provocando la restaruración de los ecosistemas, aumento de la biodiversidad, reducción de conflictos en el uso del suelo y fortalecimiento ante fenómenos climáticos extremos.

En este mismo estudio se estableció un área total de 11,222 ha para llevar a cabo la actividad de restauración, en donde se determinó que el sistema agroforestal con cacao, plátano y maderables es una alternativa rentable para las comunidades locales. Situación que mejoraría las condiciones de vida de las comunidades locales y contribuiría a reducir la dependencia económica del sector hidrocarburos en Casanare. Además, que se estaría ofreciendo una alternativa viable para cumplir con las medidas de la compensación ambiental, con el potencial de restaurar áreas degradadas, incrementar la conectividad ecosistémica y mitigar los efectos del cambio climático en esta zona de Colombia (Rosero, 2018).

2.3.3 Barreras en la implementación de los sistemas agroforestales

A pesar del rol crucial que desempeñan los sistemas agroforestales en la rehabilitación de áreas degradadas, estudios han demostrado las limitaciones y dificultades al momento de implementarlos, Kouassi et al., (2021) identificó aspectos clave que limitan su adopción efectiva, entre las cuales se encuentran: la inseguridad en la tenencia de la tierra y la propiedad de los árboles siendo una de las principales dificultades, ya que muchos agricultores temen perder sus derechos sobre los árboles plantados, lo que desincentiva su mantenimiento a largo plazo. Asimismo, Kouassi et al., (2021) menciona que el acceso limitado a insumos como plántulas y financiamiento agrava aún más la situación dificultando la integración de estos sistemas, además algunos agricultores perciben que los árboles podrían competir con los cultivos de cacao afectando negativamente los rendimientos, lo que incrementa su resistencia a adoptar estas prácticas, por último la falta de acuerdos formales que garanticen sus derechos sobre los árboles y la tierra refuerza la desconfianza y frena la adopción de los sistemas agroforestales a mayor escala.

Por otro lado, en un estudio realizado por Actriz et al., (2022), se lograron identificar varios aspectos que dificultan la implementación de los sistemas agroforestales (SAF), en primer lugar, la escasez de recursos esenciales, como semillas de calidad, plántulas, pesticidas y fertilizantes, afecta negativamente la productividad, lo que disminuye considerablemente el rendimiento agrícola, además, menciona que la falta de mercados alternativos para la comercialización de productos maderables y forestales impacta directamente en la rentabilidad de estas prácticas,

limitando las oportunidades de crecimiento económico. Por último, Actriz et al., (2022) señala que la explotación por parte de intermediarios en la cadena de comercialización reduce los ingresos que los agricultores podrían generar, debilitando así el atractivo económico de los sistemas agroforestales.

Además, en un estudio realizado por Tranchina et al., (2024) con el fin de identificar las diversas dificultades que limitan la adopción de sistemas agroforestales, determino que entre las barreras más frecuentes se encuentra la inversión económica inicial, identificada en el 33% de los estudios revisados, la cual representa un obstáculo significativo debido a los altos costos de insumos, plantación de árboles y recursos para el mantenimiento del sistema, esta falta de capital disponible desincentiva la adopción de estos sistemas, especialmente para pequeños agricultores. Además, se menciona el esfuerzo y tiempo que demanda implementar y mantener un sistema agroforestal, lo que incrementa la complejidad percibida por los agricultores, a lo cual se suma la falta de apoyo técnico, que implica una carencia de asistencia y conocimiento necesario para gestionar adecuadamente el sistema (Tranchina et al., 2024).

Benítez, (2021) realizó un estudio en el municipio de La Macarena (Meta, Colombia), perteneciente a la región de la Orinoquía, en el cual evaluó las especies promisorias del género *Theobroma* en esta área. Durante el desarrollo de la investigación, se identificaron diversas dificultades en la implementación de los sistemas agroforestales, siendo una de las principales el elevado costo inicial, que incluye la preparación del suelo, la adquisición de plantas y el manejo técnico adecuado. Además, la falta de conocimientos técnicos entre los agricultores limita su capacidad para gestionar eficazmente estos sistemas, los cuales requieren experiencia específica en la combinación de especies y los ciclos productivos. Asimismo, las prácticas agroforestales a menudo entran en conflicto con las tradiciones agrícolas locales, como los monocultivos o la ganadería extensiva, lo que reduce su atractivo para los agricultores. Finalmente, la falta de apoyo institucional y los conflictos sociales en algunas regiones también representan obstáculos significativos para la adopción de estos sistemas (Benítez, 2021).

Tabla 2. *Impactos ambientales y socioeconómicos de los sistemas agroforestales*

Autor	País	Impacto ambiental	Impacto socioeconómico	Efectividad (%)
(Shimamoto et al., 2022)	-	Aumento en los servicios ecosistémicos	-	41 (en aumento de servicios ecosistémicos)
(Murniati et al., 2022)	Indonesia	Aumento en la calidad del agua y reducción de la erosión del suelo	Aumento de ingresos en un 80%	88
(Rendón et al., 2020)	México	Conservación de la biodiversidad e incremento de la cobertura vegetal	Incremento en la satisfacción de necesidades básicas: alimento, leña, etc.	Conservación de biodiversidad: 81 (diversidad alfa) y 96% (diversidad gamma)
(Rosero, 2018)	Colombia	Recuperación de ecosistemas forestales afectados por el sector de hidrocarburos	Incremento en los ingresos de las comunidades en un 1.86 % anual	-
(Sahoo et al., 2020)	-	Aumento en los servicios ecosistémicos de aprovisionamiento	Los elevados costos de oportunidad, comprar, plantar, proteger y cuidar los árboles y los largos tiempos para las cosechas dificultan la inversión en agricultores pobres	-
(Fahad et al., 2022)	-	Mejoramiento de las condiciones del suelo y del microclima. Aumento en el secuestro de carbono	-	-
(Villa et al., 2021)	-	Incremento de la biodiversidad de especies arbóreas y de los servicios ecosistémicos	-	-
(Valdés et al., 2024)	-	Mejoramiento o mantenimiento de la fertilidad del suelo, debido al	Aumento en los ingresos por cultivos económicamente	-

Tabla 2 *Continuación*

	aumento en la importantes, por el capacidad de aumento del reciclar los rendimiento nutrientes y adicionar residuos
--	--

Nota. Realizado a partir de la revisión bibliográfica, 2024

De acuerdo con la Tabla 2, los sistemas agroforestales han demostrado ser efectivos para mejorar el entorno ecológico y las condiciones socioeconómicas, aunque el grado de éxito varía entre estudios y regiones. En Indonesia, por ejemplo, se reporta una alta efectividad del 88%, con un notable aumento en la calidad del agua y la reducción de la erosión del suelo, junto con un significativo incremento del 80% en los ingresos de las comunidades. Este alto rendimiento resalta el potencial de los sistemas agroforestales para ofrecer beneficios ambientales y económicos substanciales.

México también presenta resultados positivos, con sistemas agroforestales que contribuyen a la conservación de la biodiversidad y un incremento en la satisfacción de necesidades básicas como alimento y leña. La alta efectividad en términos de biodiversidad resalta cómo estos sistemas pueden jugar un papel crucial en la preservación ecológica y la mejora de las condiciones de vida. Por otro lado, el estudio de Shimamoto et al., (2022), aunque señala un aumento en los servicios ecosistémicos, muestra una efectividad relativamente baja del 41%. Esto sugiere que, aunque hay un progreso en la mejora de los servicios ecosistémicos, los beneficios aún están en desarrollo y podrían depender de factores adicionales o de un período más largo para alcanzar su máximo potencial.

3. Discusión

3.1. Importancia social y ecológica de los sistemas agroforestales

La revisión de la literatura sobre sistemas agroforestales (SAF) reveló que estas prácticas representan una alternativa efectiva para la restauración ecológica de bosques tropicales degradados. Los estudios analizados destacaron que los SAF, al integrar árboles con cultivos o ganadería, proporcionan beneficios ecológicos y sociales significativos que superan los obtenidos por otras estrategias de restauración, como la regeneración natural o la reforestación (Shimamoto et al., 2018; Sahoo et al., 2020).

Una de las principales ventajas de los SAF es su capacidad para mejorar la biodiversidad y la calidad del suelo. Shimamoto et al., (2018) y Sahoo et al., (2020) demuestran que la inclusión de árboles en áreas agrícolas no solo actúa como un sumidero de carbono, sino que también favorece el hábitat para especies locales y mejora los servicios ecosistémicos, como la calidad del agua y la reducción de la erosión del suelo. Estos beneficios se reflejan en un incremento de la productividad agrícola y una mayor sostenibilidad a largo plazo.

Los SAF también ofrecen una solución frente a los problemas asociados con la agricultura migratoria y la deforestación. Villa et al., (2021) y Ngo et al., (2021) destacan que los SAF pueden reducir la necesidad de nuevas áreas de cultivo, mitigando así la presión sobre los bosques tropicales y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se alinea con los hallazgos de Valdés et al., (2024), quienes sugieren que la combinación de árboles con cultivos y animales ayuda a mantener la fertilidad del suelo y reduce la contaminación de las aguas freáticas, importantes para las especies arbóreas de los ecosistemas tropicales.

Los estudios de Rosero, (2018) y Murniati et al., (2022) muestran cómo la implementación de SAF puede generar beneficios económicos sustanciales para las comunidades locales. En el departamento de Casanare, Colombia, la integración de cacao y plátano en sistemas agroforestales no solo mejora las condiciones de vida de las comunidades al aumentar sus ingresos, sino que también contribuye a la restauración ecológica. Este enfoque es replicable en otras regiones tropicales, como lo demuestra el proyecto en el Gran Parque Forestal Wan Abdul Rachman en Indonesia, donde se observaron mejoras significativas en la cobertura arbórea y la diversidad, y el aumento en los ingresos de las comunidades.

En la Orinoquía, los problemas de degradación del suelo, erosión y pérdida de biodiversidad son agravados por la expansión de monocultivos y la ganadería extensiva. Los SAF pueden ofrecer una alternativa viable al combinar árboles, cultivos y ganadería de manera integrada, lo que no solo mejoraría la estructura del suelo, sino que también contribuiría a la captura de carbono y la restauración del hábitat. Sin embargo, es esencial que los SAF en esta región se adapten a las especies nativas y a los ciclos naturales de la Orinoquía para maximizar su impacto. El enfoque tradicional de SAF descrito por Shimamoto et al., (2018) podría ser ajustado mediante la inclusión de especies nativas y de usos productivos para la población local, promoviendo así un equilibrio entre conservación y producción

3.2. Beneficios de los sistemas agroforestales en la Orinoquía Colombiana

En la Orinoquía, una región que ha sufrido significativamente debido a la deforestación y la degradación de sus ecosistemas, los sistemas agroforestales emergen como una solución prometedora para abordar estos problemas. Estos sistemas, que integran árboles con cultivos agrícolas y actividades ganaderas, pueden ofrecer múltiples beneficios específicos adaptados al contexto de la región.

Uno de los principales beneficios de los SAF en la Orinoquía es su capacidad para restaurar y mejorar la calidad del suelo (Murniati et al., 2022). La región enfrenta desafíos significativos en términos de erosión del suelo y pérdida de nutrientes, problemas relacionados con prácticas agrícolas intensivas. Los SAF, al incluir árboles en las parcelas agrícolas, contribuyen a la mejora de la estructura del suelo y a la retención de nutrientes (Valdés et al.; 2024). Las raíces de los árboles ayudan a estabilizar el suelo, reducir la erosión y promover la acumulación de materia orgánica, lo que a su vez mejora la fertilidad y la capacidad de retención de agua del suelo (Shimamoto et al., 2018; Sahoo et al., 2020).

En la Orinoquía, este efecto de los SAF es particularmente relevante. La degradación del suelo ha sido un problema persistente debido a la presión de las actividades humanas, como la expansión de la frontera agropecuaria, los monocultivos lícitos e ilícitos y la proliferación de monocultivos, así como incendios forestales han afectado la productividad agrícola y la sostenibilidad a largo plazo (UNAL, 2021). La incorporación de SAF puede ayudar a mitigar estos efectos negativos al mejorar la calidad del suelo, lo que, a su vez, puede llevar a una mayor estabilidad en la producción agrícola y contribuir a la recuperación de los ecosistemas afectados.

Además, la mejora en la capacidad de retención de agua puede ayudar a reducir los impactos adversos de las sequías estacionales, que son comunes en la región.

Por lo tanto, la implementación de sistemas agroforestales en la Orinoquía no solo aborda los problemas inmediatos de erosión y pérdida de nutrientes, sino que también ofrece una vía para la recuperación de la fertilidad del suelo y la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles. Esta estrategia puede ser fundamental para asegurar la viabilidad de la agricultura en la región a largo plazo, apoyando tanto la restauración ecológica como la estabilidad económica de las comunidades locales.

Por otro lado, los sistemas agroforestales (SAF) en la Orinoquía pueden desempeñar un papel crucial en la restauración de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del ciclo hídrico. La región experimenta variaciones significativas en las precipitaciones (Ramírez et al., 2022), y la presencia de árboles en estos sistemas puede mejorar la infiltración del agua y reducir la escorrentía superficial, problemas que son comunes en los suelos de la Orinoquía colombiana, debido a la textura arcillo-arenosa de los suelos de esta región (Pimentel et al., 2021). Esto no solo contribuye al aumento de los niveles freáticos de los acuíferos y a la reducción de inundaciones, sino que también mejora la disponibilidad de agua para las actividades agrícolas y las necesidades comunitarias (Valdés et al., 2024).

Como destacan Gallo et al., (2024) en su estudio realizado en la subcuenca Caño Quenane, ubicada en la cuenca del Orinoco en Villavicencio (Meta), la variabilidad en las precipitaciones, que puede fluctuar anualmente hasta en 1000 mm, puede causar estrés hídrico en las cosechas. Esto se debe a que, además, en la segunda mitad del año, especialmente entre agosto y diciembre, se presentan déficits hídricos que se consideran sequías agrícolas. Los patrones impredecibles de lluvia afectan la disponibilidad de agua para los cultivos, lo que convierte a los Sistemas Agroforestales (SAF) en una alternativa clave para aumentar la resiliencia de los ecosistemas frente al cambio climático en la Región de la Orinoquía (Gallo et al., 2024).

Los SAF también ofrecen beneficios sociales significativos para las comunidades locales de la Orinoquía. La integración de árboles con cultivos y ganadería puede diversificar las fuentes de ingresos de los agricultores, lo que reduce la dependencia de prácticas agrícolas destructivas, como el uso predominante de monocultivos en su mayoría de palma africana, arroz y pastos exóticos para la ganadería (Escallón, 2017). Por ejemplo, la producción de frutos, madera y otros productos forestales no solo proporciona ingresos adicionales, sino que también fomenta la seguridad alimentaria y mejora la calidad de vida de las comunidades rurales (Rosero, 2018). En

el departamento de Casanare, la inclusión de cultivos como cacao y plátano en sistemas agroforestales ha demostrado ser una estrategia efectiva para aumentar los ingresos de los agricultores, al tiempo que contribuye a la restauración ecológica (Murniati et al., 2022).

La implementación de SAF puede contribuir a la conservación de la biodiversidad en la Orinoquía. La integración de árboles en los paisajes agrícolas y ganaderos crea hábitats adicionales para una variedad de especies, incluidas aves, insectos y plantas (Ulman et al., 2018). Este aumento en la diversidad de hábitats puede ayudar a conservar especies locales y migratorias que dependen de los bosques y los ecosistemas naturales (Escallón, 2017). La creación de corredores biológicos mediante SAF también facilita el movimiento de especies y promueve la conectividad entre fragmentos de bosque, lo que es crucial para la conservación de la biodiversidad en una región con alta presión de deforestación.

Finalmente, los SAF pueden ayudar a mitigar los efectos del cambio climático en la Orinoquía. Al integrar árboles en los sistemas de producción agrícola y ganadera, se incrementa la captura de carbono en la biomasa arbórea y el suelo. Este efecto no solo contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también ayuda a los agricultores a adaptarse al cambio climático al mejorar la resiliencia de sus sistemas de producción (Murniati et al., 2022). La capacidad de los SAF para ofrecer varios beneficios ambientales y económicos los convierte en una herramienta valiosa para enfrentar los desafíos de la Orinoquía.

3.3. Desafíos en la implementación de sistemas agroforestales en la Orinoquía

Aunque los sistemas agroforestales ofrecen beneficios importantes, su implementación presenta varios desafíos que deben abordarse para garantizar su eficacia a largo plazo. El primero es la falta de conocimiento y capacitación entre los agricultores y ganaderos locales sobre los beneficios a largo plazo de los sistemas agroforestales (Benítez, 2021). La adopción de estas prácticas requiere un cambio cultural y técnico que no siempre es fácil de lograr, especialmente en áreas donde las prácticas agrícolas convencionales, como los monocultivos y la ganadería extensiva, son predominantes, tal como lo resalta (Benítez, 2021).

Adicional a esto, la falta de incentivos económicos y políticas de apoyo puede desalentar la adopción de sistemas agroforestales en la Región de la Orinoquía (Benítez, 2021). Aunque estas prácticas pueden mejorar la sostenibilidad a largo plazo, los costos iniciales de implementación y los tiempos de retorno de la inversión pueden ser una barrera significativa para los pequeños y

medianos productores (Benítez, 2021). Por lo tanto, es necesario que se implementen políticas públicas que promuevan y subsidien la transición hacia sistemas agroforestales, ya que las presiones ejercidas por actividades de modelos agropecuarios convencionales limitan la capacidad de las instituciones para implementar políticas forestales que refuercen la gobernanza ambiental forestal (Jaramillo, 2020).

Un problema importante es la variabilidad en la efectividad de estos sistemas según las características del área degradada. Por ejemplo, investigaciones realizadas por Rendón et al., (2020) en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán y Mazo et al., (2016) en la Región Pacífica de Colombia muestran que el éxito de los sistemas agroforestales puede variar según factores específicos del sitio, como el tipo de suelo y el clima. Estos resultados destacan la necesidad de una planificación y adaptación cuidadosa para optimizar los beneficios de los sistemas agroforestales.

Una planificación detallada debe considerar la selección adecuada de especies vegetales compatibles con las condiciones del terreno y que puedan interactuar positivamente con las especies animales locales. En el contexto de la Orinoquía colombiana, es posible desarrollar sistemas agroforestales enfocados en la utilización de especies vegetales nativas de gran relevancia para la región, como el cacao y el plátano, según lo planteado por Rosero, (2018), o el caucho, que Martínez & García, (2018) identificaron como un cultivo forestal de alto impacto económico a nivel mundial, con un potencial significativo para ser explotado en la Orinoquía.

Para el cultivo de caucho en esta región, es fundamental asociarlo con especies vegetales que favorezcan su desarrollo óptimo, como el maíz (*Zea mays*), el plátano hartón (*Musa paradisiaca*) y el cacao (*Theobroma cacao*) (Martínez & García, 2018). Además, es crucial tener en cuenta factores clave en la preparación del terreno y las condiciones climáticas para garantizar el éxito del sistema agroforestal. Entre estas condiciones se destacan una profundidad efectiva del suelo de al menos 1.5 metros, una precipitación anual superior a los 2000 mm, y una textura de suelo que varíe entre franco-arcilloso y franco-arenoso, características que solo se encuentran en zonas específicas de la región, como las áreas de vegón y sabana alta (Martínez & García, 2018). Es por esta razón, que es importantes adaptar los SAF a las características del suelo y el clima, tal como lo afirma Rendón et al., (2020).

Conclusiones

A partir del análisis realizado en el estado del arte se puede concluir que los sistemas agroforestales (SAF) emergen como una solución efectiva para la restauración ecológica de áreas degradadas, especialmente en los bosques tropicales de la Orinoquía colombiana. Los SAF combinan la plantación de árboles con cultivos agrícolas o ganadería, generando múltiples beneficios ecológicos, como la restauración de la fertilidad del suelo, el incremento de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Estas prácticas permiten una regeneración más rápida de los ecosistemas, al mejorar la estructura y composición del suelo, así como al incrementar la cobertura vegetal, lo cual es fundamental para recuperar terrenos degradados.

Se evidenció que además de sus beneficios ambientales, los SAF tienen un impacto positivo en la economía de las comunidades locales. Los estudios revisados indicaron que la implementación de SAF puede elevar los ingresos de los agricultores, contribuyendo así a la mejora de su calidad de vida. En regiones como Casanare, Colombia, la integración de cultivos como cacao y plátano en SAF demostraron ser una fuente de ingresos importante, beneficiando económicamente a las comunidades y promoviendo prácticas sostenibles a largo plazo.

Dentro de los desafíos importantes en la implementación de SAF se identificó la falta de conocimiento y capacitación técnica entre los agricultores, junto con la ausencia de incentivos económicos y políticas de apoyo, lo que limita la adopción efectiva de estos sistemas. Los costos iniciales de establecimiento y el tiempo necesario para obtener retornos de inversión son barreras que se deben abordar mediante políticas públicas y programas de capacitación. Además, la variabilidad en la efectividad de los SAF según las condiciones específicas del sitio resaltó la necesidad de una planificación adaptativa y la selección adecuada de especies nativas para maximizar los beneficios.

Por último, a partir de esta construcción de estado del arte, se pudo determinar cómo los SAF presentan una solución prometedora para la rehabilitación ecológica en la Orinoquía, la investigación sobre su implementación y efectividad en esta región sigue siendo limitada. Es por esta razón, que es importante ampliar los estudios para comprender e implementar estos sistemas que pueden ser adaptados a condiciones locales y optimizados para abordar los problemas particulares de la Orinoquía colombiana. Teniendo en cuenta, factores como la selección de especies adecuadas, el suelo y el clima para asegurar el éxito de estas estrategias de restauración.

Recomendaciones

Teniendo en cuenta la investigación realizada para el estado del arte y la falta de información en ciertos aspectos importantes, frente a la utilización de sistemas agroforestales en la rehabilitación ecológica, se plantearon las siguientes recomendaciones:

Frente a la falta de conocimiento con respecto a la incorporación de sistemas agroforestales, se podrían establecer programas de capacitación y asesoría técnica a nivel local lo que ayudará a superar la falta de conocimiento y mejorar la adopción de técnicas efectivas. Para ello, los centros de investigación y universidades locales pueden desempeñar un papel crucial en esta capacitación, proporcionando formación continua a los agricultores sobre las prácticas agroforestales como la selección de especies adecuadas y el manejo de los SAF.

Con respecto a la poca producción bibliográfica frente a la asociación de las condiciones climatológicas con proyectos de sistemas agroforestales, se recomienda realizar estudios de suelo, clima y de la biodiversidad local previos a la implementación lo que permitirá seleccionar las especies más adecuadas y ajustar las prácticas agroforestales a las condiciones específicas de la región de la Orinoquía.

A partir de esto, se puede ampliar la investigación sobre la efectividad y adaptabilidad de los SAF en la Orinoquía colombiana, siendo crucial para mejorar las prácticas y estrategias. Para esto, se pueden desarrollar estudios de casos locales, que planteen nuevos enfoques y obligue a la evaluación regular del desempeño de los SAF, permitiendo ajustar y optimizar los sistemas según los resultados obtenidos.

Introducir cultivos comerciales como el cacao, el plátano u otras especies nativas puede contribuir a la seguridad alimentaria y mejorar los ingresos de los agricultores. Fomentando la diversificación de cultivos dentro de los SAF, para mejorar la resiliencia del sistema, aumentando la productividad y reducir los riesgos económicos.

Por otro lado, para fomentar la adopción de SAF, es necesario implementar políticas públicas y ofrecer incentivos económicos que cubran los costos iniciales del establecimiento de estos proyectos, además, brindar apoyo financiero durante el período de adaptación. Estos incentivos pueden incluir subsidios, créditos y beneficios fiscales, para que los agricultores adopten prácticas agroforestales.

Adicional a esto, la creación de redes de cooperación entre agricultores, organizaciones locales, ONG y autoridades regionales podría facilitar el intercambio de conocimiento, recursos y experiencia, contribuyendo a la resolución de problemas comunes, para promover el éxito de los SAF.

Por último, implementar prácticas de manejo integrado de plagas y enfermedades es fundamental para proteger la salud de los cultivos y árboles en los SAF. Para esto, es importante el monitoreo regular y el uso de técnicas de control biológico o ecológico para el control de plagas.

Referencias bibliográficas

- Actriz, R., Hasan, M., Kabir, K., Darr, D., & Roshni, N. A. (2022). *Agroforestry systems and their impact on livelihood improvement of tribal farmers in a tropical moist deciduous forest in Bangladesh*. Bangladesh. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100315>
- Asocarbono. (2024). *Tercer reporte sobre la Contribución de los Proyectos del Mercado de Carbono Colombiano para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://asocarbono.org/ods/>
- Benítez Rojas, N. S. (2021). Identificación y propuesta de uso del sistema agroforestal del género *Theobroma* en el municipio de La Macarena, Meta. *[Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10554/60788>
- Cerchar Borrego, E., Guzmán Beleño, D., & Quiroz Duran, E. (2018). Evaluación de los efectos de las actividades antrópicas sobre los servicios ecosistémicos hídricos del sistema socio ecológico de las Ciénagas Mata de Palma y la Pachita en el Municipio de El Paso Cesar. *[Trabajo de grado, Universidad de Manizales]*. Repositorio Institucional. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4045>
- Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). (24 de abril de 2023). *CDMB*. <https://www.cdm.gov.co/prensa/noticias/cdm-inicio-la-implementacion-de-un-nuevo-proyecto-agroforestal>
- Escallón, M. (2017). *Propuesta para la rehabilitación ecológica y la recuperación del capital natural en el área de la Reserva de la Sociedad Civil Aves del Tequendama susceptibles de facilitar condiciones para el bienestar humano y la conservación del sistema ecológico*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10654/17325>
- Etter, A., Andrade, A., Saavedra, K., & Cortés, J. (2017). *Actualización de la Lista Roja de los Ecosistemas Terrestres de Colombia*. Humboldt. Instituto Humboldt. <http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2017/cap2/204/#seccion4>
- Fahad, S., Bhanudas, S., A. R., Ramani, A., Kumar, M., Kakade, V., . . . Poczai, P. (2022). *Agroforestry Systems for Soil Health Improvement and Maintenance*. *Sustainability*, 14(22), 1-25. <https://doi.org/10.3390/su142214877>

- Federación Nacional de Industriales de la Madera (FEDEMADERAS). (19 de enero de 2023). *La deforestación, un grave problema a nivel mundial*. FEDEMADERAS: <https://fedemaderas.org.co/la-deforestacion-un-grave-problema-a-nivel-mundial/>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). *Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS)*. <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/agroforestry/basic-knowledge/es/>
- Gallo, O., Loaiza, J., Gutiérrez, B., Peña, A., & Bernal, J. (2024). Identifying Climatic Change Adaptations of Crops in Orinoco Basin Oxisols Through Study of Soil Water Availability . *Journal of Ecological Engineering* , 25(5), 114-133. <https://doi.org/10.12911/22998993/183553>
- García, C., Vallejo, G., Higgins, M., & Escobar, E. (2016). *El acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: https://archivo.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/documentos_tecnicos_s_oporte/As%C3%AD_actuar%C3%A1_Colombia_frente_al_cambio_clim%C3%A1tico.pdf
- Global Forest Watch (GFW). (2024). *Meta, Colombia Deforestation Rates & Statistics*. Global Forest Watch (GFW). <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/COL/20/?category=summary&dashboardPrompts=eyJzaG93UHJvbXB0cyI6dHJ1ZSwicHJvbXB0c1ZpZXdlZCI6WyJkYXNoYm9hcmRBbmFseXNlcyIsImRvd25sb2FkRGFzaGJvYXJkU3RhdHMiLCJzaGFyZVdpZGdldCJdLCJzZXR0aW5ncyI6eyJzaG93UHJvbXB0>
- Gupta, S., Dagar, J., Weldesemayat, G., & Chaturvedi, R. (2023). Agroforestry for Rehabilitation of Degraded Landscapes: Achieving Livelihood and Environmental Security. In S. Gupta, J. Dagar, G. Weldesemayat, & R. Chaturvedi, *Agroforestry for Rehabilitation of Degraded Landscapes* (pp. 23–68). Springer. https://link-springer-com.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/chapter/10.1007/978-981-19-4602-8_5
- Gutiérrez Vanegas, A. J. (2014). Aportes a la rehabilitación ecosistémica de áreas riparias con énfasis en calidad de suelos y producción dendroenergética por medio de arreglos agroforestales en zonas ganaderas del Piedemonte Llanero. *[Trabajo de grado,*

- Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales*]. Repositorio Institucional. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/238>
- 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>
- Hancock, L. (11 de junio de 2019). *La degradación de los bosques: por qué afecta a las personas y la vida silvestre*. WWF: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/la-degradacion-de-los-bosques-por-que-afecta-a-las-personas-y-la-vida-silvestre>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). *Climate Change and Land*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Jaramillo Vélez, W., & Sánchez Supelano, L. (2020). Publicación: Política forestal nacional a partir de modelos de gobernanza ambiental local: análisis de casos municipios de Suesca y Chipaque - Bogotá periferia Norte y Sur. [Trabajo de grado, *Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales*]. Repositorio Institucional. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3664>
- Kaur, A., Gowtham, R., Nayak, P., Babina, K., Upadhyay, L., Kumar, A., . . . Yousuf, M. (2023). The Role of Agroforestry in Soil Conservation and Sustainable Crop Production: A Comprehensive Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), 3089-3095. <https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113478>
- Kouassi, J.-L., Kouassi, A., Yeboi Bene, Konan, D., Tondoh, E., & Kouame, C. (2021). *Exploring Barriers to Agroforestry Adoption by Cocoa Farmers in South-Western Côte d'Ivoire*. <https://doi.org/10.3390/su132313075>
- Lozano, M., Rodríguez, G., Domínguez, O., & Gómez, J. (2019). Los servicios ecosistémicos en manglares: beneficios a la resiliencia del ecosistema ante cambios climáticos, a la comunidad y su desarrollo local. *Revista Metropolitana*, 2(2), 120-127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9240285>
- Martínez, A., & García, F. (2018). *Sistemas agroforestales en caucho :alternativa sostenible para la Orinoquía Colombiana*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/749>
- Mazo, N., Rubiano, J., & Castro, A. (2016). Sistemas agroforestales como estrategia para el manejo de ecosistemas de Bosque seco Tropical en el suroccidente colombiano utilizando

- los SIG. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 25(1), 65-77. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v25n1.41993>
- Murniati, Suharti, S., Minarningsih, Nuroniah, H., Rahayu, S., & Dewi, S. (2022). What Makes Agroforestry a Potential Restoration Measure in a Degraded Conservation Forest? *Forests*, 13(267), 1-17. <https://doi.org/10.3390/f13020267>
- National Geographic. (20 de marzo de 2024). *Deforestación, todavía se puede frenar esta crisis climática*. National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/deforestacion>
- Ngo, M., Souza, M., Roda, J., Boissiere, M., Herault, B., Guizol, P., . . . Sist, P. (2021). Relevance of secondary tropical forest for landscape restoration. *Forest Ecology and Management*, 493(119265), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119265>
- Núñez, M., Dell'Amico, J., Pérez, M., & Betancourt, M. (2017). Estrés hídrico y salino en cítricos. Estrategias para la reducción de daños. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 65-74. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362017000400004&script=sci_arttext
- Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA). (07 de octubre de 2021). *Pacto de Leticia: países amazónicos respaldan el fortalecimiento de la OTCA*. (OTCA: <https://otca.org/pacto-de-leticia-los-gobiernos-de-paises-amazonicos-respaldaron-el-fortalecimiento-de-la-otca/#:~:text=El%20Pacto%20de%20Leticia%20fue,naturales%20de%20la%20Regi%C3%B3n%20Amaz%C3%B3nica>
- Osma Lozano, B., & Peña Ortiz, M. (2024). Valoración económica ambiental de los efectos en la salud humana por las emisiones de material particulado PM2.5 y PM10 en el área urbana de Villavicencio. *[Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]*. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/11634/56309>
- Pérez, A., Regil García, H. H., & Mas Caussel, J. F. (2020). *Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México*. <https://doi.org/10.14350/rig.60150>
- Pimentel, J., Rogéliz, C., & Walschburger, T. (2021). Hydrological Modeling for Multifunctional Landscape Planning in the Orinoquía Region of Colombia. *Frontiers in Environmental Science*, 9(1), 1-17. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.673215>

- Plaza Agredo, S., & Romero Jaramillo, D. P. (2021). Estrategia participativa para la evaluación de los servicios ecosistémicos, la gestión y rehabilitación de ecosistemas riparios: una experiencia en el magdalena medio santandereano. *[Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Occidente]*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10614/14089>
- Qu, X., Li, X., Bardgett, R., Kuzyakov, Y., Revillini, D., Sonne, C., . . . Cao, F. (2024). Deforestation impacts soil biodiversity and ecosystem services worldwide. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(13). <https://doi.org/10.1073/pnas.2318475121>
- Ramírez, N., Fontanilla, C., Pardo, L., Delgado, T., Munar, D., Wicke, B., . . . Faaij, A. (2022). Integral analysis of environmental and economic performance of combined agricultural intensification & bioenergy production in the Orinoquía region. *Journal of Environmental Management*, 303(114137), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114137>
- Rendón, F., Casas, A., Moreno, A., Torres, I., & García, E. (2020). Traditional Agroforestry Systems and Conservation of Native Plant Diversity of Seasonally Dry Tropical Forests. *Sustainability*, 12(11), 1-27. <https://doi.org/10.3390/su12114600>
- Rosero, D. (2018). Recuperación de áreas ambientalmente degradadas, mediante el establecimiento de sistemas agroforestales como alternativa al cumplimiento de medidas de compensación en el departamento de Casanare. *[Trabajo de grado, Universidad de Manizales]*. Repositorio Institucional. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/4118>
- Sahoo, G., Wani, A., Sharma, A., & Rout, S. (2020). Agroforestry for Forest and Landscape Restoration. *International Journal of Advance Study and Research Work*, 9(1), 536-542. https://www.researchgate.net/publication/344316074_Agroforestry_for_Forest_and_Landscape_Restoration/citations
- Shimamoto, C., Padial, A., Rosa, C. d., & Marques, M. (2018). Restoration of ecosystem services in tropical forests: A global meta-analysis. *Plos One*, 13(12), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208523>
- Tranchina, M., Reubens, B., Frey, M., Mele, M., & Mantino, A. (2024). What challenges impede the adoption of agroforestry practices? A global perspective through a systematic literature review. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-00993-w>

- Truitt, G., & Thurow, R. (2018, julio 4). *Orinoquía, en los ojos del mundo*. The Nature Conservancy: <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestra-vision/perspectivas/Orinoquía-ojos-mundo/>
- Ulman, Y., Sharma, M., & Kumar, A. (2018). Agroforestry Systems as Habitat for Avian Species: Assessing Its Role in Conservation. *Proceedings of the Zoological Society*, 71(2), 127-145. <https://doi.org/10.1007/s12595-016-0198-3>
- Universidad Nacional de Colombia (UNAL). (18 de enero de 2021). *Deforestación amenaza a la Orinoquía*. Universidad Nacional de Colombia: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/deforestacion-amenaza-a-la-Orinoquia#:~:text=El%20aumento%20de%20la%20deforestaci%C3%B3n,de%20esta%20regi%C3%B3n%20de%20Colombia.>
- Valdés, M., Díaz, K., Rodríguez, Y., & Hernández, H. (2024). Sistemas agroforestales en la Región Amazónica Ecuatoriana. *Ciencia Latina*, 8(1), 8587-8613. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10185
- Vanegas, S., Ospina, O., Escobar, G., Ramírez, W., & Sánchez, J. (2015). *Plan Nacional de Restauración: Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistematicos/gestion-en-biodiversidad/restauracion-ecologica>
- Villa, P., Rodrigues, A., Martins, S., Oliveira, S., Guerrero, A., & Riera, A. (2021). Reducing intensification by shifting cultivation through sustainable climate-smart practices in tropical forests: A review in the context of UN Decade on Ecosystem Restoration. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3(100058), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100058>
- World Wildlife Fund (WWF). (09 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>
- World Wildlife Fund (WWF). (14 de febrero de 2024). *Los devastadores impactos de la deforestación en Colombia*. World Wildlife Fund (WWF): <https://www.wwf.org.co/?386550/deforestacion-colombia-causas-consecuencias>