

**Aportes de los sistemas agroforestales a la sostenibilidad ambiental en el departamento del  
Meta**

Pedro Antonio Vanegas Velázquez

Asesor

Jair Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente - ECAPMA

Agronomía

2025

### **Dedicatoria**

Dedico con todas las fuerzas de mi corazón mi tesis primero a Dios por darme la oportunidad de estudiar, a mi madre por apoyarme en todo momento y no dejarme desfallecer en los momentos difíciles que se me presentaron en el transcurso de este camino académico. También dedico esta tesis a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (ECAPMA) sede de Acacías Meta, por facilitarme sus instalaciones y profesionales que me acompañaron en este camino de aprendizaje, en especial al ingeniero Jair Vargas (director de grado) que me han apoyado y dirigido en el desarrollo de este documento.

### **Agradecimientos**

Por este medio quiero agradecer primero a Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo de investigación sobre la importancia del aporte agroforestal en la sostenibilidad ambiental con el fin de disminuir la deforestación y al mismo tiempo seguir trabajando con la producción de alimentos. También le quiero agradecer a mi madre por apoyarme en este proyecto de aprendizaje profesional y darme fuerzas en los momentos que me desanimaba.

Por último y no menos importante agradecerle a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Agrícolas y Pecuarias (ECAPMA) sede de Acacías Meta por permitirme ser miembro de su institución, por apoyarme con ofrecerme sus instalaciones, sus laboratorios y con los tutores profesionales que me compartieron sus conocimientos que de ese modo me apoyaron en mi crecimiento académico y profesional (Agrónomo) y alcanzar esta meta tan anhelada.

Agradezco puntualmente al ingeniero Jair Vargas que es mi director de grado que me ha apoyado en el desarrollo de este documento.

## Resumen

Esta monografía analiza las contribuciones de los sistemas agroforestales (SAF) a la sostenibilidad ambiental en el departamento del Meta (Colombia) a través de una revisión bibliográfica cualitativa, no experimental, transversal y retrospectiva. Se sistematizó evidencia secundaria publicada principalmente entre 2015 y 2025 (con contexto conceptual previo cuando fue relevante) a partir de literatura científica, técnica e institucional. Los resultados se organizan en tres frentes: (I) identificación y caracterización de prácticas relevantes para el Meta: cacao de sombra, café de sombra y sistemas silvopastoriles (cercas vivas, franjas riparias y cortavientos); (II) efectos ambientales: mejoramiento del suelo (más carbono orgánico, mejor estructura e infiltración, menos erosión), aumento de la biodiversidad (diversidad y conectividad funcional) y almacenamiento de carbono (biomasa leñosa y carbono del suelo), con cobeneficios hidrológicos (mejor infiltración y menor escorrentía); y (III) determinantes de la implementación y la sostenibilidad: decisiones técnicas (diseño multicapa, densidades, poda, gestión de residuos), decisiones ambientales (adaptación específica al sitio y análisis de microcuencas) y decisiones institucionales (capacitación, alianzas, incentivos y monitoreo con indicadores simples). Se propone una ruta de transición basada en matrices de transición y un conjunto mínimo de indicadores para el monitoreo operativo. Todas las medidas citadas se derivan de las fuentes revisadas; no se recopilieron datos primarios ni se realizó un metaanálisis. Es así como, los SAF se destacan como una solución basada en la naturaleza para aumentar la sostenibilidad ambiental del Meta, sujeta a apoyo institucional y gobernanza del monitoreo.

**Palabras clave:** Sistemas agroforestales, Meta (Colombia), sostenibilidad ambiental, suelo, biodiversidad, carbono, servicios hidrológicos, gobernanza ambiental.

## Abstract

This monograph analyzes the contributions of agroforestry systems (AFS) to environmental sustainability in the department of Meta (Colombia) through a qualitative, non-experimental, cross-sectional, and retrospective literature review. Secondary evidence published mainly between 2015 and 2025 (with prior conceptual context when relevant) was systematized from scientific, technical, and institutional literature. The results are organized into three fronts: (i) identification and characterization of practices relevant to Meta: shade-grown cocoa, shade-grown coffee, and silvopastoral systems (living fences, riparian strips, and windbreaks); (ii) environmental effects: soil improvement (more organic carbon, better structure and infiltration, less erosion), increased biodiversity (diversity and functional connectivity), and carbon storage (woody biomass and soil carbon), with hydrological co-benefits (better infiltration and lower runoff); and (iii) determinants of implementation and sustainability: technical decisions (multi-layer design, densities, pruning, waste management), environmental decisions (site-specific adaptation and micro-watershed analysis), and institutional decisions (training, partnerships, incentives, and monitoring with simple indicators). A transition pathway based on transition matrices and a minimum set of indicators for operational monitoring is proposed. All measures cited are derived from the reviewed sources; no primary data was collected, nor was a meta-analysis conducted. In summary, SAFs stand out as a nature-based solution to increase the environmental sustainability of Meta, subject to institutional support and monitoring governance.

**Keywords:** Agroforestry systems, Meta (Colombia), environmental sustainability, soil, biodiversity, carbon, hydrological services, environmental governance.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	11
Justificación .....	14
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco Referencial.....	19
Marco Conceptual.....	19
Sistemas Agroforestales (SAF).....	19
Sostenibilidad Ambiental.....	21
Marco Normativo e Institucional en Colombia .....	23
Contexto Ambiental del Departamento del Meta.....	26
Experiencias Previas y Estudios Relevantes sobre SAF.....	28
Relación entre Agroecología, Agroforestería y Desarrollo Sostenible .....	30
Marco Teórico.....	31
Fundamentos Teóricos de los Sistemas Agroforestales .....	31
Bases Científicas de la Sostenibilidad Ambiental.....	34
Teorías del Cambio Ambiental y Restauración Ecológica.....	35
Agroecología como Marco Integrador.....	37
Servicios Ecosistémicos Asociados a los SAF.....	39
Experiencias Territoriales de SAF en Colombia.....	41
Metodología .....	43
Enfoque Metodológico.....	43

Tipo de Investigación.....	43
Diseño Metodológico.....	43
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	44
Fuentes de Datos.....	44
Criterios de Inclusión y Exclusión.....	45
Rango Temporal.....	45
Proceso de Búsqueda y Selección.....	45
Criterios de Análisis.....	46
Procesamiento y Análisis de Datos.....	46
Limitaciones.....	47
Resultados.....	48
Prácticas Agroforestales en el Meta: Identificación y Caracterización Documental .....	52
Efectos Ambientales de los Sistemas Agroforestales: Suelo, Biodiversidad y Carbono ..	58
Cómo se Evalúan los Efectos.....	58
Suelo: Estructura, Protección y Productividad .....	58
Biodiversidad: Especies y Mayor Funcionalidad .....	59
Carbono y Mitigación: Sumideros con Co-Beneficios .....	60
Agua como Contexto para el Meta .....	60
Evidencia Transversal: Producción y Clima.....	61
Lectura Integrada para el Meta .....	61
Determinantes de Implementación y Sostenibilidad: Factores Técnicos, Ambientales e Institucionales en el Meta .....	62
Marcos y Herramientas para Transitar hacia SAF .....	62

Determinantes Técnicos: del Diseño al Manejo Operativo .....	63
Adecuación Ambiental y Lectura del Paisaje .....	64
Arreglos Institucionales y Gobernanza del Monitoreo .....	64
Ruta de Implementación para el Meta .....	65
Conclusiones .....	67
Recomendaciones .....	69
Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 1 .....	69
Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 2 .....	69
Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 3 .....	69
Referencias Bibliográficas .....	71

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Diagrama de Flujo PRISMA Adaptado a la Revisión Bibliográfica sobre SAF en Meta (2015-2025)</i> .....	45
<b>Tabla 2</b> <i>Matriz de Revisión Documental</i> .....	48
<b>Tabla 3</b> <i>Matriz Comparativa de Experiencias Agroforestales en el Meta (2015-2025)</i> .....	52
<b>Tabla 4</b> <i>Síntesis Compacta de Prácticas Agroforestales en el Meta (Tipología, Manejo/Componentes y Servicios Predominantes)</i> .....	57
<b>Tabla 5</b> <i>Resumen por Tipología de los SAF en el Meta (Número de Prácticas y Manejos Comunes)</i> .....	57

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b>	<i>Ruta SAF Secuencia Escalonada para Implementar SAF en el Meta</i> .....	66
<b>Figura 2</b>	<i>Soporte Institucional Transversal. Extensión, Asociatividad, Instrumentos e Indicadores que Habilitan, Escalan y Mantienen la Ruta SAF</i> .....	66

## Introducción

El departamento del Meta enfrenta crecientes tensiones entre la expansión agrícola, la degradación del suelo, la pérdida de cobertura vegetal y la presión sobre los servicios ecosistémicos. En este contexto, los sistemas agroforestales (SAF) han surgido como una solución basada en la naturaleza capaz de coordinar la producción y la conservación mediante la integración intencional de árboles, cultivos y, en algunos casos, ganado dentro de una única unidad de gestión. Sin embargo, su adopción en el Meta ha sido desigual y la información disponible es escasa, lo que dificulta traducir su potencial ecológico en orientación práctica y políticas públicas.

Esta monografía cubre esta brecha mediante una revisión bibliográfica cualitativa, no experimental, transversal y retrospectiva que sistematiza la literatura científica, técnica e institucional publicada principalmente entre 2015 y 2025. El estudio se centra en tres ejes analíticos: (i) la identificación y caracterización de prácticas relevantes en el Meta (cacao y café de sombra, y desarrollos silvopastoriles); (ii) la evaluación de sus efectos ambientales sobre los suelos, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono, considerando el agua como variable contextual; y (iii) los determinantes técnicos, ambientales e institucionales que condicionan su implementación y sostenibilidad a escala de finca y microcuenca. No se recopilaron ni metaanalizaron datos primarios; todos los indicadores citados provienen de las fuentes revisadas.

El objetivo general es analizar, utilizando datos secundarios, la contribución de los SAF a la sostenibilidad ambiental del Meta. Como contribución aplicada, se propone una ruta de transición basada en matrices de transición y un conjunto mínimo de indicadores operativos de monitoreo (p. ej., carbono orgánico del suelo, infiltración/escorrentía, cobertura vegetal y densidad arbórea por función). Esta propuesta busca facilitar las decisiones de gestión adaptativa

y coordinar las acciones de productores, extensionistas e instituciones desde una perspectiva paisajística.

El documento se organiza en tres capítulos de resultados: el Capítulo I caracteriza las prácticas agroforestales prioritarias; el Capítulo II resume sus efectos ambientales y cobeneficios; y el Capítulo III integra los factores de implementación en las herramientas de planificación y gobernanza del monitoreo. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones para la expansión de los SAF en el Meta mediante capacitación, acuerdos de colaboración e instrumentos de incentivos, considerando las limitaciones de los datos y la necesidad de líneas base comparables.

Finalmente, el análisis identificó tres familias de prácticas particularmente relevantes para Meta: el cultivo de cacao y café bajo sombra, y los sistemas silvopastoriles (cercas vegetales, franjas ribereñas de amortiguamiento y bancos de forraje). Se demostraron contribuciones consistentes a la conservación del suelo (reducción de la erosión, aumento de la infiltración), la biodiversidad (hábitats y conectividad) y el almacenamiento de carbono (biomasa leñosa y carbono orgánico del suelo), con cobeneficios para la resiliencia microclimática. El agua se consideró una variable transversal en la regulación hidrológica.

La adopción y sostenibilidad de estos sistemas dependen de las condiciones técnicas, ambientales e institucionales (diseño y funciones del sitio, capacidad de gestión, asistencia técnica, alianzas e incentivos). Por lo tanto, se propone una transición gradual y un conjunto mínimo de indicadores para el monitoreo local. El estudio cualitativo, sin datos primarios, consolida evidencia dispersa, sugiere prioridades de intervención (cobertura vegetal, sombra diversificada, árboles multiuso, manejo adaptativo) y destaca la necesidad de monitoreo de la

gobernanza para adaptar los SAF a escala de finca y microcuenca, considerándolos como una herramienta costo-efectiva para conciliar productividad y sostenibilidad en el Meta.

El documento está estructurado en cuatro secciones principales: una justificación del estudio; un marco referencial que discute los fundamentos conceptuales, teóricos y normativos; una sección de metodología con una revisión de documentos; y una sección de resultados que está organizada de acuerdo a los objetivos específicos. Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones, dirigidas a la sostenibilidad de los sistemas agroforestales en el Meta.

## Justificación

El deseo de avanzar hacia modelos de producción respetuosos con el medio ambiente que respeten los procesos ecológicos se ha visto aliviado en las últimas décadas por la creciente preocupación por los ecosistemas derivados de las actividades agrícolas. Esta situación es especialmente significativa en zonas con alta biodiversidad y entornos frágiles, como el departamento del Meta en Colombia. Esta región, conocida por su riqueza natural y su importancia estratégica a lo largo del río Orinoco, ha experimentado una expansión constante de la agricultura de primera línea, la intensificación de la ganadería y la deforestación. Estas dinámicas han provocado la degradación progresiva del suelo, la pérdida de la cobertura vegetal, la reducción de los servicios ecosistémicos y la alteración de las regiones hidrológicas (Abril, 2011; Durana et al., 2024).

En este contexto, los sistemas agrícolas sostenibles (SAF) surgen como alternativas viables y resilientes para abordar los problemas ambientales. El SAF facilita la gestión de todo el territorio al combinar árboles, cultivos y ganado caprino en una sola unidad productiva. Esto aumenta no solo la productividad, sino también la preservación de los recursos naturales y el equilibrio ecológico (Mendieta y Rocha, 2007; Souza et al., 2023). Sin embargo, en el Meta, su implementación aún es incipiente y, en muchos casos, carece de una organización y evaluación rigurosas, lo que limita la generación de evidencia de sus beneficios y dificulta la formulación de políticas públicas efectivas.

Desarrollar modelos de desarrollo rural equilibrados resulta difícil cuando se desconocen las verdaderas contribuciones de los SAF al medio ambiente. Si bien estudios recientes demuestran su potencial para la mejora del suelo, la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la captura de carbono (Valdés-Velarde et al., 2022; Velasquez-

Vasconez et al., 2024), aún existe una brecha significativa entre la teoría y la práctica, especialmente en lugares con características ecológicas únicas como el Meta. Por consiguiente, es fundamental adoptar una perspectiva territorial para evaluar el verdadero alcance y las restricciones que imponen estos sistemas.

A nivel país (Colombia), investigaciones como las de Fonseca Carreño (2021) y Mesa Valencia Hendrickson (2024) han destacado el papel de la agroecología y los SAF en la transformación de las zonas rurales hacia modelos sostenibles. Sin embargo, estos avances han sido desiguales. En la región del Meta, el desarrollo rural se ha vinculado históricamente a la ganadería extensiva y la agricultura convencional, prácticas que han agravado la degradación ambiental. Por lo tanto, es necesario identificar opciones productivas que combinen conservación y producción, reconociendo el potencial de los SAF como estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático (Belmin et al., 2023).

De manera similar, las limitaciones institucionales, técnicas y ambientales han agravado el problema. Según García Verdezoto (2022) y Poveda & Salcedo (2024), las políticas gubernamentales y los marcos regulatorios han demostrado deficiencias en la promoción de prácticas agroforestales viables. La falta de capacitación especializada, la falta de difusión de conocimientos técnicos y la escasez de herramientas para evaluar el desempeño ambiental de los sistemas agroforestales dificultan su adopción efectiva en zonas como el Meta (Pinzón Pinto y Millán Delgado, 2025). Esta complejidad requiere un plan ambiental sólido y un fortalecimiento institucional decisivo.

Desde una perspectiva científica, la producción de investigación aplicada que documente los efectos de los sistemas agroforestales en la sostenibilidad ambiental constituyen una contribución esencial. Estudios recientes sobre sistemas de producción rural (Ojeda et al., 2024)

y cultivos como el café (Rueda Rodríguez et al., 2024) destacan la importancia de evaluar indicadores específicos, como el almacenamiento de carbono, la biodiversidad funcional y la calidad del suelo. Por lo tanto, la información empírica localizada es esencial para respaldar la toma de decisiones técnicas y políticas.

El propósito de la investigación es examinar cómo los sistemas agroforestales del Departamento del Meta contribuyen a la sostenibilidad ambiental. Mediante un enfoque contextualizado, se busca documentar prácticas exitosas y definir recomendaciones para apoyar la transición agroecológica de la región. (De la Hoz et al., 2024; Vega-Martínez et al., 2024).

A raíz de ello, esta investigación se justifica por su relevancia científica, ambiental e institucional. En primer lugar, busca contribuir a la generación de conocimiento sobre los impactos reales de los SAF en contextos específicos, mediante datos empíricos útiles para investigadores, profesionales del sector rural, organizaciones sociales y formuladores de políticas. En segundo lugar, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular el ODS 13 (Acción por el Clima) y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres), al promover prácticas que contribuyen a la restauración y conservación de los ecosistemas (Hernández-Vergel et al., 2024; Santos et al., 2022).

De igual forma, el estudio también busca visibilizar los conocimientos locales, las prácticas tradicionales y las iniciativas comunitarias, que a menudo quedan excluidas de los discursos oficiales sobre desarrollo rural. Como señalan Souza et al. (2023) y Vivas-García & Acevedo-Osorio (2023), la agroecología y la agroforestería deben entenderse no solo como sistemas productivos, sino también como propuestas ecológicas y culturales que transforman la relación entre las comunidades y la naturaleza. En este sentido, la investigación representa una

oportunidad para conectar el conocimiento científico con el conocimiento rural, fortaleciendo así los procesos de gobernanza ambiental local.

En definitiva, explorar el papel de los sistemas agroforestales en la sostenibilidad ambiental en el Meta no es sólo un desafío académico sino también un compromiso ético y práctico con el presente y el futuro de las poblaciones rurales colombianas.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Analizar, a partir de una revisión documental, los aportes de los sistemas agroforestales a la sostenibilidad ambiental en el departamento del Meta.

### **Objetivos Específicos**

Identificar, con base en la literatura especializada, las principales prácticas agroforestales documentadas en el departamento del Meta.

Evaluar los efectos ambientales atribuidos a los sistemas agroforestales en términos de conservación del suelo, biodiversidad y almacenamiento de carbono.

Evaluar los factores técnicos, ambientales e institucionales que, según los datos disponibles, influyen en la implementación y sostenibilidad de estos sistemas en la región.

## Marco Referencial

### Marco Conceptual

#### *Sistemas Agroforestales (SAF)*

Son una estrategia de gestión del uso del suelo que integra, en una única unidad espacial y temporal, componentes vegetales leñosos (como árboles y arbustos), cultivos agrícolas y, en algunos casos, especies animales. Esta integración busca generar sinergias ecológicas y productivas que promuevan tanto la sostenibilidad ambiental como el bienestar de las comunidades rurales. Una de las características distintivas de los SAF es su alta diversidad biológica, que los hace resilientes a las perturbaciones climáticas, a la vez que permite la producción simultánea de múltiples bienes y servicios ecosistémicos (Mendieta y Rocha, 2007; Souza et al., 2023). Desde esta perspectiva, los SAF promueven una visión holística del territorio, donde la actividad agrícola se desarrolla en estrecha conexión con los procesos naturales, y no como una acción aislada dentro del ecosistema.

Estos sistemas se clasifican, según su composición y uso, en tres tipos principales: sistemas agroforestales, que combinan especies agrícolas con árboles; sistemas silvopastoriles, que integran árboles y pastos para la gestión ganadera; y sistemas agrosilvopastoriles, que combinan simultáneamente cultivos, árboles y ganado en la misma parcela. Esta diversidad estructural y funcional permite que los sistemas agroforestales se adapten a diferentes condiciones ecológicas, culturales y productivas, ofreciendo una gran versatilidad para su aplicación en diferentes territorios (Mendieta y Rocha, 2007; Abril, 2011). En contextos como el departamento del Meta, los sistemas silvopastoriles son particularmente importantes, ya que la ganadería es una de las principales actividades económicas, pero también la que ejerce mayor presión sobre los suelos y bosques de la región.

El funcionamiento ecológico de los sistemas agroforestales se basa en principios como la diversificación funcional, el reciclaje de nutrientes, la protección contra la erosión del suelo, la regulación del ciclo hidrológico y la integración vertical y horizontal de especies vegetales. Estos principios permiten que los sistemas agroforestales no solo optimicen el uso de los recursos naturales, sino que también generen mayor estabilidad ante eventos adversos como sequías, plagas o fluctuaciones de precios de mercado (Souza et al., 2023). A diferencia de los modelos de monocultivo intensivo, que suelen implicar altos niveles de degradación ambiental y una fuerte dependencia de insumos externos, los sistemas de agricultura de conservación ofrecen una alternativa equilibrada entre producción y conservación (Fonseca Carreño, 2021).

En cuanto a los beneficios ambientales, la evidencia científica ha demostrado ampliamente el impacto positivo de los sistemas de agricultura de conservación. Por ejemplo, estudios como los de Valdés-Velarde et al. (2022) destacan su capacidad para aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. De igual manera, investigaciones como las de Canul-Solis et al. (2018) destacan que estos sistemas mejoran la calidad del forraje, incrementan la productividad agrícola general y reducen la presión sobre los ecosistemas naturales. Otro aspecto destacable es su papel en la conservación de la biodiversidad, ya que, al generar paisajes heterogéneos y complejos, los sistemas de agricultura de conservación proporcionan hábitats adecuados para la fauna silvestre, incluyendo polinizadores y fauna auxiliar (Costa et al., 2020).

En el contexto colombiano, los sistemas agroforestales (SAF) se han integrado gradualmente en los programas de desarrollo rural sostenible y conservación ambiental. Sin embargo, su adopción aún enfrenta importantes desafíos técnicos, institucionales y financieros. Las experiencias documentadas por Durana et al. (2024) en las regiones altoandinas muestran

que es posible avanzar hacia sistemas ganaderos sostenibles mediante prácticas agroforestales, siempre que se cumplan las condiciones favorables, como el acceso a asistencia técnica, recursos financieros y apoyo institucional. En el departamento del Meta, a pesar del importante potencial para el desarrollo de este tipo de sistemas, su implementación sigue siendo limitada, lo que contrasta con la urgente necesidad de revertir los procesos de degradación ambiental que afectan a la región.

Por todas estas razones, considerar los sistemas agroforestales no solo como una forma alternativa de producción agrícola, sino también como una estrategia integral para la gestión de los paisajes rurales nos permite ampliar nuestra perspectiva hacia modelos de desarrollo territorial sostenibles. Esta visión es particularmente relevante en contextos como el Meta, donde las dinámicas extractivas y la presión sobre los recursos naturales requieren urgentemente soluciones que integren la productividad, la conservación ambiental y la resiliencia ecológica.

### ***Sostenibilidad Ambiental***

La sostenibilidad ambiental se refiere a la capacidad de los sistemas naturales y humanos de mantenerse funcionales a lo largo del tiempo, preservando sus características ecológicas esenciales, su biodiversidad y su capacidad de regeneración. En la producción agrícola, este concepto implica lograr un equilibrio dinámico entre las actividades productivas y la conservación de los recursos naturales, garantizando así el bienestar de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de beneficiarse de los mismos bienes y servicios ecosistémicos (Belmin et al., 2023).

En el enfoque de los sistemas agroforestales (SAF), la sostenibilidad ambiental se expresa mediante prácticas orientadas al uso eficiente y racional del suelo, la conservación del agua, la reutilización de la materia orgánica, el aumento de la biodiversidad y la mitigación de

los efectos del cambio climático (Poveda y Salcedo, 2024). Estos elementos no deben considerarse complementarios, sino esenciales para evaluar el desempeño de un SAF, en particular en zonas de alta vulnerabilidad ambiental, como el departamento del Meta, donde la degradación del suelo y la deforestación amenazan seriamente la viabilidad ecológica de la región.

La evaluación de la sostenibilidad ambiental de los sistemas agroforestales se basa en una serie de indicadores que permiten analizar el comportamiento ecológico del sistema a lo largo del tiempo. Entre los relevantes se encuentran:

- **Conservación y restauración del suelo:** Los SAF contribuyen significativamente a reducir la erosión, mejorar la estructura y la fertilidad del suelo y aumentar el contenido de materia orgánica. Esto se logra principalmente mediante la presencia de una cobertura vegetal permanente y el retorno constante de residuos orgánicos al suelo (Ojeda et al., 2024).
- **Biodiversidad:** La diversidad de especies vegetales presentes en las selvas tropicales crea condiciones favorables para el desarrollo de comunidades biológicas complejas. Esta heterogeneidad promueve procesos ecológicos esenciales como la polinización, el control biológico natural y una mayor resiliencia a las perturbaciones ambientales (Costa et al., 2020).
- **Secuestro de carbono:** La integración de especies arbóreas en sistemas agroforestales permite el secuestro de carbono en la biomasa aérea y del suelo. Este servicio ecosistémico se ha documentado ampliamente en diferentes tipos de sistemas agroforestales, incluyendo los sistemas de café, como una herramienta relevante para la mitigación del cambio climático (Valdés-Velarde et al., 2022; Rueda Rodríguez et al., 2024).
- **Regulación hídrica y del microclima:** La vegetación arbórea influye positivamente en el ciclo hidrológico al mejorar la infiltración del agua en el suelo, reducir la escorrentía

superficial y contribuir a la regulación de la temperatura y la humedad en el ambiente, generando condiciones estables para los cultivos y otros componentes del sistema (Camacho, 2023).

Más allá de estos indicadores, evaluar la sostenibilidad ambiental de un SAF también implica considerar aspectos como la permanencia de las prácticas en el tiempo, su adaptabilidad a las condiciones locales y su capacidad para generar interacciones sinérgicas entre los diferentes componentes del sistema. En este sentido, la agroecología ofrece un marco teórico y metodológico para comprender los SAF como sistemas complejos, en los que convergen e interactúan dinámicamente elementos ecológicos, técnicos y culturales (Souza et al., 2023).

En Colombia, la transición hacia modelos de producción ambientalmente sostenibles ha sido reconocida en diversas políticas públicas, incluyendo estrategias de restauración ecológica, planes de ordenamiento territorial y compromisos asumidos en el marco de la agenda climática global. Sin embargo, como señalan Mesa Valencia y Hendrickson (2024) estos marcos regulatorios e institucionales a menudo carecen de mecanismos efectivos para adaptarse a las realidades específicas de los territorios. Por lo tanto, la implementación de SAF con criterios de sostenibilidad ambiental requiere no solo innovaciones técnicas, sino también procesos de planificación territorial participativa y un fuerte compromiso institucional que facilite la integración de las políticas públicas, el conocimiento local y las necesidades ecológicas del territorio.

### ***Marco Normativo e Institucional en Colombia***

La implementación y consolidación de los sistemas agroforestales (SAF) en Colombia se ve profundamente influenciada por el marco regulatorio e institucional que rige el uso del suelo, la producción agrícola y la protección del medio ambiente. Si bien en las últimas décadas se han logrado avances significativos en la formulación de políticas orientadas a la sostenibilidad

ambiental, persisten importantes limitaciones en cuanto a la coordinación entre los diferentes niveles de gobierno, el acceso a incentivos y el desarrollo de capacidades técnicas locales (Poveda y Salcedo, 2024).

A nivel nacional, instrumentos como el Plan Nacional de Restauración Ecológica, el Plan Nacional de Desarrollo Rural Integral y los compromisos climáticos asumidos en el marco del Acuerdo de París ofrecen una orientación favorable para la promoción de las prácticas agroforestales. Sin embargo, como señalan Mesa Valencia y Hendrickson (2024) muchas de estas iniciativas carecen de mecanismos claros de implementación, y los recursos disponibles no siempre llegan eficazmente a las comunidades rurales que los necesitan.

En el caso específico del departamento del Meta, existe una tensión constante entre la promoción del desarrollo agrícola y la preservación del medio ambiente. Esta dualidad se refleja en políticas sectoriales que, si bien reconocen los beneficios de los SAF, rara vez se traducen en acciones concretas y coordinadas que faciliten su adopción (Durana et al., 2024). La existencia de múltiples instituciones con funciones similares o superpuestas agrava las brechas en la gobernanza ambiental y dificulta el desarrollo de modelos sostenibles a largo plazo.

Los incentivos existentes para promover la agroforestería en Colombia incluyen pagos por servicios ambientales, certificación orgánica y programas de asistencia técnica. Sin embargo, su alcance sigue siendo limitado, especialmente en zonas rurales vulnerables o con alto potencial agroecológico (Pinzón Pinto y Millán Delgado, 2025). A esto se suma un desajuste persistente entre el conocimiento generado por la academia y las necesidades prácticas de los productores, lo que dificulta la transferencia efectiva de tecnologías y conocimientos útiles para el fortalecimiento de los SAF.

En este contexto, el fortalecimiento institucional a nivel local y regional es urgente, en particular en zonas como el Meta, donde las condiciones sociales, ecológicas y productivas requieren enfoques diferenciados. Al respecto, Hernández-Vergel et al. (2024) argumentan que el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) depende en gran medida de una gobernanza ambiental participativa que conecte efectivamente a las comunidades, las instituciones, la academia y el sector privado.

De igual manera, experiencias como la del Parque Natural Regional Las Tangaras De la Hoz et al. (2024) demuestran el potencial transformador de las iniciativas de conservación comunitaria y cogestión territorial. Estas pueden complementarse con prácticas agroforestales para generar impactos positivos y sinérgicos en la sostenibilidad. Para lograrlo, es necesario no solo adaptar la normativa vigente, sino también diseñar políticas públicas inclusivas, coherentes y adaptables ante el cambio climático y las dinámicas territoriales específicas de regiones como el Meta.

Es por esto por lo que, el marco institucional colombiano representa tanto una oportunidad como un obstáculo para el desarrollo de sistemas agroforestales. Para que este entorno regulatorio se convierta en un verdadero catalizador de la sostenibilidad ambiental, es necesario replantear las políticas sectoriales, incrementar la inversión en asistencia técnica y monitoreo, y promover un enfoque multiescalar que reconozca y respete las diversas realidades rurales del país.

A nivel legal, la Ley 1930 de 2018 es un instrumento clave que establece lineamientos para el Pago por Servicios Ambientales (PSA) e incentiva a los productores a adoptar prácticas sostenibles como el SAF. De igual manera, el Plan Nacional de Restauración, Rehabilitación y Recuperación Ecológica de Áreas Degradadas 2015-2030 promueve la integración de árboles y

cobertura vegetal en los sistemas de producción. A nivel de política sectorial, el CONPES 3934 de 2018 sobre bioeconomía propone un modelo de desarrollo basado en la innovación biológica, en el que la agroforestería desempeña un papel estratégico. Finalmente, los planes regionales de restauración implementados en departamentos vecinos, como Caquetá y Guaviare, ofrecen experiencias transferibles para fortalecer la gobernanza ambiental y territorial en el Meta.

### ***Contexto Ambiental del Departamento del Meta***

El departamento del Meta, ubicado en la Orinoquía colombiana, se distingue por su inmensa diversidad ecológica e importancia estratégica, tanto ambiental como productiva. Su geografía abarca una variedad de ecosistemas que van desde sabanas inundables hasta selvas tropicales, incluyendo piedemonte y regiones de transición entre los Andes y la Amazonía. Esta riqueza biogeográfica convierte al Meta en un territorio clave para la conservación de la biodiversidad, así como para el desarrollo agrícola y forestal sostenible (Abril, 2011; De la Hoz, Murillo y Hernández, 2024).

Sin embargo, el departamento enfrenta serios desafíos ambientales relacionados con el modelo de desarrollo dominante. La constante expansión de las tierras agrícolas, la ganadería extensiva y las altas tasas de deforestación han provocado un importante deterioro del suelo, la alteración de los ciclos hidrológicos, la fragmentación del hábitat y la pérdida de biodiversidad. Estos impactos se ven agravados por la limitada planificación territorial y las debilidades institucionales en las zonas rurales, donde el control estatal es limitado y se carece de políticas ambientales efectivas (Ojeda et al., 2024; Vega-Martínez et al., 2024).

Investigaciones recientes indican que la región del Meta ha experimentado una pérdida de grandes áreas forestales en las últimas décadas, lo que la sitúa entre los departamentos colombianos con las tasas de deforestación altas. Este problema no solo afecta la integridad de

sus ecosistemas, sino que también compromete la sostenibilidad de las actividades económicas que dependen de servicios ecosistémicos esenciales como el suministro de agua, la fertilidad del suelo y la regulación climática (Valdés-Velarde et al., 2022).

En este contexto, los sistemas agroforestales se presentan como una alternativa eficaz para mitigar la degradación ambiental en el departamento. Su implementación restauraría paisajes degradados, aumentaría la cobertura vegetal, mejoraría la calidad del suelo y fortalecería la resiliencia ecológica del territorio (Durana et al., 2024). Al combinar especies de árboles con cultivos y prácticas agrícolas sostenibles, estos sistemas pueden ofrecer beneficios tanto ambientales como productivos.

El Meta ofrece un importante potencial agroecológico para el desarrollo de estos modelos sostenibles, gracias a su clima cálido y húmedo, la presencia de especies nativas adaptadas a la región y la experiencia de agricultores que tradicionalmente han incorporado árboles a sus cultivos y prácticas agrícolas. Sin embargo, la expansión de los sistemas agroforestales en la región se ve obstaculizada por múltiples factores, como la limitada asistencia técnica, la falta de incentivos económicos concretos, la escasa capacitación de los productores rurales y la ausencia de políticas territoriales claramente enfocadas en la sostenibilidad (Fonseca Carreño, 2021).

Además, el contexto de posconflicto en varias zonas del Meta ha generado nuevas dinámicas en el uso y acceso a la tierra. Estas transformaciones representan tanto riesgos como oportunidades para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles. Como señalan Vivas-García y Acevedo-Osorio (2023) para que una transición agroecológica sea efectiva en el departamento, es fundamental que esté acompañada de procesos de desarrollo de capacidades locales, empoderamiento de las comunidades rurales y planificación territorial participativa que reconozca la diversidad social y ecológica del territorio.

### *Experiencias Previas y Estudios Relevantes sobre SAF*

Diversos estudios nacionales e internacionales han demostrado la eficacia de los sistemas agroforestales como herramienta esencial para promover la sostenibilidad ambiental. Estos estudios, que incluyen tanto trabajos académicos como experiencias de implementación en campo, han contribuido a sistematizar las mejores prácticas, identificar obstáculos recurrentes y brindar valiosas lecciones para el diseño e implementación de nuevos sistemas agroforestales en regiones con alta vulnerabilidad ambiental, como el departamento del Meta.

Una de las contribuciones significativas ha sido el reconocimiento de los sistemas agroforestales como herramientas eficaces para la restauración del paisaje y la transformación de sistemas de producción degradados. En este sentido, Durana et al. (2024) documentan el impacto positivo de los sistemas silvopastoriles en los Altos Andes, donde se ha mejorado la productividad ganadera, se ha reducido la compactación del suelo y se ha restaurado la cobertura vegetal. Estos resultados refutan la supuesta contradicción entre sostenibilidad y rentabilidad productiva, demostrando que ambos objetivos pueden alcanzarse simultáneamente mediante enfoques agroecológicos integrados.

Además, estudios como el de Valdés-Velarde et al. (2022) destacan el potencial de los sistemas agroforestales agrícolas para la captura de carbono, en particular en cultivos como el café de sombra. Este servicio ecosistémico, crucial ante el avance del cambio climático, justifica por sí solo la promoción de políticas públicas dirigidas a la adopción generalizada de sistemas agroforestales. De igual manera, la investigación de Canul-Solis et al. (2018) demuestra los beneficios nutricionales y productivos de asociaciones de plantas como *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* y diversas gramíneas, destacando su utilidad en modelos ganaderos sostenibles.

En el contexto colombiano, Fonseca Carreño (2021) destaca la importancia de la agroecología y la ecoagricultura en las zonas rurales, destacando cómo la integración de conocimientos ancestrales y la experiencia técnica ha contribuido a consolidar experiencias agroforestales exitosas. Este enfoque también fue ampliamente debatido en el VIII Congreso Latinoamericano de Agroecología, donde se presentaron numerosas experiencias que demostraron la viabilidad técnica, social y ambiental de estos modelos en diferentes contextos territoriales (Santos et al., 2022).

La experiencia internacional también ofrece valiosas referencias. En Brasil, el estudio de Nascimento, Calle-Collado y Muñoz Benito (2020) sobre cooperativas agrícolas familiares basadas en la agroecología y la economía solidaria revela cómo la integración de prácticas agroforestales puede generar sinergias entre la sostenibilidad ambiental y la justicia social. Si bien este trabajo se centra en la dimensión socioeconómica, sus conclusiones pueden extrapolarse a situaciones como la del Meta, donde también convergen problemas estructurales similares.

Otra perspectiva importante es la de Rojas-Gómez (2024), quien propone una visión biocultural y participativa para la implementación de "laboratorios vivos agroecológicos". Esta propuesta enfatiza que los sistemas agroforestales no deben considerarse únicamente como paquetes tecnológicos, sino como procesos dinámicos de transformación territorial construidos colectivamente con las comunidades.

Es así como, la experiencia acumulada demuestra que los sistemas agroforestales pueden implementarse con éxito siempre que se adapten a las especificidades locales, se acompañen de capacitación y asistencia técnica continuas, y se apoyen en políticas públicas coherentes. Estas

lecciones son esenciales para orientar la formulación e implementación de estrategias agroforestales sostenibles en el departamento del Meta.

### ***Relación entre Agroecología, Agroforestería y Desarrollo Sostenible***

La agroecología constituye un enfoque teórico y práctico esencial para comprender, diseñar e implementar sistemas agroforestales con miras a la sostenibilidad. A diferencia de los modelos agrícolas convencionales que priorizan la productividad inmediata, la agroecología promueve la gestión holística de los agroecosistemas basada en principios ecológicos, el conocimiento tradicional de las comunidades rurales y la búsqueda de la justicia ambiental (Souza et al., 2023).

Desde esta perspectiva, los sistemas agroforestales trascienden la simple combinación de árboles y cultivos en un mismo espacio; se conciben como expresiones territoriales de una lógica ecológica amplia, orientada a restaurar las funciones ecosistémicas, reducir la dependencia de insumos externos y fortalecer la capacidad de adaptación ante el cambio climático. En este sentido, Costa et al. (2020) destacan el papel de la agroecología como una pedagogía transformadora que combina la producción de alimentos, la conservación del medio ambiente y la valorización del conocimiento ancestral.

El vínculo directo entre la agroforestería y el desarrollo sostenible se evidencia en la contribución concreta de los SAF al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 13 (Acción por el Clima) y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres). Según Belmin et al. (2023) estos sistemas representan una de las alternativas prometedoras para adaptar la agricultura al nuevo escenario climático, promoviendo la biodiversidad, preservando los suelos y regulando los ciclos hidrológicos de manera eficiente y sostenible.

Llamas et al. (2025) también abordan esta interrelación desde la perspectiva de la innovación orientada al logro de los ODS. En su análisis, destacan que los derechos de propiedad intelectual pueden actuar como barreras o catalizadores para el desarrollo sostenible, según el contexto y el modelo de gobernanza adoptado. En el marco de la agroecología, la innovación no debe entenderse como una tecnología aislada, sino como un proceso abierto y participativo, profundamente arraigado en los territorios y la cultura.

Otro aspecto esencial es la ética compartida entre la agroecología y la agroforestería, que guía la gestión de los paisajes rurales desde una perspectiva de reciprocidad y armonía con la naturaleza. Ambas propuestas se alejan de los modelos extractivos y abogan por una relación respetuosa y equitativa entre los seres humanos y los ecosistemas. Esta visión es particularmente relevante en territorios como el departamento del Meta, donde los problemas ambientales requieren respuestas integrales, inclusivas y culturalmente apropiadas (Abril, 2011; Vivas-García y Acevedo-Osorio, 2023).

Por lo tanto, la integración de los principios agroecológicos en el diseño, la implementación y la evaluación de los sistemas agroforestales no solo mejora su desempeño ambiental, sino que también garantiza su viabilidad y sostenibilidad a largo plazo. Por consiguiente, cualquier estrategia orientada a promover los SAF en el Meta debe basarse en este enfoque holístico, considerando la transformación territorial como un proceso participativo, ecológicamente equilibrado y socialmente justo.

## **Marco Teórico**

### ***Fundamentos Teóricos de los Sistemas Agroforestales***

Los sistemas agroforestales (SAF) son una práctica ancestral que ahora se presenta como una alternativa sostenible e integrada, que combina intencionalmente la producción agrícola y

forestal en una sola unidad de gestión. Desde una perspectiva teórica, los SAF se basan en principios ecológicos como la biodiversidad, las interacciones funcionales entre especies y el reciclaje eficiente de nutrientes, lo que los posiciona como modelos resilientes frente a la degradación ambiental de los sistemas convencionales (Durana et al., 2024).

Conceptualmente, un SAF se considera un sistema de uso del suelo que integra especies leñosas perennes —como árboles, arbustos o palmeras— en asociación espacial o temporal con cultivos herbáceos o actividades ganaderas. Esta configuración busca maximizar las interacciones ecológicas beneficiosas y reducir la competencia, promoviendo así la productividad y la sostenibilidad del agroecosistema (Fonseca Carreño, 2021). La diversidad de los sistemas agroforestales africanos incluye sistemas silvopastoriles, sistemas agroforestales simples, sistemas silvoagrícolas y modelos complejos multicapa, adaptables a diferentes contextos ecológicos y culturales.

Desde una perspectiva funcional, los sistemas agroforestales africanos proporcionan una amplia gama de servicios ecosistémicos: regulación del microclima, control de la erosión, mejora de la fertilidad del suelo y conservación de la biodiversidad. Además, mejoran la estabilidad ecológica ante fenómenos extremos como sequías o lluvias intensas, fortaleciendo así su capacidad de adaptación al cambio climático (Belmin et al., 2023). Esta multifuncionalidad alinea las opciones estratégicas para los sistemas agroforestales africanos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), combinando productividad, resiliencia y conservación.

La base ecológica de los sistemas agroforestales africanos también se basa en conceptos como los flujos de energía, la sucesión ecológica y la gestión del nicho ecológico. La estructura multicapa de muchos de estos sistemas, similar a la de los bosques naturales, permite una mayor eficiencia en la captación de luz solar, el uso del agua y el control biológico, interrumpiendo así

los ciclos de plagas típicos de los monocultivos (Costa et al., 2020). Estudios empíricos, como el de Canul-Solis et al. (2018) han demostrado mejoras significativas en la producción de forraje y la calidad del suelo en comparación con los sistemas agrícolas convencionales.

Además, los SAF se benefician de interacciones ecológicas simbióticas, como la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas, las asociaciones micorrízicas en las raíces de los árboles y la presencia de enemigos naturales que controlan las plagas. Estas relaciones fortalecen los ciclos biogeoquímicos, reducen la necesidad de insumos externos y contribuyen a la regeneración del paisaje (Valdés-Velarde et al., 2022).

El enfoque de sistemas también ofrece un marco teórico relevante al considerar la finca como un conjunto complejo de componentes interconectados —suelo, cultivos, animales, clima y seres humanos— cuya gestión debe abordarse de forma holística. En esta lógica, los SAF no se conciben como una suma de elementos aislados, sino como una red de relaciones ecológicas, sociales y técnicas que armonizan la productividad agrícola y la conservación de los recursos naturales (Rojas-Gómez, 2024).

Finalmente, los fundamentos teóricos de los SAF están profundamente vinculados a las epistemologías del conocimiento campesino e indígena. Las prácticas agroforestales tradicionales, desarrolladas mediante la experiencia empírica, la observación constante y la adaptación al entorno, representan formas de conocimiento que han sido validadas ecológicamente a lo largo del tiempo. Por lo tanto, deben reconocerse e integrarse en el diseño, la implementación y la investigación de los SAF contemporáneos (Núñez y Navarro-Garza, 2021; Souza et al., 2023).

### ***Bases Científicas de la Sostenibilidad Ambiental***

La sostenibilidad ambiental surge como respuesta a la urgente necesidad de armonizar las actividades humanas con los límites ecológicos del planeta. Desde una perspectiva científica, se refiere a la capacidad de los ecosistemas para preservar sus funciones esenciales y resiliencia a lo largo del tiempo, garantizando así el mantenimiento de los servicios ecosistémicos necesarios para la vida humana y no humana (Poveda y Salcedo, 2024).

Un concepto clave en este marco es el capital natural, que abarca recursos ecológicos fundamentales como el suelo, el agua, la biodiversidad, el aire y el clima. La pérdida o el deterioro de estos activos compromete la sostenibilidad de cualquier proceso de desarrollo, por lo que su protección es una prioridad estratégica. En este contexto, los sistemas agroforestales surgen como alternativas productivas que promueven la conservación del capital natural al integrar la dinámica ecológica en la gestión del territorio (Belmin et al., 2023).

De igual manera, el enfoque de los servicios ecosistémicos permite evaluar la contribución funcional de los ecosistemas en dimensiones como el suministro de alimentos, la regulación hídrica, el apoyo a los procesos ecológicos y la importancia cultural. En zonas rurales como el Meta, estos servicios son esenciales para mantener la productividad agrícola. Estudios como el de Ojeda et al. (2024) advierten que la degradación ambiental debilita estas funciones esenciales, afectando directamente la seguridad alimentaria y el bienestar comunitario.

Otro fundamento esencial es el reconocimiento del valor de la diversidad biológica y el uso eficiente de los recursos naturales. Los sistemas agroforestales, al estructurarse en diferentes estratos y combinar especies con funciones complementarias, promueven una mayor riqueza florística y faunística. Esta diversidad contribuye a la estabilidad del ecosistema, actuando como

una barrera natural contra perturbaciones como plagas, enfermedades o fenómenos meteorológicos extremos (Fonseca Carreño, 2021).

La resiliencia ecológica también ocupa un lugar central en los fundamentos científicos de la sostenibilidad. Un agroecosistema resiliente puede adaptarse y reorganizarse ante el cambio sin perder su funcionalidad. La implementación de SAF fortalece esta capacidad al generar sinergias entre los componentes bióticos y abióticos, promoviendo así los ciclos de regeneración del suelo, la vegetación y los microorganismos (Camacho, 2023).

Además, la sostenibilidad implica adoptar una perspectiva a largo plazo, donde cada decisión debe evaluarse a la luz de sus consecuencias futuras. Este enfoque se ha visto reforzado por instrumentos globales como la Agenda 2030, cuyos Objetivos de Desarrollo Sostenible promueven la gestión responsable de los recursos naturales y la mitigación del cambio climático (Hernández-Vergel et al., 2024).

Asimismo, el principio de equidad intergeneracional subraya la dimensión ética de la sostenibilidad ambiental: las generaciones actuales tienen el deber moral de preservar los bienes comunes para las generaciones futuras. En esta lógica, los SAF cumplen no solo una función agroproductiva, sino también un papel clave en la defensa de la justicia ambiental y la preservación del patrimonio ecológico (Souza et al., 2023).

### ***Teorías del Cambio Ambiental y Restauración Ecológica***

Las teorías del cambio ambiental han surgido para comprender las transformaciones que afectan la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, inducidas por factores humanos y naturales. En el contexto de la investigación centrada en los sistemas agroforestales (SAF), estos enfoques teóricos permiten interpretar los procesos de transformación de los paisajes rurales y brindan información valiosa sobre cómo ciertos modelos de producción pueden adaptarse a estos

cambios o incluso contribuir a su mitigación. Desde esta perspectiva, los SAF se consideran estrategias aplicables a la restauración ecológica, ya que ayudan a contrarrestar los procesos de degradación ambiental y a restaurar las funciones esenciales de los ecosistemas.

Una de las teorías influyentes en este campo es la ecología del paisaje, que se centra en las relaciones espaciales entre los diferentes ecosistemas, los flujos de energía y materiales, y los impactos de la fragmentación ecológica. En zonas rurales como el departamento del Meta, donde la expansión de la frontera agrícola ha provocado una pérdida significativa de cobertura vegetal, los SAF se perfilan como mecanismos eficaces para restaurar la conectividad entre hábitats, crear corredores biológicos funcionales y facilitar el movimiento de especies. Estas prácticas no solo mitigan los efectos de la fragmentación, sino que también promueven la reconfiguración del paisaje hacia condiciones resilientes y equilibradas (Vega-Martínez et al., 2024).

Por otro lado, la restauración ecológica, como disciplina práctica, se basa en principios como la sucesión natural, la regeneración asistida y la planificación adaptativa. En este marco, los SAF facilitan la integración de especies nativas con funciones ecológicas específicas que promueven la regeneración del suelo, la estabilización del microclima y el aumento de la biodiversidad. En este sentido, Abril (2011) argumenta que la agroforestería tiene un potencial significativo en la región del Orinoco para contribuir a la regeneración de ecosistemas dañados y restaurar procesos ecológicos esenciales, como el ciclo hidrológico y la capacidad de secuestro de carbono.

Otra teoría clave es la resiliencia socioecológica, que analiza cómo los sistemas humanos y naturales pueden absorber impactos, adaptarse y transformarse sin comprometer su funcionamiento esencial. Este enfoque holístico enfatiza la importancia de fortalecer los aspectos ecológicos y sociales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Si bien este estudio se centra

en la dimensión ambiental, cabe destacar que la capacidad de respuesta ecológica de los SAF ha sido ampliamente documentada: su estructura multicapa, la diversidad biológica que albergan y la gestión flexible que permiten los hacen resilientes a fenómenos como el cambio climático (Durana et al., 2024).

Además, los enfoques de gestión adaptativa son una herramienta fundamental para la restauración ambiental. Estos modelos se basan en la retroalimentación entre la intervención y el monitoreo continuo, lo que permite ajustes basados en los cambios observados en el ecosistema. En este sentido, los SAF tienen la ventaja de poder diseñarse e implementarse según las condiciones locales específicas, considerando tanto la respuesta de las especies vegetales como los indicadores ecológicos de recuperación (García Verdezoto, 2022).

Desde una perspectiva global, los SAF también representan soluciones basadas en la naturaleza que contribuyen tanto a la mitigación como a la adaptación al cambio climático. Esto es posible mediante el almacenamiento de carbono, la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la regulación del microclima. Investigaciones recientes, como la de Valdés-Velarde et al. (2022) muestra que sistemas como las plantaciones de café bajo sombra son capaces de secuestrar volúmenes significativos de carbono, contribuyendo a los compromisos nacionales para enfrentar la crisis climática.

### ***Agroecología como Marco Integrador***

La agroecología se presenta como un enfoque multidimensional que combina ciencia, práctica y compromiso político, con el objetivo de transformar los sistemas de producción agrícola de una manera ecológicamente sostenible y socialmente justa. Este movimiento integra el conocimiento ecológico con la sabiduría ancestral y los valores comunitarios, ofreciendo una alternativa viable a los modelos convencionales. En cuanto a los sistemas agroforestales (SAF),

la agroecología proporciona no solo herramientas técnicas, sino también una comprensión del territorio como espacio de interacción entre la naturaleza y la sociedad. Como señalan Souza et al. (2023) esta visión promueve formas de desarrollo rural centradas en la diversidad biocultural, la autonomía de las comunidades locales y la capacidad de adaptación al cambio ambiental.

En este enfoque, los SAF se interpretan como sistemas complejos que buscan replicar la dinámica de los ecosistemas naturales, combinando árboles, cultivos y animales en un único espacio productivo. Lejos de estar diseñados como sistemas rígidos, estos modelos son flexibles y dinámicos, adhiriéndose a los principios agroecológicos que promueven la eficiencia energética, el reciclaje de nutrientes y las interacciones positivas entre los componentes del agroecosistema. Según Costa et al. (2020) esta integración funcional genera beneficios tanto ecológicos como productivos, lo que refuerza la idea de que la conservación y la producción no son objetivos opuestos, sino complementarios.

Un aspecto clave de la agroecología es la promoción del conocimiento local y la experiencia campesina, lo cual se está convirtiendo en una contribución fundamental a la innovación y al desarrollo sostenible. En regiones como el Meta, donde persisten prácticas agroforestales tradicionales, la agroecología facilita el diálogo entre el conocimiento popular y el científico, con miras a diseñar sistemas mejor adaptados al contexto ecológico y cultural. Según Núñez y Navarro-Garza (2021) este proceso de co-construcción de conocimiento es esencial para abordar los desafíos ambientales actuales con soluciones pertinentes y sostenibles.

A esto se suma que, la agroecología propone una ética de la protección territorial, que no se limita a criterios de eficiencia o rentabilidad, sino que incluye principios de justicia ecológica. Esto implica reconocer el derecho de las comunidades a gestionar sus propios medios de vida de forma autónoma y en equilibrio con los ciclos naturales. Si bien este estudio no aborda aspectos

sociales, es importante destacar que esta dimensión ética complementa el enfoque ecológico, fortaleciendo la legitimidad de los SAF como alternativas sostenibles.

Otra contribución significativa de la agroecología es su capacidad para articular diferentes escalas de intervención, desde la finca hasta el diseño de políticas públicas y la planificación territorial. Esta versatilidad permite la integración de experiencias locales en marcos amplios de conservación, gestión y transición hacia sistemas energéticos sostenibles. En este sentido, el trabajo de Santos et al. (2022) ilustra cómo los SAF pueden integrarse en estrategias regionales que combinan la sostenibilidad ambiental y la participación comunitaria.

De esta manera, la agroecología proporciona herramientas metodológicas útiles para evaluar el desempeño ambiental de los sistemas de producción. Indicadores como la biodiversidad funcional, la calidad del suelo, la eficiencia de los recursos y la resiliencia ecológica permiten una medición objetiva de la sostenibilidad de los SAF. Como señala Camacho (2023) estas herramientas no solo facilitan el monitoreo, sino que también orientan la mejora continua de las prácticas agroforestales, consolidando así su contribución al desarrollo territorial sostenible.

### ***Servicios Ecosistémicos Asociados a los SAF***

Los sistemas agroforestales (SAF) generan una serie de beneficios ecológicos denominados servicios ecosistémicos, esenciales para el bienestar humano y la sostenibilidad territorial. Estos servicios, definidos como las contribuciones de los ecosistemas a las sociedades, se manifiestan en los SAF a través de diversas funciones ecológicas que fortalecen la relación entre el entorno natural y las comunidades rurales. Como señalan Belmin et al. (2023) estos sistemas son altamente versátiles, capaces de proporcionar servicios de apoyo, regulación y aprovisionamiento que aumentan la resiliencia ambiental de las regiones donde se implementan.

Una de sus funciones destacadas es su capacidad para regular el clima. Los árboles en los SAF desempeñan un papel crucial en el almacenamiento de carbono y la reducción de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, Valdés-Velarde et al. (2022) en un estudio centrado en sistemas de cultivo de café de sombra, demostraron un importante potencial de secuestro de carbono, lo que convierte a los SAF en valiosos aliados frente al cambio climático.

Además, los SAF sirven de refugio para numerosas especies, promoviendo así la conservación de la biodiversidad. Este aspecto es particularmente importante en regiones como el departamento del Meta, donde las transformaciones del paisaje han provocado una pérdida gradual de especies. La integración de árboles nativos en estos sistemas no solo contribuye a la biodiversidad, sino que también promueve procesos de restauración ecológica (Ojeda et al., 2024).

En cuanto a los suelos, los SAF también ofrecen beneficios significativos. Los árboles ayudan a reducir la erosión, mejoran la calidad del suelo al aumentar la materia orgánica y fortalecen su estructura. Estas características, según Canul-Solis et al. (2018), promueven la productividad agrícola y aumentan la resiliencia ante eventos climáticos extremos. Además, contribuyen a mejorar la dinámica hidrológica del suelo al facilitar la infiltración de agua y promover la recarga de acuíferos, como lo demuestran Durana et al., (2024).

Si bien este estudio no se centra en los aspectos productivos, cabe destacar que los SAF también proporcionan recursos directos como alimentos, leña, madera, plantas medicinales y forraje. Estos usos no solo diversifican los medios de vida rurales, sino que también fortalecen la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

allá de los beneficios tangibles, estos sistemas pueden ofrecer ventajas culturales relacionadas con la identidad territorial, la estética paisajística y la conexión con la naturaleza. Si

bien estos servicios son difíciles de cuantificar, su presencia influye en la percepción que las comunidades tienen del medio ambiente y en su disposición a preservarlo, consolidando así el valor estratégico de las AFS para la sostenibilidad regional (García Verdezoto, 2022).

### ***Experiencias Territoriales de SAF en Colombia***

En varias regiones del país se han implementado iniciativas locales que demuestran el papel de los sistemas agroforestales (SAF) como herramientas viables para promover la sostenibilidad ambiental. Estas experiencias han surgido gracias al esfuerzo conjunto de comunidades rurales, universidades, organizaciones no gubernamentales y políticas públicas que, si bien de alcance limitado, han promovido alternativas productivas respetuosas con el entorno natural (Mesa Valencia y Hendrickson, 2024).

En el departamento del Meta, por ejemplo, se han implementado proyectos agroforestales que incorporan especies como el cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), cultivos de transición y árboles nativos. Según Velásquez-Vascoñez et al. (2025) estos sistemas aumentan la cobertura vegetal, rehabilitan suelos degradados y mejoran la producción agrícola, convirtiéndose en referentes clave para la replicación de estas prácticas en otras regiones del país.

De igual manera, los programas de restauración del paisaje implementados en el piedemonte llanero han incorporado prácticas agroforestales entre sus componentes estratégicos. En este contexto, se han desarrollado sistemas silvopastoriles que integran árboles forrajeros con la ganadería extensiva, contribuyendo así a reducir la presión sobre los ecosistemas forestales y a mejorar las propiedades físicas y químicas de los suelos (Durana et al., 2024).

Al mismo tiempo, departamentos como Caquetá y Antioquia han implementado programas similares en zonas rurales, con resultados alentadores en términos de conservación de suelos, control de escorrentía y restauración ecológica de áreas degradadas. Como señalan

Fonseca Carreño (2021) y Mesa Valencia y Hendrickson (2024) estas experiencias pueden adaptarse a las características ecológicas, sociales y culturales del Meta, promoviendo así su aplicación en otras regiones con características similares.

A pesar de ello, estas iniciativas enfrentan obstáculos importantes, como la financiación limitada, la falta de apoyo técnico sostenible y la falta de coordinación entre los diferentes actores. Por ello, es fundamental avanzar en procesos de planificación territorial participativa y en el fortalecimiento institucional para que los SAF puedan consolidarse como una estrategia efectiva para abordar los desafíos ambientales actuales (Vivas-García y Acevedo-Osorio, 2023).

## **Metodología**

### **Enfoque Metodológico**

Este estudio se realizó con un enfoque cualitativo, con el objetivo de brindar una comprensión profunda, contextual e interpretativa de las contribuciones de los sistemas agroforestales (SAF) a la sostenibilidad ambiental en el departamento del Meta. El enfoque cualitativo es relevante porque permitió explorar la complejidad ecológica y funcional de los sistemas agroforestales sin necesidad de manipular experimentalmente las variables. Este enfoque buscaba revelar los significados, las estructuras ecológicas y los patrones territoriales que caracterizan el uso de los SAF en diferentes contextos ambientales del Meta, proporcionando una visión integral del territorio y su sostenibilidad.

### **Tipo de Investigación**

Esta investigación es de naturaleza documental y analítica. Se centró en la recopilación, organización, sistematización y análisis de información secundaria proveniente de fuentes científicas, técnicas, institucionales y comunitarias sobre la aplicación de sistemas agroforestales en Colombia, con especial énfasis en el departamento del Meta. Esta investigación buscaba interpretar los efectos ecológicos de los SAF con base en evidencia empírica, estudios de caso, informes técnicos y literatura especializada publicada entre 2015 y 2025.

### ***Diseño Metodológico***

Se utilizó un diseño metodológico no experimental, transversal y retrospectivo. No se manipularon intervenciones directas ni variables de campo. En su lugar, se realizó un análisis documental de experiencias agroforestales implementadas en Colombia, específicamente en el departamento del Meta. La revisión incluyó fuentes del período 2015-2025, con el objetivo de identificar trayectorias, patrones y lecciones aprendidas en relación con la sostenibilidad

ambiental de los SAF en diversos contextos. La información analizada incluyó artículos académicos, tesis, documentos institucionales, planes de desarrollo territorial, políticas ambientales y experiencias de campo.

### ***Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos***

Se aplicaron diversas técnicas cualitativas para lograr una revisión estructurada, exhaustiva y rigurosa de la información. Las principales herramientas utilizadas fueron:

- Revisión sistemática de literatura científica, técnica e institucional.
- Análisis de contenido temático para categorizar la información relevante.
- Matrices comparativas de experiencias agroforestales basadas en criterios ecológicos.
- Clasificación del contenido según dimensiones como biodiversidad, calidad del suelo, servicios ecosistémicos, regulación hídrica y mitigación del cambio climático.

### ***Fuentes de Datos***

Las fuentes se seleccionaron por su relevancia científica y temática. Se priorizaron los documentos y publicaciones de acceso abierto indexados en bases de datos como Scopus, SciELO, Redalyc, Dialnet y Google Académico. También se consideraron informes de organizaciones como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ministerio de Agricultura, la FAO, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Los Llanos, entre otras. También se utilizaron tesis universitarias, documentos técnicos regionales y experiencias sistematizadas en bases de datos institucionales o comunitarias.

### ***Criterios de Inclusión y Exclusión***

Solo se incluyeron documentos revisados por pares o fuentes institucionales verificables (FAO, MADS, Ministerio de Agricultura, universidades nacionales). Se excluyeron artículos sin validación académica, comunicados de prensa o documentos sin metodología.

### ***Rango Temporal***

Solo se consideraron publicaciones del período 2015-2025.

### ***Proceso de Búsqueda y Selección***

El procedimiento metodológico siguió las directrices del modelo PRISMA adaptado para revisiones cualitativas, ilustrado en la Tabla 1.

### **Tabla 1**

*Diagrama de Flujo PRISMA Adaptado a la Revisión Bibliográfica sobre SAF en Meta (2015-2025)*

Etapa del proceso	Descripción del procedimiento	Número de documentos
Identificación	Búsqueda de información en bases de datos académicas (Scopus, SciELO, Redalyc, Dialnet y Google Académico) y repositorios institucionales (FAO, MADS, UNAD, Universidad de los Llanos, Universidad Nacional).	145
Filtrado inicial	Eliminación de documentos duplicados y fuentes sin información contextual para Colombia o sin referencia al departamento del Meta.	85 excluidos
Evaluación de elegibilidad	Revisión de resúmenes y palabras clave para verificar pertinencia temática (sistemas agroforestales, sostenibilidad ambiental, biodiversidad, suelo y carbono).	60 evaluados
Criterios de inclusión aplicados	Solo se incluyeron fuentes revisadas por pares o documentos técnicos oficiales con respaldo metodológico. Se priorizaron publicaciones del período 2015–2025.	25 seleccionados

Criterios de exclusión aplicados	Se excluyeron informes sin revisión científica, blogs, notas de prensa y documentos sin metodología verificable.	10 excluidos
Fuentes analizadas	Total de documentos sistematizados y analizados en la matriz de revisión documental.	15
Síntesis final	Integración cualitativa de los datos por categorías: (i) prácticas agroforestales, (ii) efectos ambientales (suelo, biodiversidad, carbono) y (iii) determinantes técnicos e institucionales.	15 documentos incluidos en el análisis final

*Nota.* La tabla resume las etapas del proceso PRISMA aplicado en la revisión bibliográfica sobre sistemas agroforestales en el departamento del Meta durante el período 2015–2025, incluyendo la identificación, el filtrado, la evaluación de elegibilidad y la selección final de documentos.

### ***Criterios de Análisis***

Para sistematizar y analizar los datos, se establecieron criterios temáticos, centrándose exclusivamente en las contribuciones ecológicas y ambientales de los SAF. Estos incluyen:

- Tipo de sistema agroforestal (cafetería de sombra, silvopastoril, mixto, sucesional, multiestrato).
- Servicios ecosistémicos generados (almacenamiento de carbono, control de la erosión, regulación hídrica, conservación de la biodiversidad).
- Transformaciones en el uso del suelo y la cobertura vegetal.
- Recuperación de las funciones ecológicas (suelo, agua, microclima).
- Contribuciones a la restauración ecológica y la resiliencia territorial.

### ***Procesamiento y Análisis de Datos***

El procesamiento de datos se realizó en las siguientes fases:

- Organización de la información en tablas y matrices comparativas.
- Codificación del contenido según las categorías analíticas previamente definidas.

- Interpretación cualitativa basada en el marco conceptual y teórico del estudio.
- Sistematización de los resultados mediante narrativas y patrones recurrentes.

### ***Limitaciones***

Una posible limitación del estudio es la escasa disponibilidad de documentos actualizados o específicos sobre experiencias recientes de SAF en zonas rurales del Meta. Algunos proyectos podrían carecer de documentación escrita o permanecer como informes institucionales internos. Para mitigar esto, se implementó una estrategia de triangulación entre fuentes científicas, institucionales y comunitarias, garantizando un análisis crítico, ético y bien fundamentado de la información obtenida.

## Resultados

Esta sección presenta una síntesis cualitativa de los datos recopilados para abordar los objetivos de esta monografía. El análisis se organiza en tres capítulos: (I) identificación y caracterización de las prácticas agroforestales documentadas en la región del Meta; (II) evaluación de sus efectos ambientales sobre el suelo, la biodiversidad y el carbono (siendo el agua una variable contextual); y (III) factores técnicos, ambientales e institucionales que determinan su implementación y sostenibilidad. La información proviene de literatura científica, técnica e institucional publicada principalmente entre 2015 y 2025 (con respaldo previo cuando fue conceptualmente necesario). Todas las métricas citadas (p. ej., carbono orgánico del suelo, riqueza de especies, biomasa o huella hídrica) corresponden a los resultados reportados por las fuentes; no generan datos primarios ni metaanálisis. Como contribución transversal, se desarrolló una matriz de revisión que consolida el rol de cada referencia en el argumento y permite trazar la ruta entre prácticas, efectos e implicaciones para el territorio.

**Tabla 2**

*Matriz de Revisión Documental*

#	Autor	Año	Título	DOI o URL
1	Tovar-Hernández, Naisly Ada, Trujillo-González, Juan Manuel, Muñoz-Yáñez, Sergio Iván, Torres-Mora, Marco Aurelio, & Zárate, Erika	2017	Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica	<a href="https://doi.org/10.22579/20112629.394">https://doi.org/10.22579/20112629.394</a>
2	Castro-Garzón, H., Contreras, E. J., & Rodríguez, J. P.	2020	Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia)	<a href="https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n38p05">https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n38p05</a>
3	Montagnini, F.	2015	Función de los sistemas agroforestales en la adaptación	<a href="https://www.researchgate.">https://www.researchgate.</a>

			y mitigación del cambio climático	<a href="https://hdl.handle.net/publication/340678837_FUNCION_DE_LOS_SISTEMAS_AGROFORESTALES_EN_LA_ADAPTACION_y_MITIGACION_DEL_CAMBIO_CLIMATICO">net/publication/340678837_FUNCION_DE_LOS_SISTEMAS_AGROFORESTALES_EN_LA_ADAPTACION_y_MITIGACION_DEL_CAMBIO_CLIMATICO</a>
4	Vásquez Cundumi, M. A., Tobón Quintero, G. J., Higuera Mora, N. C., & Suescún Barón, C. A.	2023	Sistemas agroforestales con cacao como factor de desarrollo rural con enfoque territorial en el municipio de Vista Hermosa. Departamento del Meta. El caso del núcleo cacaotero Costa Rica	<a href="http://hdl.handle.net/10554/64970">http://hdl.handle.net/10554/64970</a>
5	López Hoyos, J. L., Pizo Ossa, M. A., & Vásquez-Castro, D. C.	2024	Impacto de los sistemas agroforestales en la seguridad alimentaria y el cambio climático: una revisión	<a href="https://doi.org/10.37885/240717238">https://doi.org/10.37885/240717238</a>
6	Filho, E. de M. V., Somarriba, E., Cerda, R., Casanoves, F., Cordero, C., Avelino, J., Roupsard, O., Rapidel, B., Vaast, P., Harmand, J.-M., Staver, C., Beer, J., Mora, A., Morales, V. H., Fonseca, C., Vargas, V., Ramírez, L. G., Soto, G., Isaac, M., Umaña, L. D., Fernández, A. T., Romero, L. F., Gómez, R. L., Gamboa, H., Diniz, P., Viu Serrano, O., Bezerra, L. P., de Souza, Z. M., Caicedo, C., Pico, J., Montagnini, F., & Haggard, J.	2021	Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café	<a href="https://hal.science/hal-04824951">https://hal.science/hal-04824951</a>

7	Dilas-Jiménez, J. O., & Mugruza-Vassallo, C. A.	2020	Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos degradados de selva alta	<a href="https://doi.org/10.25127/aps.20201.534">https://doi.org/10.25127/aps.20201.534</a>
8	Machado Vargas, Mónica María, & Ríos Osorio, Leonardo Alberto. (2016).	2016	Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática	<a href="https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002">https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002</a>
9	Calero Borge, W. A.	2017	Matrices de transición, una herramienta para evaluar la sostenibilidad de sistemas agroforestales	<a href="https://doi.org/10.5377/ruc.v19i2.6472">https://doi.org/10.5377/ruc.v19i2.6472</a>
10	Rojas Pardo, Marisol, Beltrán Vargas, Julio, & Zafra Mejía, Carlos Alfonso.	2022	Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable: una revisión	<a href="https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812279">https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812279</a>
11	Arauz Vásquez, K. L.	2019	Contribuciones de los sistemas agroforestales a la sostenibilidad del servicio ecosistémico hídrico en un paisaje fragmentado (parte media y alta) de la cuenca del Río Jesús María, Costa Rica	<a href="https://hdl.handle.net/10669/79035">https://hdl.handle.net/10669/79035</a>
12	Jiménez-Águila, M. M., & Hernández-Rodríguez, J.	2020	Comportamiento y valoración preliminar de indicadores para determinar el nivel de sostenibilidad en sistema de producción agroforestal	<a href="https://www.forestbarcoaedicioneservantes.com/index.php/fb/article/view/322">https://www.forestbarcoaedicioneservantes.com/index.php/fb/article/view/322</a>
13	García Verdezoto, E. C.	2022	La Agroforestería en la integración y sostenibilidad del paisaje	<a href="http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKI_AM/691">http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKI_AM/691</a>
14	Henao, E. J.	2020	Los sistemas agroforestales expuestos como sistemas	<a href="https://repository.unad.edu">https://repository.unad.edu</a>

			sostenibles de producción en Colombia.	<a href="https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/818">.co/handle/10596/36689</a>
15	Sistemas agroforestales y biodiversidad.	2018	Sistemas agroforestales y biodiversidad	<a href="https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/818">https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/818</a>
16	Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V.	2016	Environmental services from tropical agroforestry systems	10.5154/r.rchscfa.2015.06.029

*Nota.* Revisión Documental de literatura científica e institucional sobre SAF en el meta (2015-2025).

La Tabla 2 resume las fuentes consideradas y su contribución específica al análisis. Para cada referencia, se registra el tema principal, la cita APA, la contribución al capítulo correspondiente y, cuando corresponde, el tipo de SAF y los indicadores ambientales reportados (suelo, biodiversidad, carbono y agua). Para fortalecer el análisis de los resultados, se construyó una matriz de síntesis comparativa que consolida los casos documentados de sistemas agroforestales implementados en el departamento del Meta entre 2015 y 2025. Esta tabla proporciona una visualización de los principales tipos de SAF (silvopastoriles, café y cacao), sus componentes, beneficios ambientales e indicadores de sostenibilidad registrados en la literatura revisada.

**Tabla 3***Matriz Comparativa de Experiencias Agroforestales en el Meta (2015-2025)*

Tipo de SAF	Municipio o Zona	Componentes principales	Beneficios ambientales documentados	Indicadores reportados
Silvopastoril	Granada – Acacias	Árboles forrajeros (Leucaena, Matarratón), pastos mejorados, franjas ribereñas	Sombra, control de erosión, mejora de fertilidad del suelo, aumento de carbono orgánico	Densidad aparente, carbono del suelo, infiltración, cobertura vegetal
Cacaotero con sombra	Vista Hermosa – Puerto Rico	Cacao (Theobroma cacao) con Inga spp., plátano y frutales nativos	Regulación microclimática, retención de humedad, aumento de biodiversidad	Riqueza de especies, carbono en biomasa, materia orgánica del suelo
Cafetero de sombra	Piedemonte del Meta	Café bajo Inga y Cordia alliodora	Reducción de erosión, retención de carbono, conservación de polinizadores	Biomasa aérea, infiltración, abundancia de fauna benéfica

*Nota.* La tabla compara experiencias agroforestales desarrolladas en el departamento del Meta entre 2015 y 2025, destacando componentes, beneficios ambientales e indicadores reportados.

La matriz facilita (I) la trazabilidad entre la evidencia y los argumentos de cada capítulo; (II) la comparabilidad cualitativa entre estudios que utilizan diferentes metodologías; y (III) la interpretación territorial de relevancia para el Meta. Dado que las mediciones no son homogéneas entre los estudios, la matriz se utiliza como soporte narrativo y no para agregar cifras. Con base en estos datos, el Capítulo I desarrolla la identificación y caracterización de las prácticas agroforestales prioritarias para el departamento.

### **Prácticas Agroforestales en el Meta: Identificación y Caracterización Documental**

Este capítulo aborda el primer objetivo específico: identificar, a partir de la literatura especializada, las prácticas agroforestales documentadas en el departamento del Meta y proponer

criterios para describirlas de manera comparable. La revisión integra tres tipos de fuentes: trabajos que analizan la relevancia de los SAF en relación con las problemáticas ambientales locales (Castro-Garzón et al., 2020); estudios territoriales que detallan métodos de producción específicos, incluyendo el cultivo de cacao a la sombra en Vista Hermosa, un centro cacaotero en Costa Rica (Vásquez Cundumí et al., 2023); y revisiones/monografías que sintetizan evidencia y criterios de sostenibilidad para el café y los SAF a nivel nacional y latinoamericano (Dilas-Jiménez y Mugruza-Vassallo, 2020; Machado y Ríos, 2016; Henao, 2020). La región del Meta combina el piedemonte andino y las llanuras de sabana, con una producción agrícola y ganadera extensiva como base productiva, y presiones relacionadas con los residuos agrícolas, la degradación del suelo y la pérdida de cobertura forestal. El caso de El Dorado destaca los impactos de una gestión inadecuada de los residuos, lo que refuerza la necesidad de prácticas que promuevan la recirculación de la biomasa, preserven la cobertura forestal y complejicen la estructura del agroecosistema (Castro-Garzón et al., 2020). En este contexto, los sistemas agroforestales surgen como una estrategia integradora para coordinar la producción, la gestión de residuos y restaurar las funciones ecológicas.

La literatura describió inicialmente sistemas agroforestales centrados en árboles de cacao (*Theobroma cacao*) bajo sombra diversificada. Estos sistemas combinan árboles maderables (p. ej., *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*), frutales (plátano para sombra temporal, cítricos) y árboles de servicios como *Inga* spp., que garantizan la fijación de nitrógeno, el reciclaje de nutrientes y la regulación del microclima. Su arquitectura multicapa (sombra alta, sombra intermedia y capa productiva) amortigua el estrés térmico e hídrico, reduce la evaporación y protege los cultivos. El manejo incluye la poda para modular la radiación, el uso de la hojarasca como mantillo y el compostaje de los residuos de cultivo. Los beneficios esperados incluyen una mayor fertilidad, la

creación de hábitats para la fauna beneficiosa y un aumento del carbono almacenado en la biomasa leñosa. En Vista Hermosa, estos SAF también están vinculados a iniciativas de desarrollo rural con vocación territorial, que combinan la organización comunitaria, los mercados y la gestión ambiental (Vásquez Cundumí et al., 2023).

Un segundo conjunto de prácticas proviene de la experiencia de las plantaciones de café de sombra, transferible a las microcuencas del piedemonte del Meta, ya que priorizan la restauración del suelo y la estabilidad ecológica. Los datos sugieren que las fincas cuentan con una cubierta arbórea regulada, a menudo compuesta por especies de Inga y madera ligera, una cubierta de hojarasca permanente y características de conservación (terrazas, curvas de nivel) en las laderas. Los indicadores del suelo tienden a mejorar: mayor contenido de carbono orgánico, mejor agregación y una biota activa, con menor escorrentía y erosión. Los estudios muestran consistentemente que los sistemas de policultivo y café de sombra superan a los sistemas de monocultivo en términos de resultados ambientales (biodiversidad funcional, materia orgánica) y socioeconómicos (diversificación de ingresos) (Dilas-Jiménez y Mugruza-Vassallo, 2020; Machado y Ríos, 2016). En la llanura ganadera, los sistemas silvopastoriles son la principal práctica agroforestal: árboles dispersos en pastizales, setos vivos, cortavientos y franjas ribereñas de amortiguamiento proporcionan forraje arbustivo, sombra y conectividad ecológica. Los setos vivos proporcionan sombra, néctar y corredores biológicos; los árboles o rodales dispersos modulan la temperatura, mejoran el bienestar animal y capturan carbono; y las franjas de amortiguamiento riparias o cortavientos reducen la erosión y filtran sedimentos. Estas soluciones son coherentes con las evaluaciones ambientales locales al combinar la productividad ganadera con la regulación de los servicios ecosistémicos y la infraestructura verde (Henaó, 2020; Castro-Garzón et al., 2020).

Con base en esta síntesis, la caracterización de las prácticas requiere un conjunto sintético de variables comparables. Desde una perspectiva composicional y estructural, son de interés el tipo de SAF (agroforestal, silvopastoril o de conservación), el número de estratos y su cobertura relativa, las densidades por especies funcionales (sombra, madera, frutales, servicios) y la disposición espacial (cultivo disperso multiestrato, cultivo en franjas o callejones, cercas, rodales). En cuanto a la gestión y los flujos de biomasa, es importante registrar la intensidad de la sombra y la frecuencia de poda, el uso de hojarasca (mantillo/composta), las prácticas de compostaje o vermicompostaje para los residuos, y la presencia de una cobertura permanente con mínima labranza y nivelación. En cuanto al contexto biofísico, la pendiente, la susceptibilidad a la erosión, la textura y la profundidad efectiva del suelo, así como el régimen hídrico y la estacionalidad, determinan el rendimiento. Finalmente, los indicadores de sostenibilidad permiten evaluar los resultados: carbono orgánico, densidad aparente, estabilidad de agregados e infiltración del suelo; riqueza/abundancia de especies o índices funcionales para la biodiversidad; y biomasa aérea y carbono orgánico del suelo para el carbono. Estos criterios están sustentados en marcos de sostenibilidad y lineamientos para la configuración de SAF y la recuperación de suelos sombreados (Machado y Ríos, 2016; Henao, 2020; Dilas-Jiménez y Mugruza-Vassallo, 2020) y se adaptan al contexto ambiental productivo del Meta (Castro-Garzón et al., 2020; Vásquez Cundumí et al., 2023).

Desde una perspectiva funcional y ambiental, las plantaciones diversificadas de cacao bajo sombra priorizan la estabilidad microclimática y la fertilidad mediante la caída de hojarasca, con claros cobeneficios para el carbono y el hábitat (Vásquez Cundumí et al., 2023); el cultivo de café bajo sombra en las laderas montañosas promueve la conservación del suelo y la reducción de la erosión mediante mejoras físicas y biológicas sostenibles (Dilas-Jiménez y Mugruza-

Vassallo, 2020; Machado y Ríos, 2016); y los sistemas silvopastoriles y de cercas vegetadas, típicos de la llanura ganadera, combinan el bienestar animal, la conectividad ecológica y los sumideros de carbono, a la vez que protegen los cursos de agua y aumentan la infiltración (Henaó, 2020). Además, las franjas agroforestales y las barreras vegetales asociadas al manejo de residuos contribuyen a cerrar los ciclos de nutrientes, reducir las pérdidas por escorrentía y mejorar la calidad del suelo (Castro-Garzón et al., 2020). Con base en lo anterior, el inventario del Meta debe identificar, por municipio y por desarrollo, los componentes (especies, densidades, estratos) y las principales prácticas de manejo (sombreado, poda, residuos), vincular cada práctica con los indicadores ambientales (suelo, biodiversidad y carbono) que se desarrollarán en el Capítulo II, y contextualizar la selección según las condiciones biofísicas (pie de monte vs. llanura) y los sistemas de producción (cacao, café, ganadería). Asimismo, será necesario integrar la gobernanza local y las directrices asociativas —específicas del enfoque territorial— para facilitar su adopción, de acuerdo con el análisis de factores técnicos, ambientales e institucionales presentado en el Capítulo III (Vásquez Cundumí et al., 2023).

Es así como, la revisión bibliográfica identifica tres familias de prácticas agroforestales particularmente relevantes para Meta: plantaciones diversificadas de cacao bajo sombra, plantaciones de café bajo sombra enfocadas en la restauración de suelos de piedemonte y sistemas silvopastoriles con setos vivos y franjas de conservación de tierras bajas. Todas comparten mecanismos ecológicos —cobertura vegetal, estratificación y reciclaje de biomasa— que las vinculan con la conservación del suelo, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono. En resumen, la revisión se presenta en una tabla resumen y una tabla dinámica que sintetizan las prácticas por tipología, manejo y servicios ecosistémicos, con el fin de mejorar la comprensión y la comparación de estas prácticas. Los criterios de caracterización propuestos aquí permiten una

descripción comparable de estas prácticas y las vinculan con los indicadores ambientales que guiarán el siguiente capítulo.

**Tabla 4**

*Síntesis Compacta de Prácticas Agroforestales en el Meta (Tipología, Manejo/Componentes y Servicios Predominantes)*

Práctica	Tipología	Manejo/Componentes	Servicios
Cacao con sombra (Vista Hermosa)	Agrosilvícola	Inga, maderables, plátano; podas; mulch/compost	Microclima, fertilidad, carbono, hábitat
Café bajo sombra (piedemonte)	Agrosilvícola	Sombra regulada; cobertura; terrazas/curvas a nivel	↑ C orgánico, menos erosión, diversificación
Silvopastoril y cercas vivas (llanura)	Silvopastoril	Árboles en potrero; cercas vivas; franjas riparias	Sombra/bienestar, conectividad, menos erosión, carbono
Franjas/barreras y manejo de residuos	Conservación	Franjas a nivel; arbustos de servicio; compost/vermicompost	Cierre de ciclos, menos escorrentía, ↑ calidad del suelo

*Nota.* La tabla compara experiencias agroforestales desarrolladas en el departamento del Meta entre 2015 y 2025, destacando componentes, beneficios ambientales e indicadores reportados.

**Tabla 5**

*Resumen por Tipología de los SAF en el Meta (Número de Prácticas y Manejos Comunes)*

Tipología	Nº de prácticas	Manejos comunes
Agrosilvícola	2	Sombra regulada; cobertura; podas; terrazas
Silvopastoril	1	Árboles en potrero; cercas vivas; franjas riparias
Conservación	1	Franjas a nivel; compost/vermicompost

*Nota.* Clasificación de los SAF en el Meta (Agrosilvícola, Silvopastoril y Conservación) según su intensidad de prácticas y métodos de manejo implementados.

## **Efectos Ambientales de los Sistemas Agroforestales: Suelo, Biodiversidad y Carbono**

Este capítulo aborda el segundo objetivo específico: evaluar, con base en la literatura revisada, los efectos de los sistemas agroforestales (SAF) en la conservación del suelo, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono. Dado que varios estudios también reportan implicaciones para los recursos hídricos, el agua se integra como una variable contextual para el Meta, donde la presión hídrica y la gestión del paisaje influyen en los resultados ambientales (Tovar-Hernández et al., 2017; Arauz Vásquez, 2019).

### ***Cómo se Evalúan los Efectos***

Se adopta un marco de servicios/funciones ecosistémicas, con indicadores comúnmente utilizados en los SAF:

- Suelo: carbono orgánico del suelo (COS), densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración y escorrentía/erosión.
- Biodiversidad: riqueza de especies (árboles, polinizadores, aves), índices (Shannon/Simpson), conectividad del hábitat y complejidad estructural.
- Carbono y clima: biomasa aérea y subterránea, contenido de carbono en el suelo y tasas de secuestro, así como cobeneficios relacionados con el microclima y la resiliencia (Montagnini, 2015; Casanova-Lugo et al., 2016).
- Agua (contexto): huella hídrica verde/azul/gris, regulación hídrica local (infiltración, caudal base) y control de contaminantes difusos (Tovar-Hernández et al., 2017; Arauz Vásquez, 2019).

### ***Suelo: Estructura, Protección y Productividad***

La literatura científica coincide en que los SAF mejoran la calidad y la estabilidad del suelo a través de tres vías complementarias: (i) cobertura permanente (hojarasca, mantillo) que

mitiga el impacto de la precipitación y reduce la evaporación; (ii) raíces multicapa que promueven la agregación y la porosidad; y (iii) reciclaje de nutrientes mediante la descomposición de residuos y la fijación biológica (Montagnini, 2015; Casanova-Lugo et al., 2016).

En el campo, estos mecanismos se traducen en un mayor contenido de carbono orgánico del suelo (COS), una menor densidad aparente, una mejor infiltración y una menor escorrentía/erosión en comparación con los monocultivos abiertos. A escala del paisaje, las barreras vegetales, las cercas arboladas y las barreras ribereñas reducen el transporte de sedimentos y estabilizan taludes y terraplenes (García Verdezoto, 2022). En el Meta, donde la gestión de residuos agrícolas representa un desafío, los SAF contribuyen a cerrar los ciclos de biomasa y a mejorar la estructura y la capacidad de retención del suelo (Casanova-Lugo et al., 2016). En resumen, conservan y restauran los suelos, creando condiciones para una productividad sostenida y resiliencia ante lluvias intensas o sequías.

### ***Biodiversidad: Especies y Mayor Funcionalidad***

Los SAF incrementan la diversidad alfa (intra-sitio) y beta (interparcela) a través de su estructura multicapa y heterogeneidad espacial, lo que también impulsa la diversidad funcional (polinizadores y enemigos naturales) (Sistemas Agroforestales y Biodiversidad, 2018). La combinación de sombra, bosque, árboles frutales y setos proporciona hábitat, alimento y corredores, conectando los remanentes forestales con matrices agrícolas (García Verdezoto, 2022). Esta mayor complejidad reduce los riesgos de plagas y estabiliza los rendimientos, con cobeneficios para la polinización (Sistemas Agroforestales y Biodiversidad, 2018; Casanova-Lugo et al., 2016). Además, el amortiguador microclimático de los SAF sustenta conjuntos bióticos clave en escenarios de cambio climático (Montagnini, 2015). En resumen, en

comparación con los monocultivos, los SAF incrementan la diversidad biológica y mejoran la funcionalidad del paisaje.

### ***Carbono y Mitigación: Sumideros con Co-Beneficios***

Los SAF funcionan como sumideros de carbono mediante la acumulación de biomasa leñosa y el aumento del COS (Montagnini, 2015; Casanova-Lugo et al., 2016). Las principales vías son: (i) el aumento de la biomasa aérea y subterránea de árboles y arbustos; (ii) el aumento del COS mediante la hojarasca y las raíces finas; y (iii) la sustitución de insumos (p. ej., la reducción del uso de fertilizantes sintéticos) y microclimas que moderan la evapotranspiración y el estrés. La complejidad vertical también aumenta la resiliencia de los cultivos y puede evitar emisiones al reducir la presión de la deforestación mediante la intensificación ecológica de las áreas ya afectadas (Montagnini, 2015). Por lo tanto, la mitigación (captura/almacenamiento de carbono) y la adaptación (resiliencia climática) avanzan de manera articulada, con beneficios productivos.

### ***Agua como Contexto para el Meta***

Aunque este capítulo se centra en los suelos, la biodiversidad y el carbono, en el Meta, el agua es un factor determinante. La evaluación de la huella hídrica en la cuenca del río Guayuriba para los cultivos de arroz y palma muestra presiones significativas sobre los componentes verde, azul y gris asociados a los sistemas convencionales (Tovar-Hernández et al., 2017). Por el contrario, los SAF tienden a aumentar la infiltración, mejorar el caudal base y reducir la escorrentía y la carga difusa, contribuyendo así a la sostenibilidad de los servicios hídricos en las microcuencas (Arauz Vásquez, 2019; Casanova-Lugo et al., 2016). La integración de los SAF en las matrices agrícolas puede mejorar los balances hídricos locales y reducir la huella gris al

retener sedimentos y nutrientes (Arauz Vásquez, 2019), en consonancia con las estrategias de paisaje multifuncional (García Verdezoto, 2022).

### ***Evidencia Transversal: Producción y Clima***

Estudios recientes destacan la contribución simultánea de los SAF a la seguridad alimentaria y la acción climática mediante la diversificación productiva, la estabilidad del rendimiento, la mejora del suelo y el secuestro de carbono (López Hoyos et al., 2024). Esta multiplicidad de funciones explica su relevancia estratégica en los paisajes tropicales de América Latina, en particular en el Meta.

### ***Lectura Integrada para el Meta***

**Suelos:** Favorecer los SAF con cobertura vegetal permanente y árboles de servicio (p. ej., leguminosas) en zonas de pendiente o suelos frágiles para reducir la erosión y aumentar el COS.

**Biodiversidad:** Los setos vivos, las franjas ribereñas de amortiguamiento y la diversidad de árboles de sombra conectan las parcelas y mejoran el control biológico y la polinización, especialmente en matrices de arroz y palma.

**Carbono:** En los cultivos de cacao y café, la integración de diversos árboles de sombra y madera aumenta la biomasa leñosa y el COS, apoyando así los objetivos locales de mitigación y adaptación (Montagnini, 2015).

**Agua (contexto):** En subcuencas con estrés hídrico, como lo sugiere la huella de Guayuriba, los SAF contribuyen a la infiltración, el caudal base y la reducción de la huella gris (Tovar-Hernández et al., 2017; Arauz Vásquez, 2019).

Es así como, los SAF mejoran los suelos (incrementando el COS, mejorando la estructura y reduciendo la erosión), incrementan la biodiversidad (hábitat, conectividad y diversidad funcional) y almacenan carbono (biomasa y suelo), con beneficios asociados en términos de

resiliencia climática. En Meta, donde los arrozales y las palmeras ejercen presión sobre el uso del agua y el suelo, los SAF se perfilan como soluciones basadas en la naturaleza para mitigar los impactos y aumentar la sostenibilidad a nivel de finca y cuenca. El siguiente capítulo examina los factores técnicos, ambientales e institucionales que determinan su implementación y sostenibilidad en la región.

### **Determinantes de Implementación y Sostenibilidad: Factores Técnicos, Ambientales e Institucionales en el Meta**

El Capítulo II demostró que los sistemas agroforestales (SAF) mejoran los suelos, la biodiversidad y el almacenamiento de carbono, siendo el agua el factor principal, cuando su diseño y gestión son apropiados para el sitio. Este capítulo, basado en una revisión bibliográfica cualitativa, aborda el tercer objetivo específico: identificar los factores técnicos, ambientales e institucionales que explican la adopción, implementación y sostenibilidad de los SAF en el Meta, articulando los enfoques de planificación, las decisiones de gestión y los mecanismos de gobernanza que garantizan su sostenibilidad.

#### ***Marcos y Herramientas para Transitar hacia SAF***

La literatura converge en una secuencia práctica: planificar, implementar y monitorear. Las matrices de transición organizan el cambio de una situación inicial a un estado deseado, estableciendo condiciones mínimas por etapas (Calero Borge, 2017). Al mismo tiempo, las tendencias metodológicas para la implementación recomiendan el diagnóstico participativo, el diseño multicapa con especies de servicio, el manejo adaptativo y la evaluación periódica a diferentes escalas (parcela-finca-microcuenca) (Rojas Pardo et al., 2022). Para el monitoreo, un conjunto limitado de indicadores por dimensión (ambiental, productiva e institucional) facilita la definición de referencias y las decisiones de ajuste sobre el terreno (Jiménez-Águila y

Hernández-Rodríguez, 2020). Los datos de ensayos de café a largo plazo dentro del SAF demuestran que la investigación aplicada, el desarrollo de capacidades y la promoción de políticas públicas apoyan la adopción a gran escala (Filho et al., 2021). En Meta, la combinación de estos elementos permite un camino claro: matriz de transición, codiseño participativo e indicadores operativos, apoyados en capacitación y coordinación interinstitucional.

### ***Determinantes Técnicos: del Diseño al Manejo Operativo***

Los beneficios del Capítulo II se materializan cuando el manejo técnico es coherente con el cultivo, el sitio y la cadena de valor. La selección de especies debe considerar las funciones (sombra, fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes, conectividad) y la compatibilidad con el cultivo principal (cacao/café; ganadería SSP). La arquitectura y las densidades requieren estratificación vertical con sombreado dosificado y poda programada para evitar el sombreado excesivo y las pérdidas de rendimiento; se derivan recomendaciones detalladas de los protocolos y la extensión técnica documentados en los programas de café SAF (Filho et al., 2021). Para suelos y residuos, la cobertura permanente, el retorno de biomasa (compost/lombricompost) y la labranza mínima, con el apoyo de curvas de nivel y franjas de protección, mejoran el COS, la estructura y la infiltración. Las inversiones en mantenimiento (poda, raleo, manejo integrado de plagas y reposición de árboles muertos) y adaptación (viveros, setos, obras de conservación), sincronizadas con los rendimientos esperados, aumentan la viabilidad (Rojas Pardo et al., 2022). Principales riesgos técnicos: Los diseños demasiado sombreados o sin mantenimiento regular pueden anular los beneficios; de ahí la utilidad de indicadores simples para la gestión adaptativa (cobertura, densidad, estado de salud) (Jiménez-Águila y Hernández-Rodríguez, 2020).

### ***Adecuación Ambiental y Lectura del Paisaje***

La adaptación específica del sitio es la piedra angular que transforma el diseño en resultados mensurables. En las laderas, predominan las medidas antierosión (franjas, terrazas y mantillos); en suelos pobres en materia orgánica, se prioriza acelerar el aporte de biomasa mediante leguminosas y la gestión de residuos. La estacionalidad de las precipitaciones y los máximos térmicos exigen ajustar la densidad de sombra y seleccionar especies tolerantes; un microclima amortiguador es crucial para obtener rendimientos estables (Filho et al., 2021). A escala del paisaje, los setos vivos, los cortavientos y las zonas de amortiguamiento ribereño fortalecen la conectividad, promueven el control biológico y mejoran los servicios hidrológicos, conectando las parcelas con la microcuenca (Rojas Pardo et al., 2022).

### ***Arreglos Institucionales y Gobernanza del Monitoreo***

La dimensión institucional define la escala y la permanencia. Las capacidades y el alcance (redes de I+D, escuelas de campo, formación de formadores) respaldan la curva de aprendizaje y la calidad de la gestión (Filho et al., 2021). La organización y los mercados — asociatividad para insumos, viveros comunitarios, procesamiento y diferenciación por atributos ambientales— reducen los riesgos de transición. Los instrumentos y las políticas (PSA, crédito verde, directrices de gestión de cuencas hidrográficas) alinean los incentivos. Para evitar quedarse atrás, el monitoreo debe institucionalizar indicadores comparables (Jiménez-Águila y Hernández-Rodríguez, 2020) y utilizarlos en ciclos de mejora continua (Calero Borge, 2017). Un conjunto mínimo sugerido para Meta incluye: ambiental (COS, infiltración/escorrentía, cobertura viva/muerta, densidad de árboles por función, conectividad cualitativa con límites/canales); productivo (rendimiento, % de sombra objetivo en comparación con la medición, salud); y

socioinstitucional (participación en capacitaciones, actividades colectivas, acceso a herramientas).

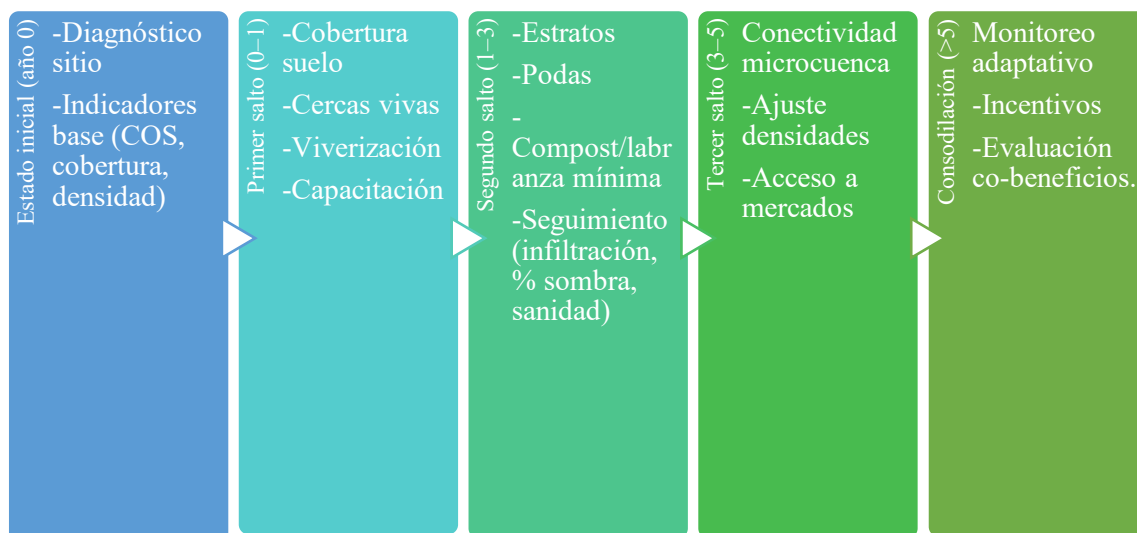
### ***Ruta de Implementación para el Meta***

Un enfoque por fases integra los elementos anteriores: Estado inicial (año 0) con diagnóstico del sitio, mapa de límites y conectividad, e indicadores de referencia (COS, cobertura, densidad arbórea). Primera etapa (0-1): Cobertura vegetal, setos, franjas de protección y vivero de especies; capacitación básica. Segunda etapa (1-3): Establecimiento de estratos (sombra, árboles frutales/maderables), poda programada y compostaje; infiltración, sombreado y monitoreo de la salud. Tercera etapa (3-5): Conectividad a escala de microcuenca (cortavientos, zonas riparias), ajuste de densidad y acceso al mercado con diferenciación ambiental. Consolidación ( $\geq 5$ ): Monitoreo adaptativo con el paquete mínimo, integración con incentivos y evaluación de cobeneficios (carbono, biodiversidad, agua).

Lectura integrada: Técnica, comenzando con la cobertura y los residuos, luego los estratos y las densidades, y finalmente la conectividad, siempre con expansión activa. Ambientalmente, armonizar el diseño con laderas en lugar de llanuras y priorizar las áreas riparias donde la presión hídrica y erosiva es mayor. Institucionalmente, esto implica la activación de alianzas entre asociaciones, universidades y el sector público para cofinanciar viveros, asistencia técnica y monitoreo. Así, los marcos metodológicos —matrices de transición, tendencias de implementación e indicadores operativos— ofrecen una hoja de ruta para pasar de experimentos específicos a estrategias de paisaje, y la evidencia a largo plazo confirma que la investigación-acción y la capacitación apoyan y amplían su adopción (Filho et al., 2021).

**Figura 1**

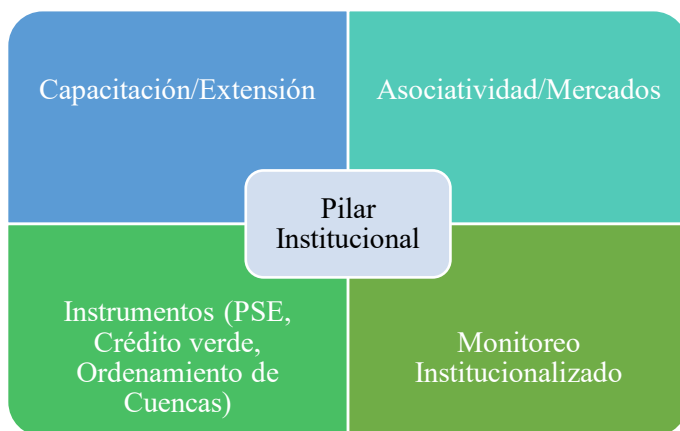
*Ruta SAF Secuencia Escalonada para Implementar SAF en el Meta*



*Nota.* La figura presenta la secuencia escalonada para la implementación de sistemas agroforestales (SAF), desde el diagnóstico inicial hasta la consolidación mediante monitoreo adaptativo.

**Figura 2**

*Soporte Institucional Transversal. Extensión, Asociatividad, Instrumentos e Indicadores que Habilitan, Escalan y Mantienen la Ruta SAF*



*Nota.* La figura ilustra el pilar institucional de los sistemas agroforestales (SAF) y sus componentes clave para la implementación. Estos elementos permiten habilitar, escalar y sostener la ruta de los SAF.

## Conclusiones

La revisión de la literatura relacionada muestra que los sistemas agroforestales (SAF) son una alternativa viable que se puede utilizar para integrar las actividades agroproductivas con la conservación de los recursos naturales para mejorar la sostenibilidad ambiental en la provincia de Meta. La revisión de la evidencia científica, técnica e institucional muestra que estos sistemas ayudan en la restauración de suelos degradados, la retención y recuperación de organismos del suelo, y el almacenamiento del carbono del suelo, siempre que los sistemas se implementen con el diseño técnico apropiado, sean bien adaptados al contexto biofísico local, y cuenten con el acompañamiento institucional.

Con respecto al primer objetivo específico, que tenía como fin identificar las prácticas agroforestales más importantes documentadas en Meta, la evidencia concluye que el cacao a sombra, el café a sombra, y los sistemas silvopastorales son las prácticas más importantes y más recurrentes en la región. Estos sistemas incorporan principios agroecológicos de diversificación de especies, estratificación vertical y horizontal, y cobertura del suelo, permitiendo el uso de criterios comparables para definir su adaptabilidad agroecológica en el departamento.

En relación al segundo objetivo específico, que se centra en evaluar los impactos ambientales de los sistemas agroforestales, se concluye que los sistemas SAF impactan positivamente el medio ambiente de manera consistente. La construcción de impactos positivos incluye la mejora de la estructura del suelo y contenido de nutrientes, la reducción de la erosión del suelo, el aumento del carbono orgánico del suelo, y el fortalecimiento de la biodiversidad funcional, entre otros. Además, los sistemas contribuyen positivamente a la regulación del agua, principalmente en la protección de zonas ribereñas y en la mejora de la infiltración, lo que aumenta la resiliencia de los agroecosistemas al cambio climático.

En relación al tercer objetivo específico, la evaluación de los factores que influyen en la adopción y sostenibilidad de los sistemas agroforestales, se llega a la conclusión que la adopción de sistemas agroforestales es el resultado de una interacción de factores técnicos, ambientales y, en algunas ocasiones, socioeconómicos. La correcta selección de especies de forma adecuada y el manejo adaptativo construyen un sistema agroforestal que pueda modular tu sistema agroforestal que pueda modular su sistema.

Finalmente, se llega a la conclusión de que la transición a sistemas agroforestales en el departamento de Meta requiere enfoques integrales que articulen sistemas técnicos, ambientales y agroforestales. En este sentido, el uso de rutas de transición productiva y simples indicadores de monitoreo ambiental proporciona un marco para guiar la gestión adaptativa, apoyar la toma de decisiones y mejorar la sostenibilidad en los agroecosistemas a nivel local y regional.

## **Recomendaciones**

A partir de los resultados obtenidos y de las conclusiones formuladas se elaboran las siguientes recomendaciones que buscan fortalecer la implementación y sostenibilidad de los sistemas agroforestales en el Meta.

### **Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 1**

Consolidar un inventario agroforestal regional que facilite la planificación y comparación de las prácticas agroforestales en los diferentes contextos agroecológicos del Meta, debe promoverse la sistematización y actualización frecuente de experiencias agroforestales locales, en particular las que derivan de la agroforestería y silvopastoreo con cacao y café de sombra.

### **Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 2**

La mejora de la sostenibilidad de los sistemas agroforestales y la toma de decisiones en sostenibilidad y ajuste climático, se estima que se puede mejorar el monitoreo de los sistemas agroforestales con la implementación de indicadores en los sistemas agroforestales y el uso de indicadores de carbono del suelo, cobertura, infiltración, y la diversidad funcional (los sistemas agroforestales, se sugiere la utilización de indicadores simples y de carbono).

### **Recomendaciones Asociadas al Objetivo Específico 3**

Se recomienda fortalecer los esquemas de apoyo institucional que integran asistencia técnica continua, capacitación y apoyo a los productores, incluidos incentivos económicos, como programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Además, se recomienda fortalecer la articulación entre productores y entidades territoriales, universidades y organizaciones sociales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agroforestales y facilitar su adopción a nivel de finca y microcuena.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones complementen el estudio actual, validando y profundizando los hallazgos documentales, estableciendo líneas base ambientales que fortalezcan la evaluación del impacto real de los sistemas agroforestales en el Meta.

### Referencias Bibliográficas

- Abril, Y. (2011). Sistemas agroforestales como alternativa de manejo sostenible en la actividad ganadera de la Orinoquia colombiana. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 2(1), 103–127. <https://doi.org/10.22579/22484817.571>
- Arauz Vásquez, K. L. (2019). *Contribuciones de los sistemas agroforestales a la sostenibilidad del servicio ecosistémico hídrico en un paisaje fragmentado (parte media y alta) de la cuenca del río Jesús María, Costa Rica* (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). Repositorio Kérwá. <https://hdl.handle.net/10669/79339>
- Belmin, R., Paulin, M., & Malézieux, E. (2023). Adapting agriculture to climate change: Which pathways behind policy initiatives? *Agronomy for Sustainable Development*, 43(5), Article 59. <https://doi.org/10.1007/s13593-023-00910-y>
- Calero Borge, W. A. (2017). Matrices de transición, una herramienta para evaluar la sostenibilidad de sistemas agroforestales. *Revista Universitaria del Caribe*, 19(2), 63–75. <https://doi.org/10.5377/ruc.v19i2.6472>
- Camacho, W. C. (2023). Big data analytics in programme evaluation: Examining models for the assessment of sustainable development goals in Colombia. *Cuadernos de Economía (Colombia)*, 42(89), 233–264. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v42n89.95487>
- Canul-Solis, J. R., Castillo-Sánchez, L. E., Escobedo-Mex, J. G., López Herrera, M. A., & Lara, P. E. (2018). Forage yield and quality of *Gliricidia sepium*, *Tithonia diversifolia* and *Cynodon nlemfuensis* in monoculture and agroforestry systems. *Agrociencia*, 52(6), 853–862.
- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L., Parsons, D., Caamal-Maldonado, A., Piñeiro-Vázquez, A. T., & Díaz-Echeverría, V. (2016). Environmental services from tropical agroforestry

- systems. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(3), 269–284.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.06.029>
- Castro-Garzón, H., Contreras, E. J., & Rodríguez, J. P. (2020). Análisis ambiental: Impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41(38), 5. <https://doi.org/10.48082/espacios-a20v41n38p05>
- Costa, F. V., Ramos, J. L. C., & Vieira, D. D. (2020). Scientific production and principles of education in agroecology. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 55.  
<https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.72896>
- Dilas-Jiménez, J. O., & Mugruza-Vassallo, C. A. (2020). Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos degradados de selva alta. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(1), 8–18.  
<https://doi.org/10.25127/aps.20201.534>
- Durana, C., Murgueitio, E., & Lopera-Marín, J. J. (2024). Agroecological transition for sustainable cattle ranching with silvopastoral systems in the high Andean slopes of Colombia. In *Silvopastoral Systems of Meso America and Northern South America* (pp. 213–238). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-43063-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-031-43063-3_11)
- Filho, E. de M. V., Somarriba, E., Cerda, R., Casanoves, F., Cordero, C., Avelino, J., Roupsard, O., Rapidel, B., Vaast, P., Harmand, J.-M., Staver, C., Beer, J., Mora, A., Morales, V. H., Fonseca, C., Vargas, V., Ramírez, L. G., Soto, G., Isaac, M., ... Haggard, J. (2021). Aportes a la investigación, fortalecimiento de capacidades y formulación de políticas para el sector cafetalero en 20 años de ensayos de sistemas agroforestales con café. *Agroforestería en las Américas*, 51, 107–151.

- Fonseca Carreño, N. E. (2021). Agroecology and eco-agriculture, sustainable strategies in peasant farming systems. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 18.  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.aees>
- García Verdezoto, E. C. (2022). *La agroforestería en la integración y sostenibilidad del paisaje* (Tesis de grado, Universidad Regional Amazónica Ikiam). Repositorio Ikiam.  
[http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD\\_IKIAM/691](http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/691)
- Henao, E. J. (2020). *Los sistemas agroforestales expuestos como sistemas sostenibles de producción en Colombia* [Monografía]. Repositorio Institucional UNAD.  
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36689>
- Jiménez-Águila, M. M., & Hernández-Rodríguez, J. (2020). Comportamiento y valoración preliminar de indicadores para determinar el nivel de sostenibilidad en sistema de producción agroforestal. *Revista Forestal Baracoa*, 39(2), 85–87.  
<https://www.forestbaracoa.edicionescervantes.com/index.php/fb/article/view/322>
- López Hoyos, J. L., Pizo Ossa, M. A., & Vásquez-Castro, D. C. (2024). Impacto de los sistemas agroforestales en la seguridad alimentaria y el cambio climático: Una revisión. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, 9(7), 137–158.  
<https://doi.org/10.37885/240717238>
- Machado Vargas, M. M., & Ríos Osorio, L. A. (2016). Sustainability in coffee agroecosystems of small farmers: A systematic review. *Idesia (Arica)*, 34(2), 15–23.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000002>
- Mesa Valencia, A. F., & Hendrickson, M. K. (2024). Agroecology and institutional framework in Eastern Antioquia, Colombia: A case study. *Latin American Perspectives*, 51(1), 99–120.  
<https://doi.org/10.1177/0094582X241246240>

- Montagnini, F. (2015). Función de los sistemas agroforestales en la adaptación y mitigación del cambio climático. En F. Montagnini, E. Somarriba, E. Murgueitio, H. Fassola, & B. Eibl (Eds.), *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CATIE; CIPAV.
- Núñez, J. F., & Navarro-Garza, H. (2021). Agroecology: Approach to the dialectic of marginal semantics in Latin America. A brief network history. *Redes. Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 32(1). <https://doi.org/10.5565/REV/REDES.914>
- Ojeda, C., Romero-Leiton, J. P., Mesa, M. J., Zapata, J., Ceballos, A., Ordoñez, S., & Benavides, I. F. (2024). Economic dynamics as the main limitation for agricultural sustainability in a Colombian indigenous community. *Sustainability (Switzerland)*, 16(19), Article 8611. <https://doi.org/10.3390/su16198611>
- Rojas Pardo, M., Beltrán Vargas, J., & Zafra Mejía, C. A. (2022). Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable: Una revisión. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812279. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812279>
- Santos, I. G. K. D. S., Sarandón, S. J., & Soglio, F. D. (2022). VIII Latin American Congress of Agroecology. *Agrociencia Uruguay*, 26(Special), Article 1055. <https://doi.org/10.31285/AGRO.26.1055>
- Sistemas agroforestales y biodiversidad. (2018). *Agro Productividad*, 9(9). <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/818>
- Souza, A. B., Santos, N. D., & Soares, M. J. N. (2023). Peasants, good living and agroecology for rural development. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 17(10). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v17n10-035>

- Tovar-Hernández, N. A., Trujillo-González, J. M., Muñoz-Yáñez, S. I., Torres-Mora, M. A., & Zárate, E. (2017). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica. *Orinoquia*, 21(1), 52–63. <https://doi.org/10.22579/20112629.394>
- Valdés-Velarde, E., Vázquez-Domínguez, L. P., Tinoco-Rueda, J. Á., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., & Lagunes-Fortiz, E. (2022). Ecosystem service of carbon stored in coffee plantations under shade in agroforestry systems. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(28), 287–297. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3283>
- Vásquez Cundumí, M. A., Tobón Quintero, G. J., Higuera Mora, N. C., & Suescún Barón, C. A. (2023). *Sistemas agroforestales con cacao como factor de desarrollo rural con enfoque territorial en el municipio de Vista Hermosa, Departamento del Meta: El caso del núcleo cacaotero Costa Rica*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Vega-Martinez, A., Cialdella, N., & Andrieu, N. (2024). Understanding farms trajectories methods to build sustainable futures on pioneer fronts: Lessons from a systematic literature review and a framework proposal. *Agricultural Systems*, 220, Article 104093. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104093>
- Velasquez-Vasconez, P. A., Castro-Zambrano, M. I., Rodríguez-Cabal, H. A., Castro, D., Arbelaez, L., & Zambrano, J. C. (2025). Exploring *Theobroma grandiflorum* diversity to improve sustainability in smallholdings across Caquetá, Colombia. *Italian Journal of Agronomy*, 20(2), Article 100034. <https://doi.org/10.1016/j.ijagro.2025.100034>
- Vivas-García, J. A., & Acevedo-Osorio, Á. (2023). Peasant mobilizations, public policy and the transitions to agroecology in Colombia, 1990–2018. *Transição para a Agroecologia e Soberania Alimentar, Economia e Sociedade*, 1(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.4291>