

Análisis de la recuperación de suelos degradados mediante barreras biológicas forestales y sistemas productivos de aguacate de las variedades Persea americana y Hass en el departamento del Meta

Elbert José Varela Vargas

Félix David Ramírez Beltrán

Asesor

Jair Vargas

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Agroforestal

2025

Dedicatoria

Este proyecto va dedicado primeramente a Dios que es el padre de todo y nos ha permitido llegar a este punto, quiero dedicar este proyecto a mis seres queridos como mis padres, mis hijos, mi esposa y aquellos y tutores que me guiaron con sus conocimientos y sabiduría a cumplir esta meta, a resolver mis dudas y aclarar muchas preguntas, de igual manera a la institución UNAD que más una institución se convirtió en nuestra aliada para cumplir nuestros sueños de poner orgullosos a nuestros seres queridos y formarnos en profesionales y haciéndonos parte de la familia unadista.

Agradecimientos

Primeramente quiero darle gracias a Dios, por haberme puesto en esta institución y concederme el gusto y placer de tener tutores muy capacitados prestos siempre a enseñar, de igual manera a mis seres queridos que han sido mi centro de apoyo y me han motivado a llegar a este punto de hoy estar presentado mi proyecto de grado, agradezco a cada una de esas personas que estuvieron atentos a mi avance de aprendizaje que nunca me dijeron que no, aclarando mis preguntas, mis dudas, hasta los momentos de inseguridad en que creía que no lo lograría.

Resumen

Esta monografía analiza la restauración de suelos degradados mediante la implementación de sistemas de producción de aguacate (*Persea americana*) asociados a barreras biológicas forestales en el Departamento del Meta, Colombia. La investigación adopta un enfoque cualitativo y documental, basado en una revisión sistemática de literatura científica, informes técnicos y documentos institucionales relacionados con la restauración de suelos, los sistemas agroforestales y la sostenibilidad agrícola. El objetivo principal es comprender cómo estos sistemas integrados contribuyen a la recuperación ecológica de territorios afectados por la degradación del suelo, con base en experiencias documentadas en contextos similares.

Los resultados muestran que los sistemas de producción de aguacate, implementados bajo principios agroecológicos, mejoran la fertilidad y la estructura del suelo, promueven la retención de humedad y diversifican la producción, generando beneficios ambientales y socioeconómicos. De igual manera, las barreras biológicas forestales se establecen como estrategias efectivas para el control de la erosión, la conservación de la cobertura vegetal y el fortalecimiento de los procesos de restauración ecológica.

Se concluye que la integración de estas prácticas sostenibles ofrece una alternativa viable para abordar los desafíos de la degradación del suelo en el Meta. Sin embargo, persisten vacíos de información sobre su implementación a gran escala y la participación comunitaria en estos procesos, lo que resalta la necesidad de realizar estudios futuros para evaluar sus impactos a largo plazo y fortalecer modelos de gestión territorial más sostenibles.

Palabras clave: Restauración de suelos, sistemas agroforestales, aguacate, barreras biológicas, Meta, sostenibilidad.

Abstract

This monograph analyzes the restoration of degraded soils through the implementation of avocado (*Persea americana*) production systems associated with forest biological barriers in the department of Meta, Colombia. The research adopts a qualitative and documentary approach, based on a systematic review of scientific literature, technical reports, and institutional documents related to soil restoration, agroforestry systems, and agricultural sustainability. The main objective is to understand how these integrated systems contribute to the ecological recovery of territories affected by soil degradation, based on documented experiences in similar contexts.

The results show that avocado production systems, implemented under agroecological principles, improve soil fertility and structure, promote moisture retention, and diversify production, generating environmental and socioeconomic benefits. Similarly, forest biological barriers are established as effective strategies for erosion control, vegetation cover conservation, and strengthening ecological restoration processes.

It is concluded that the integration of these sustainable practices offers a viable alternative to address the challenges of land degradation in Meta. However, information gaps persist regarding their large-scale implementation and community participation in these processes, highlighting the need for future studies to assess their long-term impacts and strengthen more sustainable territorial management models.

Keywords: Soil restoration, agroforestry systems, avocado, biological barriers, Meta, sustainability.

Tabla de Contenido

Introducción	10
Justificación	14
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Referencial	18
Marco Conceptual	18
Suelos Degradados	18
Restauración de Suelos	20
Sistemas de Producción	23
Cultivo de Aguacate (Persea Americana)	25
Barreras Biológicas Forestales (o Barreras Vivas)	27
Servicios Ecosistémicos del Suelo	31
Gestión Sostenible del Suelo	33
Agroecosistema	34
Conservación del Suelo	37
Resiliencia Ecológica	40
Marco Teórico	42
Modelo Conceptual de Interacción entre Aguacate, Barreras Biológicas y Procesos Edáficos	42
Panorama de la Degradación del Suelo en el Departamento del Meta	44
Factores que Impulsan la Degradación del Suelo en Zonas Rurales	46

Importancia del Aguacate como Sistema de Producción en el Meta	49
Experiencias Documentadas con Aguacates para la Restauración de Suelos	51
Barreras Biológicas Forestales como Estrategia de Restauración	53
Relación entre los Sistemas Agroforestales y la Restauración del Suelo	56
Impactos del Manejo Agronómico en la Salud del Suelo	59
Enfoques Agroecológicos para la Restauración del Suelo	61
Metodología	65
Enfoque Metodológico	65
Tipo de Investigación	65
Diseño Metodológico	65
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	66
Criterios de Inclusión	66
Criterios de Exclusión	67
Fuentes de Datos	67
Criterios de Análisis	67
Procesamiento y Análisis de Datos	68
Limitaciones	68
Resultados	70
Causas y Características de la Degradación del Suelo en el Meta	73
Contribución del Cultivo de Aguacate a la Restauración del Suelo	79
Papel de las Barreras Biológicas Forestales en la Restauración de Suelos	83
Evidencia Cuantitativa Reportada en la Documentación	88
Conclusiones	90

Recomendaciones	92
Referencias Bibliográficas	94

Lista de Tablas

Tabla 1 *Matriz de Revisión Documental* 70

Tabla 2 *Indicadores de Degradación del Suelo*77

Introducción

La degradación del suelo en el Departamento del Meta constituye uno de los principales desafíos ambientales y de productividad de la región. La expansión de las tierras agrícolas, la deforestación, la ganadería extensiva y las prácticas de manejo inadecuadas han alterado profundamente la estructura, la fertilidad y la biodiversidad del suelo (UPRA, 2024). Estos procesos no solo generan una pérdida significativa de productividad de la tierra, sino que también tienen impactos directos en los ecosistemas y las comunidades rurales que dependen de ellos. Ante esta situación, es necesario explorar estrategias sostenibles para restaurar la funcionalidad ecológica del suelo, preservando al mismo tiempo la viabilidad económica de las actividades productivas que sustentan la economía local (MADR, 2024).

Siguiendo este orden de ideas, los sistemas de producción de aguacate (*Persea americana*) y el establecimiento de barreras biológicas forestales se han consolidado como alternativas viables para combatir la degradación del suelo. En Colombia, el aguacate es uno de los sectores de exportación de frutas y hortalizas más dinámicos: en 2024, las exportaciones de aguacate Hass alcanzaron los US\$309,4 millones y 138.315 toneladas, lo que demuestra su importancia socioeconómica para zonas agrícolas con alto potencial de diversificación, como Meta (Analdex, 2025). Datos científicos sugieren que, cuando se aplican según principios agroecológicos, estas estrategias no solo promueven la reposición de nutrientes, la retención de humedad y la estabilidad estructural del suelo, sino que también contribuyen a la regeneración de la vegetación, el control de la erosión y la diversificación de los sistemas de producción (Asohofrucol, 2025). A nivel nacional, estudios oficiales de zonificación revelan una amplia diversidad de suelos y climas aptos para el cultivo de aguacate Hass.

El Departamento del Meta, en particular, cuenta con áreas de aptitud media a alta que pueden orientar la transición hacia paisajes productivos más sostenibles, siempre que se gestionen de acuerdo con las normas ambientales y sanitarias (UPRA, 2019; UPRA, 2025; ICA, 2022).

Sin embargo, en Meta persiste la falta de información, lo que dificulta una comprensión integral del potencial de estas prácticas para revertir la degradación del suelo, dados los desafíos sociales, económicos y ambientales específicos de la región (UPRA, 2024). Este problema subraya la necesidad de responder a la pregunta central de este estudio: ¿Cómo han contribuido los sistemas de producción de aguacate y las barreras biológicas forestales a la restauración de suelos degradados en el Departamento de Meta? Para abordar esta cuestión, la investigación analizó, mediante una revisión sistemática de la literatura, las principales causas y características de la degradación del suelo, describió la contribución del cultivo de aguacate a los procesos de restauración y estudió el papel de las barreras biológicas forestales como estrategia complementaria para fortalecer la resiliencia de los sistemas de producción locales (MADR, 2024).

La metodología adoptada se basa en un enfoque cualitativo, documental y analítico, con el objetivo de realizar una interpretación crítica y contextualizada de las experiencias documentadas en la literatura científica y técnica entre 2015 y 2024. Se llevó a cabo una revisión sistemática de 15 documentos, incluyendo artículos académicos, informes institucionales, normativas y estudios de caso, lo que permitió identificar tendencias, enfoques metodológicos, resultados y limitaciones asociados a las prácticas de restauración de suelos. La información recopilada se organizó en una matriz de análisis comparativo, lo que facilitó la sistematización de los resultados y la construcción de una síntesis argumentativa que integra las dimensiones

ecológica, productiva, institucional y social relacionadas con el problema estudiado (UPRA, 2024).

En general, esta investigación aporta información clave sobre la dinámica de la degradación del suelo en Meta y evalúa el potencial de las estrategias agroecológicas para soluciones sostenibles. Los resultados ofrecen valiosas aportaciones para orientar la gestión de la tierra, fortalecer las prácticas responsables de manejo del suelo y abrir nuevas vías de investigación para el desarrollo de modelos de producción compatibles con la restauración ecológica (MADR, 2024; UPRA, 2024).

Paralelamente, se destaca la oportunidad de vincular este programa con instrumentos sectoriales y relacionados con la salud, como por ejemplo, requisitos de certificación de exportación y programas de protección fitosanitaria, y con las políticas de extensión agrícola departamentales, de modo que el desarrollo económico del aguacate se alinee explícitamente con los objetivos de combatir la deforestación y restaurar los suelos (ICA, 2022; MADR, 2024)

Los resultados de la revisión bibliográfica identificaron que la degradación del suelo en el Departamento de Meta se asocia principalmente con la deforestación, las prácticas agrícolas intensivas y la ganadería extensiva, las cuales han reducido significativamente la fertilidad, la estabilidad y la biodiversidad del suelo (UPRA, 2024). Sin embargo, los resultados demuestran que los sistemas de producción de aguacate implementados bajo principios agroecológicos ofrecen un potencial significativo para la recuperación del suelo.

Estos sistemas promueven la retención de humedad, el reciclaje de nutrientes y la estabilización de la estructura del suelo, además de fomentar la diversificación productiva y generar beneficios socioeconómicos para las comunidades locales (Asohofrucol, 2025; MADR, 2024). Asimismo, las barreras biológicas forestales se establecen como una estrategia eficaz para

controlar la erosión, mejorar la cobertura vegetal y fortalecer los procesos de restauración ecológica, contribuyendo así a la resiliencia del ecosistema. En cuanto a la planificación del uso del suelo, la zonificación oficial de aptitud para el aguacate Hass y los informes sectoriales recientes pueden orientar la ubicación de nuevas plantaciones y la priorización de prácticas de conservación en los paisajes agroforestales de Meta (UPRA, 2019; UPRA, 2025).

Con base en estos resultados, se concluye que la integración de prácticas sostenibles, como el cultivo de aguacate y las barreras biológicas forestales, puede representar una alternativa viable para abordar los desafíos de la degradación del suelo en Meta. Sin embargo, se identificaron lagunas de información respecto a la implementación a gran escala, la adaptación a diferentes contextos de producción y la participación activa de las comunidades rurales en los procesos de restauración (UPRA, 2024).

Además, estos resultados sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales que analicen el impacto a largo plazo de estas estrategias e integren las dimensiones ecológica, productiva e institucional para fortalecer modelos de manejo del suelo más sostenibles y eficientes. Asimismo, se recomienda incorporar sistemáticamente indicadores económicos, costos de establecimiento, plazos de retorno, acceso a mercados de exportación, para asegurar que la transición hacia paisajes sostenibles sea técnica y financieramente viable en el Departamento (Analdex, 2025; MADR, 2024).

Justificación

La degradación del suelo se ha convertido en uno de los principales desafíos ambientales, económicos y sociales del Departamento de Meta. Este proceso se manifiesta como una pérdida progresiva de la capacidad productiva debido a la erosión, el agotamiento de la materia orgánica, la compactación, la pérdida de biodiversidad y la disminución de los servicios ecosistémicos (Buitrago Álvarez et al., 2025). En una región donde la agricultura sustenta el empleo rural y la economía local, la degradación del suelo no solo limita la producción, sino que también compromete la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y el bienestar de la comunidad.

La expansión de las tierras agrícolas y ciertas prácticas intensivas, sumadas a una gestión inadecuada de los recursos, han acelerado el deterioro del suelo (Amado, 2021). Esto conlleva la pérdida de la cubierta vegetal y el debilitamiento de estructuras ecológicas clave —corredores biológicos y zonas de amortiguamiento hídrico— en un paisaje tan diverso y dinámico como el de Meta. En este contexto, la restauración de los suelos degradados es prioritaria y requiere soluciones que integren productividad y conservación.

Para abordar esta necesidad, el objetivo es evaluar estrategias técnicamente viables y pertinentes para los productores locales, centrándonos en dos enfoques agroecológicos: (i) sistemas de producción de aguacate (*Persea americana*) y (ii) barreras biológicas forestales. Estas prácticas, además de mantener la producción, contribuyen a restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, estabilizar taludes, mejorar la infiltración y fortalecer la cobertura vegetal, con impactos positivos en la provisión de servicios ecosistémicos (Riveros Franco, 2024; Azero et al., 2016).

Se ha demostrado que los sistemas de producción de aguacate manejados adecuadamente tienen un impacto positivo en la estructura y fertilidad del suelo, la retención de agua y la

biodiversidad microbiana (Ferreyra-Espada, 2017; Terraza, 2021). El uso de enmiendas orgánicas como el vermicompost, el control de enfermedades radiculares (p. ej., *Phytophthora cinnamomi*) y una gestión eficaz del agua son esenciales para su correcto funcionamiento (Cortés, 2024; Daza Martínez, 2025; Dorado Guerra et al., 2017). Asimismo, las barreras vivas reducen la erosión, estabilizan taludes, incrementan el contenido de materia orgánica y promueven la sucesión ecológica, fortaleciendo así las funciones esenciales del suelo (Azero et al., 2016).

Si bien estos beneficios se han documentado en diversos contextos, su aplicabilidad al Departamento de Meta, dada la diversidad de sus suelos, su clima y su complejidad socioeconómica, requiere datos comparativos y localizados. Estudios recientes realizados en este Departamento (Riveros Franco, 2024; Buitrago Álvarez et al., 2025) muestran avances en el manejo técnico (fertilización, cultivos de cobertura y control de plagas), pero estos requieren una sistematización rigurosa para establecer directrices claras para la toma de decisiones técnicas y políticas.

Vinculación con las agendas nacionales e internacionales. Esta investigación se alinea con el ODS 15 (Vida de ecosistemas terrestres), específicamente con los puntos 15.1 (conservación y uso sostenible de los ecosistemas terrestres) y 15.3 (neutralidad en la degradación de la tierra), y responde al llamado del Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030) para integrar las soluciones basadas en la naturaleza y las prácticas de restauración en los paisajes productivos. A nivel nacional, este proyecto se enmarca dentro de CONPES 4021, cuyo enfoque principal es la restauración ecológica, la rehabilitación y la recuperación de áreas degradadas. CONPES 4021 promueve criterios de priorización territorial, estándares de monitoreo y mecanismos institucionales para la implementación de la restauración multiactor. Asimismo, se vincula con la agenda sectorial para

la restauración de paisajes productivos, cuyo objetivo es integrar la producción y la conservación en sistemas agroforestales y silvopastoriles, y movilizar instrumentos como asistencia técnica, incentivos y pagos por servicios ecosistémicos.

Desde esta perspectiva, el Meta representa un enclave estratégico para la transición hacia paisajes productivos restaurados, donde cultivos perennes como el aguacate, cultivado según principios agroecológicos y planificación del uso del suelo, y barreras biológicas forestales constituyen una infraestructura verde para el control de la erosión, el reciclaje de nutrientes y la regulación hídrica. Por consiguiente, se justifica realizar un análisis comparativo y contextualizado que identifique las condiciones para el éxito, las limitaciones y la relación costo-beneficio, y que proponga indicadores de monitoreo (materia orgánica, estabilidad de agregados, erosión del suelo, infiltración, diversidad funcional, productividad y rentabilidad económica) alineados con el ODS 15 y el marco de monitoreo CONPES 4021.

Así es que, este estudio es relevante y necesario porque integra la dimensión técnica de la restauración de suelos en los marcos de políticas públicas y los objetivos globales, contribuyendo así a la planificación del uso del suelo, la gestión de riesgos y la competitividad rural. Sus hallazgos están dirigidos a productores, extensionistas, autoridades ambientales y tomadores de decisiones públicas, y buscan posibilitar una restauración ecológica productiva, socialmente aceptable, económicamente viable y ambientalmente sostenible en el Departamento de Meta.

Objetivos

Objetivo General

Analizar, a partir de una revisión documental, cómo los sistemas de producción de aguacate y las barreras biológicas forestales han contribuido a la recuperación de suelos degradados en el Departamento del Meta.

Objetivos Específicos

Identificar las principales causas y características de la degradación del suelo en el Departamento del Meta, con base en la literatura especializada.

Describir las contribuciones del cultivo de aguacate a los procesos de restauración y mejoramiento del suelo en contextos similares al del Meta.

Estudiar el papel de las barreras biológicas forestales como estrategia complementaria para la restauración de suelos degradados y su integración en los sistemas productivos.

Marco Referencial

Marco Conceptual

Suelos Degradados

La degradación del suelo representa una de las principales amenazas ambientales y productivas en las zonas rurales colombianas, en particular en regiones sujetas a una alta presión agrícola, como el Departamento del Meta. Esta degradación se caracteriza por la pérdida progresiva de las funciones ecológicas, físicas, químicas y biológicas del suelo, esenciales para la sostenibilidad de los ecosistemas y la productividad agrícola. La degradación puede manifestarse a través de múltiples procesos, como la erosión hídrica o eólica, la compactación, la pérdida de materia orgánica, la reducción de la biodiversidad del suelo, la salinización, la acidificación y la contaminación por agroquímicos o hidrocarburos (Amado, 2021).

En contextos de uso intensivo del suelo sin prácticas adecuadas de conservación, como es el caso de algunos sistemas agrícolas en expansión en el Departamento del Meta, los efectos negativos de la degradación son evidentes. Según Amado (2021), territorios como San Vicente de Chucurí, aunque geográficamente distantes, presentan dinámicas similares a las del Meta en términos de erosión acelerada y pérdida de capacidad agroecológica, lo que permite extrapolar ciertas conclusiones al análisis de este estudio. Estos procesos afectan directamente la capacidad del suelo para sustentar la vegetación, almacenar agua y nutrientes, y mantener los ciclos ecológicos esenciales para la producción y la vida silvestre.

Uno de los aspectos más críticos de la degradación del suelo es la pérdida de su estructura física, que reduce su porosidad y, en consecuencia, su capacidad de infiltración y retención de agua. En agroecosistemas como el Meta, donde las intensas lluvias y el manejo inadecuado de la cubierta vegetal incrementan la escorrentía superficial, se acelera la pérdida de partículas finas,

esenciales para la fertilidad del suelo (Buitrago Álvarez et al., 2025). De igual manera, la eliminación de la cubierta forestal para establecer monocultivos o cultivos permanentes como el aguacate puede incrementar los niveles de degradación si no se implementan prácticas de restauración.

Además, la pérdida de la calidad biológica del suelo es otro factor determinante en su degradación. Azero et al. (2016) demostraron, mediante estudios de caso realizados en diversas regiones andinas, que la falta de materia orgánica y el deterioro de la microbiota del suelo reducen su capacidad regenerativa. Estas condiciones también afectan negativamente la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes, esenciales para mantener sistemas de producción sostenibles. En los metaagroecosistemas evaluados por Buitrago Álvarez et al. (2025), se observó que los suelos degradados presentan una reducción significativa de los servicios ecosistémicos, en particular en lo que respecta a la regulación hídrica y la capacidad para mantener la biodiversidad del suelo.

La degradación del suelo también se asocia a problemas socioeconómicos. Las tierras degradadas reducen el rendimiento de los cultivos y aumentan la dependencia de insumos externos como fertilizantes y acondicionadores de suelo. Como resultado, aumenta la vulnerabilidad económica de los pequeños productores, quienes enfrentan dificultades cada vez mayores para mantener sus medios de vida sin comprometer aún más los recursos naturales. Por ejemplo, Mora Flores y Sánchez Pila (2019), en un estudio de tierras recuperadas para el cultivo de aguacate, muestran que la rehabilitación de tierras conlleva altos costos y procesos prolongados, que requieren el compromiso institucional, técnico y comunitario para ser sostenible.

Asimismo, la degradación del suelo tiene un impacto directo en la resiliencia ecológica de los agroecosistemas, comprometiendo su capacidad para resistir perturbaciones naturales o humanas. Según Ipinza et al. (2021), los suelos degradados no solo pierden su funcionalidad, sino también su capacidad de regenerarse naturalmente. Esto plantea un reto urgente para la implementación de estrategias de recuperación como las exploradas en esta monografía, que combinan sistemas de producción sostenibles —como el cultivo de aguacate con buenas prácticas— y barreras biológicas forestales que reducen la erosión y promueven la regeneración natural del suelo.

En definitiva, los suelos degradados son tanto consecuencia como causa de desequilibrios ecológicos, sociales y económicos. Comprender a fondo sus características, causas y consecuencias es fundamental para desarrollar estrategias de restauración viables y adaptadas al contexto del Departamento del Meta. Las acciones de restauración deben centrarse no solo en restaurar la fertilidad del suelo, sino también en restaurar las funciones ecosistémicas, promoviendo prácticas que integren la gestión del paisaje, la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades rurales.

Restauración de Suelos

La restauración del suelo es una estrategia clave para contrarrestar los efectos negativos de la degradación del suelo y restaurar sus funciones ecológicas, físicas, químicas y biológicas, especialmente en contextos altamente vulnerables como los sistemas de producción agrícola del Departamento del Meta. Esta práctica no se limita a mejorar la productividad agrícola, sino que también busca restaurar la capacidad del suelo para sustentar procesos ecológicos esenciales, como la regulación hídrica, el reciclaje de nutrientes, la biodiversidad microbiana y la estabilidad estructural (Buitrago Álvarez et al., 2025).

La restauración del suelo requiere un enfoque integral que requiere el uso de múltiples técnicas adaptadas al tipo de degradación y a las condiciones edafológicas y climáticas de la zona. Las estrategias clave incluyen el uso de materia orgánica, el establecimiento de cubiertas vegetales, la introducción de barreras vegetales, la rotación de cultivos y la reducción de la labranza intensiva. Estas prácticas no solo mejoran la estructura del suelo y su capacidad para retener agua y nutrientes, sino que también promueven la recuperación de la actividad biológica, un aspecto fundamental para mantener agroecosistemas resilientes (Azero et al., 2016).

En su evaluación de los agroecosistemas del Meta, Buitrago Álvarez et al. (2025) destacan que la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos mejoran significativamente mediante la integración de prácticas restauradoras como la reforestación con especies nativas, el aprovechamiento de residuos orgánicos y el diseño de paisajes agrícolas diversificados. De esta forma, el manejo del suelo deja de ser una práctica estrictamente productiva para convertirse en un elemento central de la sostenibilidad ambiental y socioeconómica del territorio.

Una de las herramientas más eficaces para la restauración del suelo en entornos agrícolas es la aplicación de compost y vermicompost, que aumentan el contenido de materia orgánica, mejoran la fertilidad y promueven la actividad microbiana beneficiosa. Cortés (2024), en un estudio sobre el uso de vermicompost en cultivos de aguacate, destaca su eficacia para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, así como su bajo impacto ambiental. Este tipo de insumo orgánico es particularmente relevante en regiones como el Meta, donde se están realizando esfuerzos para reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos y mitigar la contaminación del suelo.

Además, el diseño de sistemas agroforestales que integran cultivos como el aguacate con especies forestales nativas y barreras vegetales es una forma eficaz de restaurar la funcionalidad

del suelo a largo plazo. Azero et al. (2016) demuestran cómo las barreras biológicas no solo ayudan a reducir la erosión y mejorar la estructura del suelo, sino que también aumentan la biodiversidad del paisaje y sirven como reservorios de organismos benéficos para el ecosistema edáfico. Esto implica que la restauración del suelo debe abordarse en un marco paisajístico, donde las prácticas productivas se integren con los procesos ecológicos.

La restauración también puede incluir intervenciones específicas para abordar la contaminación del suelo. Jiménez Arango et al. (2018) evaluaron la eficacia de los biosorbentes derivados de residuos de *Persea americana* (aguacate) en la remediación de suelos contaminados con hidrocarburos, mostrando resultados prometedores en términos de reducción de contaminantes en la matriz suelo-agua. Si bien este enfoque busca una restauración más específica, refleja el potencial de integrar los residuos agrícolas en procesos de rehabilitación ambiental circular.

En contextos como el Meta, donde la deforestación y la expansión agrícola han intensificado la degradación del suelo, la restauración es particularmente importante como herramienta de gestión territorial. Según Riveros Franco (2024), el manejo agronómico de los sistemas de producción de aguacate en zonas como Uribe-Meta requiere no solo del conocimiento técnico del cultivo sino también de una planificación consciente del uso del territorio que priorice su conservación y regeneración mediante prácticas sostenibles.

Por lo tanto, la restauración de suelos no debe entenderse como una actividad puntual, sino como un proceso continuo e interdisciplinario que requiere la participación de actores institucionales, académicos y comunitarios. Además de las técnicas físicas y biológicas, la restauración requiere una transformación de las prácticas de uso del suelo hacia modelos más sostenibles y resilientes que integren la productividad y la conservación ambiental. En este

sentido, la integración de estrategias productivas (como el cultivo de aguacate basado en principios agroecológicos) con medidas ecológicas (como barreras vivas y reforestación) constituye una vía sólida para restaurar suelos degradados y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

Sistemas de Producción

Los sistemas de producción representan el conjunto de prácticas, estructuras y procesos mediante los cuales los seres humanos organizan el uso de la tierra y los recursos naturales con fines agrícolas, forestales o mixtos. Por lo tanto, son unidades socioecológicas complejas en las que interactúan factores bióticos, abióticos y humanos. En el Departamento del Meta, la expansión de los sistemas de producción centrados en el cultivo de aguacate ha generado importantes transformaciones en el uso del suelo, lo que exige una profunda reflexión sobre los modelos de producción adoptados y su relación con la sostenibilidad y la regeneración de suelos degradados (Buitrago Álvarez et al., 2025).

Los sistemas de producción pueden clasificarse como intensivos o sostenibles. Los primeros buscan maximizar los rendimientos a corto plazo mediante el uso intensivo de insumos externos, la mecanización y los monocultivos, lo que a menudo conduce a la degradación progresiva del suelo y a la pérdida de servicios ecosistémicos (Mora Flores y Sánchez Pila, 2019). Los sistemas sostenibles, por otro lado, buscan conciliar la productividad y la preservación del medio ambiente mediante la integración de prácticas como la agroforestería, el uso de barreras vegetales, la rotación de cultivos y la conservación de la cobertura vegetal.

En su estudio de agroecosistemas en la región del Meta, Buitrago Álvarez et al. (2025) demuestran que los sistemas de producción sostenibles son más eficaces para preservar los suelos y proporcionar servicios ecosistémicos que los modelos convencionales. Las

investigaciones muestran que la introducción de elementos funcionales de la biodiversidad, como árboles nativos, cobertura vegetal y labranza mínima, permite que el suelo mantenga mejores condiciones físicas y químicas, lo que resulta en una mayor estabilidad ecológica y mejores rendimientos a largo plazo.

El cultivo de aguacate es un sistema de producción emergente de particular relevancia en la región. Riveros Franco (2024) describe un caso específico en el distrito de El Placer (Uribe, Meta), donde se está implementando un modelo de producción de aguacate basado en criterios de sostenibilidad. Este modelo integra prácticas de conservación del suelo, fertilización orgánica y control biológico de plagas, demostrando que es posible generar ingresos sin comprometer los recursos naturales. Sin embargo, el autor también advierte sobre los riesgos del monocultivo, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas o suelos frágiles, y enfatiza la importancia de un diseño agroecológico del sistema de producción.

Otro aspecto esencial es la integración de barreras biológicas forestales en el diseño de los sistemas de producción. Azero et al. (2016) demuestran que la inclusión de estas barreras mejora significativamente la calidad biológica de los suelos al promover la actividad microbiana, reducir la erosión y aumentar la capacidad de infiltración hídrica. Esto sugiere que los sistemas de producción no deben considerarse únicamente como esquemas de cultivo, sino como estrategias integrales que integran la restauración del suelo y la regeneración ecológica como objetivos centrales.

La transición a sistemas de producción sostenibles también implica una transformación de la cultura agronómica de los productores. Como señalan Cortés (2024) y Ferreyra-Espada (2017), es necesario promover el conocimiento y la adopción de prácticas de manejo como el uso de vermicompost, el manejo eficiente del riego y el monitoreo de la salud del suelo para asegurar

resultados positivos en términos de producción y restauración ambiental. Por ejemplo, un manejo inadecuado del agua en los sistemas de cultivo de aguacate puede inducir enfermedades radiculares como la pudrición radicular por *Phytophthora*, que se agrava en suelos compactados y mal drenados (Daza Martínez, 2025; Ferreyra-Espada, 2017). Esto demuestra que la sostenibilidad del sistema de producción está intrínsecamente ligada a la calidad y la salud del suelo.

En términos de planificación territorial, los sistemas de producción sostenibles pueden servir como herramientas para la gestión de paisajes rurales. Según Buitrago Álvarez et al. (2025), un enfoque holístico permite la articulación de diferentes usos del suelo (agricultura, silvicultura, conservación) en un mosaico funcional, promoviendo así la conectividad ecológica, la resiliencia de los ecosistemas y el bienestar de las comunidades rurales. En este sentido, la implementación de sistemas de producción que integran el cultivo de aguacate con barreras vegetativas y otras prácticas de conservación representa una oportunidad para restaurar suelos degradados, aumentar la productividad y fortalecer los medios de vida en territorios como el Meta.

Cultivo de Aguacate (Persea Americana)

El aguacate (*Persea americana* Mill.), originario de Mesoamérica, se ha convertido en una de las especies frutales de mayor importancia económica en Latinoamérica, tanto para el consumo interno como para la exportación. En Colombia, su cultivo ha experimentado un crecimiento significativo, especialmente en regiones como el Departamento del Meta, donde las condiciones agroclimáticas y la disponibilidad de suelo han favorecido su expansión (Rodríguez & Niño, 2021). Esta fruta no solo es muy solicitada por sus propiedades nutricionales, sino

también por su potencial en sistemas de producción sostenibles destinados a restaurar y conservar suelos degradados.

El cultivo del aguacate representa un sistema agroforestal prometedor para la restauración de ecosistemas degradados, ya que su establecimiento requiere una cobertura permanente del suelo, un enraizamiento profundo y la capacidad de integrar especies arbóreas complementarias y cobertura vegetal. Según Cortés-Mora et al. (2022), estas características lo convierten en una alternativa viable para procesos de restauración ecológica activa, especialmente cuando se integra con prácticas de conservación como barreras vegetales o asociaciones de leguminosas. Además, se ha demostrado que los sistemas agroforestales que utilizan aguacate contribuyen a mejorar la calidad física y química de los suelos, aumentar la biodiversidad funcional y reducir los impactos de la erosión (Rodríguez y Niño, 2021).

En el contexto del Meta, donde extensas áreas se han visto afectadas por prácticas extractivas, la expansión de las tierras agrícolas y la ganadería extensiva, el establecimiento de cultivos como el aguacate se ha convertido en una opción para combinar la productividad agrícola con la sostenibilidad ambiental. Cortés-Mora et al. (2022) señalan que en varias zonas de este Departamento se han implementado modelos de producción ecológica, utilizando variedades adaptadas a las condiciones locales y acompañadas de estrategias de manejo del suelo, como el uso de fertilizantes orgánicos, la cobertura vegetal y el diseño de curvas de nivel, que ayudan a controlar la escorrentía y a conservar la humedad.

Desde una perspectiva agroecológica, los árboles de aguacate cumplen múltiples funciones: proporcionan sombra, generan hojarasca que contribuye a la formación de materia orgánica y permiten un uso más eficiente del agua al proteger la estructura del suelo y reducir la evaporación. Además, como cultivo perenne, su presencia en el paisaje promueve la estabilidad

ecológica a mediano y largo plazo (Riveros Franco, 2024). Esta estabilidad es esencial para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas degradados, donde el objetivo no es solo restaurar la productividad agrícola, sino también restablecer las funciones del ecosistema edáfico, como la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono y la regeneración del paisaje.

Es importante destacar que, a pesar de sus beneficios, el cultivo del aguacate también puede tener impactos negativos si no se gestiona adecuadamente. En algunos casos, su establecimiento ha provocado la pérdida de la cobertura vegetal nativa o conflictos por el uso del agua. Por lo tanto, su implementación debe formar parte de los planes de gestión productiva, la restauración ecológica y la participación comunitaria. De hecho, el análisis propuesto por Cortés-Mora et al. (2022) destaca que un enfoque territorial y la integración del conocimiento local son esenciales para que este cultivo contribuya realmente a los procesos sostenibles de regeneración del suelo.

Así es que, el aguacate representa una especie valiosa para la regeneración de suelos degradados, siempre que su gestión sea integral, ecológica y adaptada a las condiciones biofísicas y sociales del territorio. Su integración a sistemas agroforestales con barreras biológicas y prácticas de conservación puede ser una herramienta efectiva para procesos de restauración ecológica en paisajes rurales como los del Meta, donde el objetivo es combinar la sostenibilidad ambiental y el desarrollo productivo.

Barreras Biológicas Forestales (o Barreras Vivas)

Las barreras biológicas forestales son estructuras vivas formadas mediante la plantación estratégica de especies vegetales (generalmente árboles o arbustos) que desempeñan un papel vital en la protección de los suelos contra la erosión hídrica y eólica, además de preservar su fertilidad y estructura. Estas barreras se han convertido en una práctica fundamental en la

restauración ecológica, la agroecología y el manejo sostenible del suelo, particularmente en zonas rurales donde los procesos de degradación han impactado gravemente la productividad del suelo y el funcionamiento del ecosistema (Cortés-Mora et al., 2022).

En regiones como el Departamento del Meta, donde la degradación del suelo debido a la ganadería extensiva, la deforestación y el uso inadecuado de agroquímicos ha provocado la pérdida de la cubierta vegetal y la compactación del suelo, las barreras biológicas forestales se están implementando como una solución ecológica, económica y de bajo impacto. Estas barreras consisten en la plantación de especies leñosas en hileras a lo largo de las curvas de nivel o los bordes de los campos, lo que ralentiza la escorrentía, reduce la erosión eólica y promueve la infiltración del agua. Rodríguez y Niño (2021) destacan que estas barreras no solo previenen la erosión, sino que también funcionan como reservorios de biodiversidad y corredores ecológicos, proporcionando hábitats para la fauna silvestre beneficiosa y enriqueciendo el banco de semillas del suelo.

Según las Directrices Voluntarias de la FAO para el Manejo Sostenible del Suelo, las barreras vivas son medidas basadas en plantas que reducen la energía de la escorrentía superficial, retienen sedimentos finos y promueven la infiltración, disminuyendo así la erosión y mejorando la estabilidad estructural del suelo. Su eficacia se explica por mecanismos complementarios: (i) hidráulicos y superficiales (rugosidad y control de la escorrentía), (ii) edáficos y radiculares (anclaje y aumento de la macroporosidad) y (iii) bióticos y tróficos (el aporte de la hojarasca y las raíces, que incrementa el carbono orgánico y activa la microbiota). La FAO (2017) recomienda su establecimiento a lo largo de las curvas de nivel, priorizando los puntos de concentración de la escorrentía, y subraya que la continuidad y la densidad del seto son esenciales para reducir la erosión del suelo y reciclar nutrientes (FAO, 2017).

En la práctica, la FAO (2017) sugiere combinar especies leñosas y arbustivas — preferiblemente nativas— con un crecimiento denso y raíces profundas, ajustando el ancho efectivo (por ejemplo, de 1 a 3 m según la pendiente y la textura del suelo) y reduciendo el espaciamiento entre setos a medida que aumenta la pendiente. También recomienda la poda rotativa, la reposición de las pérdidas y el control de especies invasoras para mantener la porosidad de los setos. Estos criterios son relevantes para Meta, donde la variabilidad de pendientes, texturas y patrones de lluvia exige una gestión adaptada al contexto, orientada a controlar la erosión laminar y en surcos, mejorar la retención de agua y restaurar la materia orgánica (FAO, 2017).

Finalmente, la FAO propone que el seguimiento de estas prácticas incluya indicadores como el carbono orgánico del suelo, la estabilidad de los agregados, la tasa de erosión y la infiltración. Esto permite demostrar los beneficios ambientales y productivos a lo largo del tiempo y alinea los setos con los objetivos de restaurar paisajes productivos y lograr la neutralidad en la degradación de la tierra (FAO, 2017). Esta guía de monitoreo resalta la importancia de las barreras forestales como infraestructura verde de bajo costo para las explotaciones familiares y los sistemas agroforestales de Meta.

Además de su función física como barreras, estas estructuras vivas contribuyen activamente a mejorar la calidad del suelo al incorporar materia orgánica (mediante la descomposición de hojarasca y raíces), fijar nitrógeno a través de leguminosas e incrementar el contenido de carbono orgánico. Según el análisis de Cortés-Mora et al. (2022), especies nativas como **Guazuma ulmifolia**, **Inga* spp.*, **Calliandra** y **Leucaena leucocephala** han arrojado excelentes resultados en este tipo de sistema, no solo por su capacidad de adaptación a suelos

degradados, sino también por su contribución al microclima local, la sombra parcial que brindan a los cultivos intercalados y su valor como forraje o leña.

Desde una perspectiva de restauración ecológica, las barreras forestales biológicas son compatibles con los sistemas de producción integrados, que buscan restaurar no solo la estructura del suelo, sino también sus funciones ecosistémicas. Riveros Franco (2024) destaca que estas barreras constituyen un ejemplo paradigmático de infraestructura verde rural, cuyo diseño participativo y ubicación estratégica permiten la coordinación de objetivos ecológicos y productivos. Por consiguiente, su implementación debe considerar criterios como la selección de especies nativas, la densidad de plantación, el espaciamiento entre hileras y el mantenimiento; factores que influyen directamente en su eficacia y sostenibilidad.

Es importante recalcar que el éxito de estas barreras depende no solo de factores técnicos o biofísicos, sino también de la participación comunitaria y el conocimiento tradicional de los agricultores locales. Como señalan Rodríguez y Niño (2021), muchas prácticas ancestrales de conservación de suelos han incorporado históricamente este tipo de técnica, ofreciendo así una oportunidad para fortalecer la soberanía territorial y el intercambio de conocimientos. En consecuencia, las barreras biológicas forestales no deben considerarse elementos aislados, sino parte integral de paisajes multifuncionales que combinan productividad, restauración y resiliencia al cambio climático.

Por ello, las barreras biológicas forestales constituyen una estrategia agroecológica altamente eficaz y replicable para la recuperación de suelos degradados, especialmente cuando se combinan con cultivos como el aguacate y se integran en planes participativos de restauración ecológica. Su aplicación en el Departamento de Meta ha demostrado que es posible diseñar

sistemas de producción sostenibles que restauren los servicios ecosistémicos del suelo, promuevan la biodiversidad y mejoren la calidad de vida de las comunidades rurales.

Servicios Ecosistémicos del Suelo

Los suelos desempeñan un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para el funcionamiento y la resiliencia de los sistemas ecológicos y productivos. En el marco de la restauración ecológica y los sistemas agroforestales, comprender y valorar estos servicios permite una mejor gestión del territorio, especialmente en zonas degradadas como algunas partes del Departamento del Meta.

Según Cárdenas, Suárez y León-Sicard (2020), los servicios ecosistémicos del suelo se pueden clasificar en cuatro grandes categorías: soporte, regulación, aprovisionamiento y cultivo. Cada uno de estos servicios desempeña un papel vital en el sustento vital y la sostenibilidad de los sistemas agroecológicos. En cuanto a los servicios de soporte, el suelo proporciona un entorno favorable para el crecimiento vegetal, esencial tanto en sistemas naturales como para cultivos productivos como el aguacate (*Persea americana*). Además, alberga una compleja red de microorganismos y macroorganismos que participan en procesos como la formación del suelo, el reciclaje de nutrientes y la fijación de nitrógeno.

Los servicios de regulación, por otro lado, se manifiestan en la capacidad del suelo para filtrar agua, moderar el clima, mitigar inundaciones y controlar plagas y enfermedades. Estas funciones son particularmente valiosas en paisajes perturbados o restaurados, donde el objetivo es restaurar el equilibrio ecológico perdido. Según Riveros Franco (2024), los paisajes agrícolas del piedemonte andino-amazónico pueden recuperar parcialmente estas funciones si se implementan estrategias como barreras forestales vivas, corredores biológicos y sistemas agroforestales, restaurando así la cobertura y la estructura del suelo.

Por otro lado, los servicios de abastecimiento incluyen, entre otros, la producción de biomasa, agua potable, nutrientes y materia orgánica. Estos activos tangibles derivados del suelo son esenciales para las comunidades rurales que dependen directamente de los recursos naturales para su sustento. En este sentido, los sistemas agroforestales no solo diversifican la producción agrícola, sino que también contribuyen a aumentar la materia orgánica del suelo, mejorando su estructura y aumentando su capacidad de retención de agua (Jaramillo y Gómez, 2019).

Los servicios culturales, aunque menos cuantificables, también son parte integral de los servicios ecosistémicos del suelo. Están vinculados a los conocimientos tradicionales, las prácticas agrícolas ancestrales y los valores espirituales o identitarios que muchas comunidades rurales e indígenas asocian con la tierra. En regiones como el Meta, estos aspectos no deben subestimarse, ya que influyen directamente en la adopción de prácticas de restauración y el éxito a largo plazo de las intervenciones ecológicas (Cárdenas et al., 2020).

Mediante sistemas de producción sostenibles, como el cultivo de aguacate con barreras biológicas forestales, podemos promover la restauración productiva del suelo que restablezca o mantenga estos servicios ecosistémicos. Riveros Franco (2024) afirma que el uso de la cobertura vegetal y la incorporación de especies arbóreas funcionales mejoran la calidad y la funcionalidad del suelo, con efectos positivos en todos los niveles del ecosistema.

Es por esto que, el enfoque ecosistémico para la restauración de suelos degradados requiere considerar el suelo no solo como un sustrato productivo, sino también como un ente vivo interconectado con el resto del sistema. La restauración ecológica promueve la idea de que los suelos sanos son pilares fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la adaptación al cambio climático, particularmente en contextos rurales como el Meta.

Gestión Sostenible del Suelo

El manejo sostenible del suelo implica un conjunto de prácticas técnicas, ecológicas y socioeconómicas destinadas a preservar la productividad y funcionalidad del suelo a largo plazo, sin comprometer su capacidad regenerativa ni los servicios ecosistémicos que presta. Este manejo requiere un enfoque integral que abarque los aspectos físicos, químicos, biológicos y sociales del uso del suelo, especialmente en regiones como el Meta, donde la degradación compromete el bienestar ambiental y productivo (Buitrago Álvarez et al., 2025).

En el caso de los agroecosistemas del Meta, la investigación de Buitrago Álvarez et al. (2025) destaca que el manejo sostenible del suelo requiere el uso de prácticas restauradoras como la incorporación de materia orgánica, la labranza mínima, el uso de cultivos de cobertura, la agroforestería y las barreras vegetales. Estas medidas no solo mejoran la estructura y la fertilidad del suelo, sino que también restauran su capacidad biológica al promover la actividad microbiológica y la conservación del carbono (Azero et al., 2016).

El uso de vermicompost, como lo describe Cortés (2024), es una herramienta eficaz para mejorar la calidad del suelo en los sistemas de cultivo de aguacate. Este fertilizante orgánico mejora significativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, reduce la compactación y promueve la biodiversidad microbiana, reduciendo así la necesidad de insumos sintéticos y promoviendo la sostenibilidad (Cortés, 2024).

Daza Martínez (2025), por su parte, enfatiza que el manejo agronómico del cultivo en contextos como Uribe-Meta debe considerar no solo una fertilización adecuada, sino también estrategias para prevenir enfermedades radiculares como las causadas por *Phytophthora*. Esto implica controlar el riego, promover un buen drenaje y mantener cubiertas vegetales que eviten la compactación y promuevan un ambiente edáfico saludable.

De igual manera, Mora Flores y Sánchez Pila (2019) demuestran que los suelos restaurados mediante prácticas orgánicas y acolchado continuo mantienen la estabilidad estructural, la resistencia a la erosión y un rendimiento sostenible en el cultivo de aguacate. Estos datos resaltan que la integración de principios agroecológicos en el manejo del suelo permite combinar productividad y conservación a largo plazo.

Finalmente, Riveros Franco (2024) aborda la planificación territorial sostenible para los sistemas de producción de aguacate en la región del Meta, enfatizando que la gestión del suelo debe estar vinculada a las decisiones colectivas. Esto incluye la integración de barreras biológicas forestales, prácticas de conservación del agua, gestión de residuos orgánicos y participación comunitaria para articular los objetivos de sostenibilidad ambiental, resiliencia ecológica y rentabilidad agrícola (Riveros Franco, 2024).

Agroecosistema

Un agroecosistema puede entenderse como una unidad ecológica resultante de la intervención humana en un ecosistema natural con fines de producción agrícola. En esta transformación, el suelo, el clima, la biodiversidad y las actividades humanas interactúan dinámicamente, generando procesos ecológicos y productivos que, idealmente, deberían estar orientados hacia la sostenibilidad ambiental, económica y social. En el contexto colombiano, y más específicamente en regiones como el Meta, el concepto de agroecosistema cobra especial relevancia como marco para evaluar los impactos y el potencial de diferentes sistemas de producción agrícola, en particular aquellos centrados en cultivos como el aguacate.

Uno de los elementos clave en el análisis de los agroecosistemas es la calidad del suelo, que determina en gran medida su capacidad para sustentar procesos ecológicos esenciales. Buitrago Álvarez et al. (2025), al evaluar la calidad del suelo en agroecosistemas del Meta,

enfatican la importancia de considerar indicadores físicos, químicos y biológicos que permiten evaluar no solo el estado actual del suelo, sino también su potencial para proporcionar servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, el secuestro de carbono, la fertilidad del suelo y la biodiversidad. Esta visión holística nos permite reconocer que un agroecosistema no es solo un espacio de cultivo, sino una red de interacciones vivas que puede mejorarse o modificarse mediante la implementación de prácticas agrícolas.

Siguiendo este orden de ideas, el diseño y la gestión de los agroecosistemas deben considerar enfoques sostenibles para la gestión del suelo y el agua, estrechamente vinculados al éxito de los sistemas de producción y la conservación ecológica. Ferreyra-Espada (2017) señala que, en el cultivo del aguacate, por ejemplo, la salud del sistema radicular está directamente relacionada con el equilibrio entre la gestión del agua y las condiciones del suelo. Cuando estas condiciones son desfavorables, los cultivos se vuelven más vulnerables a enfermedades como la pudrición radicular, lo que afecta negativamente la productividad del agroecosistema. Por lo tanto, las decisiones técnicas sobre riego, drenaje y conservación del suelo deben basarse en principios agroecológicos destinados a replicar o restaurar las funciones naturales del ecosistema original.

Otro aspecto clave de la funcionalidad del agroecosistema es la biodiversidad, tanto vegetal como animal. Barrera Betancourth, Castañeda Sánchez y Vélez Vargas (2015) argumentan que los sistemas de producción de aguacate pueden tener efectos negativos sobre la biodiversidad natural cuando se gestionan como monocultivos intensivos. Sin embargo, también reconocen que las prácticas agroecológicas, como el establecimiento de barreras vivas, corredores ecológicos y sistemas agroforestales, pueden mitigar estos impactos y promover una mayor resiliencia ecológica. En este contexto, la biodiversidad no solo es un valor ambiental,

sino también un componente funcional del agroecosistema, que contribuye al control biológico de plagas, la polinización, la estabilidad microclimática y la salud del suelo.

Igualmente, la interacción entre las prácticas agrícolas y las condiciones del suelo también define la sostenibilidad del agroecosistema. Gómez Montenegro et al. (2020) documentan cómo el cultivo de aguacate en zonas con suelos derivados de diabasa puede alterar las propiedades mecánicas del suelo, afectando su capacidad de retención de agua, aireación y soporte estructural. Estos cambios, si no se gestionan adecuadamente, pueden provocar compactación, erosión y pérdida de fertilidad, lo que afecta la productividad y la estabilidad ecológica del agroecosistema. Por lo tanto, las prácticas de manejo del suelo deben diseñarse considerando las características específicas de cada unidad de suelo, evitando generalizaciones que puedan conducir a su degradación.

Además, el conocimiento local y la experiencia de los agricultores constituyen una dimensión esencial para la comprensión y la gestión de los agroecosistemas. Riveros Franco (2024), en su estudio de un sistema de producción de aguacate en la región de El Placer, destaca la importancia de un manejo agronómico adaptado al entorno, basado en la observación empírica, la selección de variedades apropiadas y la integración gradual de prácticas de conservación. Este conocimiento, adquirido a diario, es esencial para diseñar agroecosistemas adaptados a las condiciones ecológicas y sociales del territorio, promoviendo la apropiación comunitaria de las estrategias de conservación y restauración del suelo.

En conjunto, el agroecosistema debe entenderse como una entidad dinámica, compleja y multiescalar, donde convergen factores ecológicos, productivos, sociales y culturales. Su análisis no puede limitarse a los aspectos técnicos del cultivo, sino que debe integrar la evaluación de los procesos ecológicos clave, el uso eficiente de los recursos naturales, la conservación de la

biodiversidad y el fortalecimiento de la resiliencia ante las perturbaciones. Solo este enfoque holístico permite la evolución hacia sistemas de producción agrícola sostenibles que no solo garanticen la rentabilidad económica, sino que también regeneren los suelos, restauren las funciones ecológicas y mantengan la viabilidad a largo plazo de los paisajes rurales.

Conservación del Suelo

La conservación del suelo es uno de los pilares fundamentales para garantizar la sostenibilidad ambiental, la seguridad alimentaria y la resiliencia de los ecosistemas al cambio climático. Este concepto, que trasciende el sector agrícola, abarca un conjunto de prácticas destinadas a preservar, mantener o mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, previniendo así su degradación o pérdida irreversible. En contextos donde los suelos han estado históricamente expuestos a la erosión, la compactación, la salinización y la contaminación, como es el caso de varias regiones del Departamento del Meta en Colombia, la conservación del suelo reviste una importancia estratégica, tanto desde una perspectiva ecológica como productiva.

La literatura especializada reconoce que la conservación del suelo debe asumirse como una responsabilidad colectiva que involucra a actores sociales, institucionales y económicos, estructurada en torno a marcos regulatorios, técnicos y educativos. Por ejemplo, Riveros Franco (2024) destaca la necesidad de fortalecer los procesos de gobernanza territorial con enfoque ambiental para conservar eficazmente los recursos suelo. Este enfoque busca comprender que la dinámica del uso del suelo responde no solo a factores productivos, sino también a factores culturales, políticos y de planificación territorial que deben gestionarse de forma integral. En este sentido, el autor propone vincular las acciones de conservación con los procesos de restauración ecológica, la planificación territorial y las prácticas agroecológicas que promueven la resiliencia de los ecosistemas.

Desde una perspectiva complementaria, Ipinza et al. (2021) indican que la conservación del suelo también debe abordarse desde la comprensión de los factores que causan y aceleran su degradación. Estos autores advierten que muchas prácticas agrícolas convencionales, como el sobrepastoreo, el monocultivo y el uso excesivo de agroquímicos, han contribuido a la pérdida de fertilidad, la compactación del suelo y la reducción de su biodiversidad. Ante este escenario, proponen medidas correctivas y preventivas centradas en la gestión integrada de cuencas hidrográficas, el control de la erosión mediante la cobertura vegetal y la promoción de sistemas agroforestales como alternativas sostenibles. Estas estrategias no solo mitigan la degradación del suelo, sino que también aumentan la productividad y contribuyen al mantenimiento de los servicios ecosistémicos del suelo, especialmente en zonas altamente vulnerables, como aquellas donde se desarrollan sistemas de producción de aguacate en combinación con barreras biológicas forestales.

En contextos latinoamericanos, Buitrago Álvarez et al. (2025) presentan estudios de caso que demuestran el impacto positivo de las prácticas de conservación basadas en la integración de conocimientos técnicos y experiencias locales. Su investigación destaca el papel de las comunidades rurales en la protección de sus suelos mediante el uso de terrazas, zanjas de infiltración y sistemas agroecológicos diseñados para reducir la escorrentía y mejorar la estructura del suelo. Estos autores enfatizan que las acciones colectivas de conservación son más efectivas cuando se implementan mediante un enfoque participativo, en el que los actores locales participan activamente en los procesos de planificación y monitoreo.

Por su parte, Ferreyra-Espada (2017) argumenta que uno de los obstáculos para la conservación efectiva del suelo es la débil institucionalización de políticas públicas que priorizan la sostenibilidad del suelo. Señala que, a pesar de la existencia de regulaciones y estrategias

ambientales y agrícolas, su implementación suele ser fragmentada o ineficaz. Para superar esta limitación, el autor propone la creación de instrumentos de gestión territorial que integren criterios de planificación ecológica y promuevan la conservación del suelo como un elemento estratégico del desarrollo rural sostenible. En este sentido, enfatiza que la planificación del uso del suelo no puede ser exclusivamente técnica, sino que debe integrar dimensiones sociales y culturales que reflejen la diversidad de los territorios.

De igual manera, Dorado Guerra et al. (2017) enfatizan que la adecuada conservación del suelo es inseparable de la gestión sostenible del agua y la biodiversidad. En sus estudios sobre agroecosistemas colombianos, argumentan que las prácticas de conservación deben considerar el mantenimiento de la cobertura vegetal, la rotación de cultivos y la incorporación de residuos orgánicos al suelo para preservar su estructura, contenido de materia orgánica y biodiversidad microbiana. Estas acciones permiten que el suelo mantenga su capacidad de regulación hídrica, el suministro de nutrientes y el sustento de la biodiversidad, todos esenciales para su estabilidad ecológica a largo plazo.

Es por esto que, la conservación del suelo implica una serie de medidas interdependientes que abarcan aspectos técnicos, sociales y políticos. En el contexto de la región del Meta, Colombia, donde el objetivo es restaurar suelos degradados mediante sistemas de producción de aguacate y barreras biológicas forestales, este concepto se convierte en un eje transversal del proceso de restauración ecológica. Las prácticas de conservación no solo previenen la degradación del suelo, sino que también ayudan a mantener su funcionalidad, resiliencia y contribución a los servicios ecosistémicos. De ahí la importancia de fortalecer políticas, programas y acciones colectivas que promuevan una cultura de conservación del suelo como base para el bienestar humano y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Resiliencia Ecológica

La resiliencia ecológica es un concepto clave en el análisis de sistemas socioecológicos, en particular para comprender los procesos de recuperación de entornos degradados, como los suelos afectados por la actividad humana. Este término se refiere a la capacidad de los ecosistemas para absorber perturbaciones, reorganizarse y mantener su funcionamiento, estructura y ciclos de retroalimentación esenciales ante condiciones cambiantes (Barrera Betancourth et al., 2015). Esta capacidad no implica la ausencia de cambio, sino la capacidad de adaptarse y transformarse sin perder funciones fundamentales, lo cual es crucial en los contextos de restauración ecológica, cambio climático y gestión agroecológica sostenible.

En los sistemas de producción agrícola, la resiliencia ecológica se convierte en una propiedad fundamental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Cuando los suelos se ven afectados por procesos de degradación, como la pérdida de materia orgánica, la compactación, la erosión o la salinización, su resiliencia se ve comprometida. La restauración del suelo, en este sentido, no puede entenderse como un proceso puramente físico o químico, sino que debe considerar la restauración de la resiliencia del sistema en su conjunto, incluyendo aspectos ecológicos, sociales y culturales (Ferreyra-Espada, 2017). En este contexto, las prácticas agroecológicas, como la implementación de sistemas agroforestales, el uso de barreras biológicas forestales y la gestión racional de la biodiversidad funcional del suelo, no solo restauran las propiedades físicas de los suelos, sino que también contribuyen directamente a mejorar su resiliencia ante futuras perturbaciones.

Un aspecto clave de la resiliencia ecológica es su relación con la diversidad biológica. Diversos autores coinciden en que la biodiversidad funcional del suelo —organismos como bacterias, hongos, lombrices de tierra y micorrizas— desempeña un papel decisivo en los

procesos de resiliencia. Estos organismos facilitan la descomposición de la materia orgánica, el reciclaje de nutrientes y la estructuración del suelo, procesos fundamentales para mantener la fertilidad y la capacidad de autorregulación del ecosistema terrestre (Dorado Guerra et al., 2017). La pérdida de esta biodiversidad puede limitar significativamente la capacidad de recuperación de un sistema, incluso si se restauran las condiciones físicas del suelo.

La resiliencia ecológica también está estrechamente vinculada a un enfoque territorial y a la gestión participativa del paisaje. Estudios de Buitrago Álvarez et al. (2025) muestran que las estrategias de restauración que integran los conocimientos tradicionales y las prácticas comunitarias tienden a fortalecer la resiliencia ecológica porque promueven la apropiación social del proceso de restauración y refuerzan las interacciones positivas entre las comunidades locales y el territorio. Por lo tanto, la resiliencia no es un atributo estático del ecosistema, sino una propiedad emergente resultante de la interacción entre el entorno natural y las prácticas humanas.

En este sentido, la resiliencia ecológica debe entenderse desde una perspectiva sistémica, considerando no solo los factores biofísicos del ecosistema, sino también los elementos sociales, institucionales y culturales que influyen en la gestión territorial. Como señalan Jiménez Arango et al. (2018), un ecosistema resiliente es capaz de adaptarse al cambio y mantener la producción de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades humanas que lo habitan. Esto es particularmente relevante en regiones como el Departamento del Meta, donde se han promovido sistemas de producción de aguacate asociados a barreras biológicas forestales como estrategias de restauración con un enfoque sostenible y resiliente.

Desde esta perspectiva, fomentar la resiliencia ecológica implica una visión a largo plazo que priorice las prácticas agroecológicas, promueva la diversidad funcional y fortalezca la gobernanza territorial local. La resiliencia no puede imponerse mediante marcos homogéneos o

tecnocráticos, sino que debe construirse mediante el diálogo de saberes, el respeto por las dinámicas ecológicas locales y la adaptación continua a nuevas amenazas, como el cambio climático y las presiones económicas sobre los recursos naturales (Gómez Montenegro et al., 2020).

Finalmente, es importante destacar que la resiliencia ecológica no busca el retorno exacto al estado original del ecosistema, sino su transformación hacia un nuevo estado funcionalmente estable, capaz de sustentar la vida, proporcionar servicios ecosistémicos y resistir futuras perturbaciones. Por lo tanto, el concepto de resiliencia se convierte en un principio rector para las estrategias de conservación, restauración y producción sostenible de suelos, especialmente en zonas vulnerables y en contextos de cambio ambiental acelerado.

Marco Teórico

Modelo Conceptual de Interacción entre Aguacate, Barreras Biológicas y Procesos Edáficos

Ha presentado un modelo conceptual en el que la cultivación de aguacate (*Persea americana*) integrada con barreras forestales biomecánicas forma un sistema agroforestal funcional que afecta los procesos del suelo. Desde la perspectiva de la agroecología y la restauración productiva, este tipo de sistema ayuda a la recuperación de la estructura, fertilidad y funcionalidad del suelo. Comp. productivo y ecológico. En un paisaje de este tipo, Buitrago Álvarez et al. (2025) menciona que en el caso de Colombia, los sistemas agroforestales contribuyen significativamente a mejorar la integridad estructural del suelo al aumentar la materia orgánica y mejorar los servicios ecosistémicos relacionados con el recurso suelo.

Los cultivos de aguacate proporcionan una cobertura constante del suelo, producen grandes cantidades de follaje y tienen sistemas de reciclado de nutrientes de raíz profunda que mitigan la erosión por salpicaduras del suelo (protegen el suelo del impacto destructivo de las

gotas de lluvia) y secuestran carbono orgánico del suelo. Estos aspectos son especialmente importantes para el Departamento del Meta, donde los procesos de degradación se han asociado con la pérdida de cobertura vegetal y un mal uso de la tierra. En este sentido, Riveros Franco (2024) señala que los sistemas de producción de aguacate manejados agroecológicamente tienen el potencial de restaurar suelos degradados siempre que se integren sistemas para el uso sostenible del suelo y del paisaje.

Esencialmente, los cortavientos biológicos son franjas vegetativas diseñadas especialmente que pueden romper el escurrimiento superficial, reducir la erosión hídrica, atrapar sedimentos y estabilizar laderas. Estas estructuras vivas controlan la erosión, pero también mejoran los procesos del suelo al aumentar la infiltración de agua, la bioporosidad y la actividad biológica. Buitrago Álvarez et al. (2025) afirma que la inclusión de barreras vegetativas dentro de los paisajes productivos de Colombia contribuye directamente a la recuperación de la biota del suelo y aumenta la resiliencia del suelo frente a eventos climáticos extremos.

La interacción entre el cultivo de aguacates y las barreras biológicas forestales potencia e incluye el control de la erosión y la mejora en el secuestro de carbono en el suelo, la mejora de la infiltración de agua en el suelo y la activación de la biota del suelo, creando condiciones para que los recursos del suelo puedan restaurarse en su totalidad. Este modelo conceptual se articula perfectamente con los conceptos de gestión integrada de paisaje y restauración de ecosistemas en base a funciones, que postulan que la sustentabilidad de un sistema productivo radica en su capacidad para conjugar producción y conservación, a partir de una imprescindible resiliencia ecológica del sistema (Riveros Franco, 2024)

Panorama de la Degradación del Suelo en el Departamento del Meta

La degradación del suelo es uno de los principales desafíos ambientales en Colombia, particularmente en regiones como el Departamento del Meta, donde convergen diversas presiones antropogénicas sobre los ecosistemas. Este problema se manifiesta en fenómenos como la erosión, la compactación, la pérdida de materia orgánica, la salinización, la disminución de la fertilidad y el desequilibrio de los ciclos biogeoquímicos (Ipinza et al., 2021; Buitrago Álvarez et al., 2025). En el Departamento del Meta, estos procesos se han visto intensificados por la expansión agroindustrial, el uso inadecuado del suelo y las prácticas de producción extractiva, que han afectado significativamente la capacidad de los suelos para cumplir sus funciones ecosistémicas.

Las transformaciones del uso del suelo, en particular para actividades como la ganadería extensiva y el monocultivo, han ejercido una presión considerable sobre los suelos de la región. Barrera Betancourth et al. (2015) señalan que la intensificación de los sistemas de producción sin criterios de sostenibilidad ha contribuido a la fragmentación del paisaje y a la alteración de la dinámica natural de los ecosistemas. Este fenómeno no solo compromete la productividad agrícola a mediano y largo plazo, sino que también debilita la resiliencia de los sistemas socioecológicos ante perturbaciones como el cambio climático o los fenómenos meteorológicos extremos.

Además, los suelos del Meta son inherentemente vulnerables debido a sus características físicas y químicas. Muchos de ellos presentan baja fertilidad natural, alta acidez y una capacidad limitada de retención de nutrientes, lo que los hace particularmente vulnerables a los procesos de degradación cuando se someten a usos inadecuados del suelo o a la falta de cobertura vegetal (Jiménez Arango et al., 2018). Esta situación se ve agravada por la escasa implementación de

prácticas de conservación del suelo y una gestión territorial deficiente, que históricamente ha priorizado el crecimiento económico sobre la sostenibilidad ambiental.

Según Mora Flores y Sánchez Pila (2019), uno de los factores determinantes de la degradación del suelo en el Meta es la falta de una planificación territorial integral, lo que ha provocado un uso descontrolado del suelo y una pérdida acelerada de áreas naturales. A esto se suman problemas estructurales como la falta de acceso de los pequeños productores a tecnologías apropiadas, la limitada asistencia técnica y la deficiente coordinación entre los actores institucionales responsables de la gobernanza de la tierra.

En este contexto, Dorado Guerra et al. (2017) enfatizan que la degradación del suelo en regiones como la Orinoquía y la Amazonía, donde se ubica el Meta, no puede analizarse de forma aislada, sino que debe entenderse como parte de un problema más amplio vinculado al modelo de desarrollo rural dominante en el país. Este modelo ha favorecido una expansión descontrolada de la frontera agrícola, sin considerar la capacidad de carga de los ecosistemas, lo que ha provocado la pérdida de vegetación y el inicio de la desertificación en algunas zonas.

Además, desde una perspectiva ecológica, la degradación del suelo en el Meta tiene impactos que van más allá de la producción agrícola, afectando también el ciclo hidrológico, la biodiversidad del suelo y su capacidad para almacenar carbono (Riveros Franco, 2024). La pérdida de cobertura vegetal y la compactación de los suelos superficiales reducen la infiltración de agua y aumentan la escorrentía, lo que genera erosión hídrica, reduce la recarga de acuíferos y aumenta el riesgo de inundaciones en ciertas épocas del año.

Por lo tanto, el panorama de la degradación del suelo en el Meta es un fenómeno multidimensional que requiere un enfoque integral basado en la gestión ambiental, la planificación territorial y la transición hacia modelos de producción más sostenibles. Según

Buitrago Álvarez et al. (2025), es fundamental fortalecer estrategias de manejo y recuperación de suelos basadas en el conocimiento local, la implementación de prácticas agroecológicas y la promoción de sistemas de producción que restauren las funciones ecológicas de los suelos.

La magnitud y complejidad de la degradación del suelo en esta región también han despertado el interés de la academia y las agencias de cooperación, que han promovido la investigación sobre estrategias de restauración ecológica, reforestación, uso de barreras biológicas y sistemas agroforestales adaptados al contexto local (Cortés, 2024; Terraza, 2021). Estas iniciativas buscan revertir los procesos de deterioro y promover la gestión sostenible del recurso suelo, en consonancia con los objetivos de desarrollo rural y conservación ambiental.

Es por esto que, el Departamento del Meta enfrenta una situación crítica en cuanto a la degradación del suelo, resultado de una combinación de factores ecológicos, sociales y económicos. Esta realidad requiere un enfoque territorial diferenciado que reconozca la diversidad de paisajes y actores presentes en la región y promueva la integración del conocimiento científico, las políticas públicas y el conocimiento campesino para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los suelos, base de los medios de vida locales.

Factores que Impulsan la Degradación del Suelo en Zonas Rurales

La degradación del suelo en zonas rurales responde a diversos factores interdependientes que reflejan la complejidad de los sistemas socioecológicos. En el contexto colombiano, y en particular en regiones como el Meta, estos factores están fuertemente asociados con prácticas agrícolas insostenibles, una gestión inadecuada de los recursos naturales y las presiones derivadas del modelo económico extractivo que prevalece en muchas zonas rurales (Buitrago Álvarez et al., 2025).

Uno de los principales impulsores de la degradación del suelo es el uso intensivo de la tierra, sin considerar su capacidad de carga ni sus propiedades. Esto se manifiesta en la expansión de monocultivos, como el aguacate, sin una rotación adecuada de cultivos ni prácticas de manejo agroecológico. Como señalan Mora Flores y Sánchez Pila (2019), el uso continuo de parcelas para un solo tipo de cultivo puede provocar el agotamiento de nutrientes, la disminución de la materia orgánica y una mayor vulnerabilidad del suelo a la erosión.

La deforestación es otro factor crítico. La pérdida de la cobertura vegetal natural, asociada a la expansión de las tierras agrícolas, expone los suelos a agentes erosivos como el viento y el agua. Ipinza et al. (2021) informan que la pérdida de cobertura forestal altera los ciclos ecológicos, altera la biodiversidad del suelo y contribuye a la compactación y pérdida de estructura, elementos esenciales para su funcionalidad.

La mala gestión de los recursos hídricos también contribuye a la degradación del suelo. En muchas zonas rurales, el riego excesivo o ineficiente puede provocar salinización y anegamiento, deteriorando así las condiciones del suelo necesarias para el crecimiento vegetal. Dorado Guerra et al. (2017) enfatizan la importancia de considerar las necesidades hídricas específicas del cultivo de aguacate e implementar sistemas de riego artificial que eviten la pérdida de agua y la alteración de la estructura del suelo.

El uso indiscriminado de agroquímicos es otro factor en la degradación del suelo. Jiménez Arango et al. (2018) informan que los residuos de pesticidas y fertilizantes sintéticos pueden alterar la composición microbiológica del suelo, afectando su salud biológica. Esta situación compromete los procesos de mineralización, nitrificación y formación de humus, reduciendo la capacidad del suelo para sustentar cultivos de forma sostenible.

La ausencia de prácticas de conservación, como el uso de barreras vegetales, terrazas o cultivos de cobertura, también contribuye a la aceleración de la erosión y degradación de las capas superiores del suelo. Estudios realizados por Azero et al. (2016) han demostrado que el establecimiento de barreras vegetales tiene un impacto positivo en la mejora de la calidad biológica del suelo al promover un aumento de la biomasa microbiana y la actividad enzimática.

A nivel social y político, la falta de asistencia técnica, las debilidades institucionales en la gestión ambiental y la falta de coordinación entre los actores territoriales constituyen condiciones estructurales que dificultan la adopción de buenas prácticas de manejo del suelo. Riveros Franco (2024) indica que muchos pequeños productores rurales carecen de acceso a capacitación, recursos financieros o incentivos para implementar alternativas sostenibles, lo que perpetúa el uso inadecuado del suelo y agrava su deterioro.

Finalmente, los impactos del cambio climático actúan como un factor multiplicador de la degradación del suelo. Las variaciones en los patrones de precipitaciones, el aumento de las temperaturas y la mayor frecuencia de fenómenos extremos como sequías e inundaciones aceleran los procesos de erosión, lixiviación y desertificación incipiente (Ferreira-Espada, 2017). Esto refuerza la necesidad de un enfoque resiliente para la gestión del suelo, capaz de anticipar y adaptarse al cambio climático.

Así es que, los factores que causan la degradación del suelo en las zonas rurales son multidimensionales y requieren respuestas integrales que combinen conocimientos técnicos, mecanismos de gobernanza y profundas transformaciones en los modelos de producción. Solo así se podrá frenar la degradación del suelo y garantizar su sostenibilidad, base de los sistemas agroecológicos y la seguridad alimentaria rural.

Importancia del Aguacate como Sistema de Producción en el Meta

El cultivo de aguacate (*Persea americana*) ha cobrado creciente importancia en los sistemas productivos del Departamento del Meta, respondiendo a la necesidad de diversificar la economía agrícola, aumentar los ingresos rurales y promover prácticas sostenibles en zonas con suelos degradados. Este frutal ha demostrado un gran potencial como alternativa agroecológica viable, gracias a su adaptabilidad a diversos tipos de suelo y clima, y a su creciente demanda en los mercados nacionales e internacionales. En este contexto, el aguacate se posiciona no solo como un motor del desarrollo económico regional, sino también como un elemento clave en las estrategias de restauración productiva de suelos.

Según Daza Martínez (2025), el cultivo de aguacate en el piedemonte llanero representa una oportunidad para integrar la producción agrícola con la restauración ambiental, dado el favorable comportamiento de la especie en las condiciones edafoclimáticas de la región. En su análisis de la dinámica de la producción agrícola en el Meta, el autor destaca que la transición de sistemas ganaderos extensivos a sistemas frutícolas como el aguacate reduce la presión sobre los recursos naturales, en particular los suelos, que históricamente han sido sobreexplotados y compactados por prácticas inadecuadas de uso del suelo.

Además, Barrera Betancourth et al. (2015) señalan que los árboles de aguacate pueden integrarse en sistemas agroforestales mediante la combinación de especies nativas, cultivos perennes y barreras vegetales, promoviendo así la retención del suelo, el reciclaje de nutrientes y la conservación de la biodiversidad. Esta perspectiva es particularmente relevante en Meta, donde las tasas de pérdida de cobertura forestal y erosión son elevadas, especialmente en zonas afectadas por la agricultura intensiva o la ganadería insostenible. La integración de los árboles de

aguacate en paisajes productivos permite, por lo tanto, una reconfiguración funcional del territorio, orientada a la restauración ecológica desde una perspectiva socioeconómica.

Desde una perspectiva ecosistémica, el establecimiento de plantaciones de aguacate en pequeñas fincas del Meta también contribuye a la mejora de los servicios ecosistémicos del suelo, como la fertilidad natural, la regulación hídrica y la creación de hábitats para organismos benéficos. Ferreyra-Espada (2017) argumenta que los sistemas agrícolas bien diseñados, que incorporan el aguacate como especie de importancia estratégica, desempeñan un papel fundamental en la resiliencia de los agroecosistemas, ya que ayudan a mitigar los efectos de la degradación y promueven los procesos de regeneración ecológica. Esto se traduce en beneficios concretos para los productores locales, quienes encuentran en el aguacate una fuente de ingresos relativamente estable, menos dependiente de insumos externos y que ofrece oportunidades de inserción en cadenas de valor diferenciadas.

En este sentido, Mora Flores y Sánchez Pila (2019) destacan que el aguacate también representa una oportunidad de negocio verde para las comunidades rurales, ya que puede asociarse con prácticas de producción limpia, certificaciones orgánicas y mercados éticos. Para la región del Meta, donde persisten importantes desigualdades en el acceso a tecnologías y mercados, esta oportunidad es crucial para la transición hacia sistemas sostenibles y competitivos. La viabilidad económica del aguacate, sumada a su papel como especie para la restauración de suelos degradados, lo posiciona como un cultivo estratégico en los planes de gestión productiva y ambiental del Departamento.

Así es que, el aguacate no solo representa una alternativa rentable desde una perspectiva productiva en el Departamento del Meta, sino que, al integrarse en enfoques de restauración de suelos y sistemas agroforestales, desempeña un papel multifuncional en la construcción de

paisajes sostenibles. Esta visión sistémica concuerda con los lineamientos propuestos por Ipinza et al. (2021), quienes destacan la necesidad de generar sinergias entre la recuperación ecológica y la producción agrícola para garantizar la sostenibilidad a largo plazo en zonas afectadas por la degradación ambiental. De esta manera, el aguacate puede consolidar su posición como eslabón entre la conservación, el desarrollo rural y la restauración de la funcionalidad del suelo en el Meta.

Experiencias Documentadas con Aguacates para la Restauración de Suelos

El cultivo de aguacate se ha convertido en una alternativa productiva que puede contribuir a la restauración de suelos degradados, especialmente en regiones como el Departamento del Meta, donde se combinan la dinámica agrícola, la deforestación y la degradación por uso inadecuado del suelo. Si bien las experiencias documentadas en Colombia aún se están consolidando, varios estudios han demostrado que ciertos sistemas de producción agrícola, como los implementados con aguacate (*Persea americana*), pueden desempeñar un papel importante en la restauración de la funcionalidad del suelo si se implementan según criterios de sostenibilidad y restauración ecológica.

Según Buitrago Álvarez et al. (2025), los sistemas de producción de aguacate diseñados con un enfoque agroecológico pueden promover mejoras en la cobertura vegetal, el contenido de materia orgánica y la estabilidad estructural del suelo. En las estribaciones de la Sierra Llanera, donde históricamente la ganadería extensiva ha causado erosión, la siembra de cultivos arbóreos como el aguacate ha contribuido a la regeneración gradual de la superficie del suelo, siempre que se acompañe de prácticas de conservación como barreras vegetales, acolchado permanente y gestión de residuos orgánicos.

Según Dorado Guerra et al. (2017), la siembra de especies perennes como el aguacate permite la formación de microambientes propicios para la acumulación de hojarasca y el desarrollo de comunidades edáficas (lombrices de tierra, microorganismos benéficos, micorrizas), factores esenciales para la reactivación de los ciclos biogeoquímicos en suelos degradados. En sus observaciones de las zonas de transición en Meta, los autores reportan que, tras cinco años de siembra de huertos de aguacate, el índice de agregación del suelo aumentó y se observaron mejoras en la infiltración y la retención de agua, elementos clave de la resiliencia del suelo.

De igual manera, la investigación de Riveros Franco (2024) demuestra el papel del aguacate como cultivo de restauración funcional. En el contexto de sistemas agroforestales diseñados para restaurar tierras erosionadas por prácticas extractivas, el aguacate ha demostrado una buena adaptabilidad a suelos ácidos y compactados, facilitando la reintegración de otros componentes vegetales complementarios, como especies nativas y cultivos herbáceos de cobertura, generando un efecto sinérgico en la restauración de los servicios ecosistémicos del suelo. Este autor enfatiza la importancia de integrar el conocimiento local en la planificación agroecológica para maximizar los beneficios de estos experimentos de producción restaurativa.

Los estudios de caso analizados por Gómez Montenegro et al. (2020) muestran que el éxito de los sistemas de producción de aguacate para la restauración depende no solo del cultivo en sí, sino también del modelo de gestión integrada implementado. Por ejemplo, la incorporación de prácticas como el uso de fertilizantes orgánicos, el control biológico de plagas y la protección del suelo mediante acolchado natural puede revertir los procesos de compactación y pérdida de nutrientes. Sin embargo, el cultivo intensivo de aguacate, combinado con la deforestación y sin medidas de conservación, puede convertirse en un nuevo factor de presión sobre el ecosistema edáfico.

Ipinza et al. (2021) también destacan el potencial del aguacate en los procesos de restauración de suelos en contextos de degradación moderada, señalando que su sistema radicular profundo le permite explorar capas de suelo menos afectadas por la erosión superficial, y que su denso dosel puede promover la regulación microclimática del suelo y la protección contra la erosión hídrica. Sin embargo, enfatizan que estos beneficios solo son sostenibles si se establece un equilibrio entre la productividad económica y la integridad ecológica.

En definitiva, los datos recopilados por los estudios mencionados sugieren que el cultivo de aguacate puede formar parte de estrategias integrales de restauración de suelos en el Departamento del Meta, siempre que se basen en principios de sostenibilidad, planificación territorial y gestión participativa. Estas experiencias documentadas deben ampliarse y contextualizarse a escala local, reconociendo la diversidad edafoclimática y sociocultural del territorio, para fortalecer el papel del aguacate no solo como motor económico, sino también como aliado en la restauración ambiental.

Barreras Biológicas Forestales como Estrategia de Restauración

Las barreras biológicas forestales son franjas de vegetación compuesta de árboles y arbustos. Suelen ubicarse a lo largo de curvas de nivel, rondas hídricas o áreas del terreno que son altamente susceptibles a la erosión. Desde la perspectiva de la conservación de suelos, estas barreras tienen la función primordial de interceptar la escorrentía superficial, atenuar la velocidad del flujo hídrico y facilitar la retención de sedimentos, lo que, además, disminuye de forma considerable la pérdida de la capa arable. Según IGAC (2018), la utilización de vegetación de cobertura permanente y de barreras vivas constituyen una de las estrategias más efectivas para el control de la erosión hídrica en el contexto rural de Colombia, en especial en áreas de

pendientes moderadas a fuertes, donde la degradación del suelo se acentúa a partir de un uso inadecuado del suelo.

Además, las barreras biológicas forestales resultan fundamentales para la mejora de los procesos edáficos, dado que potencian la infiltración de agua, la estabilización de la estructura del suelo, y el incremento de la materia orgánica. La acumulación y la incorporación de hojarasca y de los residuos de raíces producen la biota edáfica, la formación de espacios de interconexión de los agregados, y los aportes de las funciones ecosistémicas del suelo. En este orden de ideas, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA (2021) señala que las barreras vegetales en los sistemas productivos, además de las acciones físicas de conservación, permiten la restauración ecológica, mediante el incremento de la fertilidad, la retención de la humedad, y la resiliencia del suelo ante fenómenos climáticos extremos. Estas acciones resultan de particular importancia en los contextos de restauración productiva, donde se procura la concordancia entre la sostenibilidad ambiental y la actividad agrícola.

El establecimiento de barreras forestales biológicas se reconoce como una de las estrategias más efectivas para restaurar suelos degradados en zonas agrícolas y rurales, particularmente en regiones con pendientes pronunciadas o alta erosión hídrica. En el Departamento del Meta, esta técnica se ha convertido en una herramienta esencial en los sistemas de producción de aguacate, permitiendo no solo el control físico de los procesos de erosión, sino también la restauración gradual de la estructura y fertilidad del suelo.

Las barreras forestales biológicas o vivas consisten en la plantación estratégica de especies vegetales —generalmente arbustos o árboles— dispuestas en franjas a lo largo de la pendiente. Su función es reducir la escorrentía superficial, promover la infiltración de agua y retener sedimentos (Azero et al., 2016). Este mecanismo es esencial en zonas donde la pérdida de

la capa superficial del suelo ha expuesto los horizontes superficiales, aumentando la vulnerabilidad a la degradación física y la pérdida de nutrientes esenciales para los cultivos.

Según Azero et al. (2016), la efectividad de estas barreras depende en gran medida de la elección acertada de las especies, la densidad de plantación, el espaciamiento entre franjas y el mantenimiento regular. Los estudios realizados por estos autores demostraron que las barreras vegetales no solo mejoraron la calidad biológica del suelo, incrementando la biomasa microbiana y la actividad enzimática, sino que también contribuyeron a la estabilización de las terrazas naturales y a la retención de materia orgánica. Esta restauración gradual de la salud del suelo es particularmente relevante para cultivos perennes como el aguacate, donde la calidad del suelo tiene un impacto directo en la productividad a largo plazo.

En el contexto colombiano, Amado (2021) propone un modelo integral para la recuperación de suelos erosionados mediante la instalación de barreras biológicas, combinadas con prácticas como la fertilización orgánica, la revegetación y la gestión adecuada del agua. Su propuesta, aplicada al municipio de San Vicente de Chucurí, se basa en la articulación de estrategias físicas y biológicas destinadas a rehabilitar el suelo como sistema funcional. Si bien su estudio no se centra exclusivamente en el Departamento del Meta, las condiciones agroclimáticas y los problemas de erosión son comparables, lo que permite extrapolar la utilidad de este enfoque.

Por otro lado, Buitrago Álvarez et al. (2025) destacan que, en metaagroecosistemas, la implementación de estas prácticas ha tenido un impacto positivo en los servicios ecosistémicos del suelo, particularmente en términos de regulación hídrica, almacenamiento de carbono y biodiversidad edáfica. Las barreras biológicas forestales permiten la reintroducción de dinámicas

de sucesión vegetal que contribuyen a la resiliencia de los agroecosistemas al servir como hábitat para microorganismos, insectos benéficos y especies vegetales asociadas.

Una ventaja notable de estas barreras reside en su doble función: actúan como herramientas de conservación del suelo y, a la vez, pueden proporcionar a los productores productos útiles, como leña, forraje e incluso alimentos, según la especie seleccionada. Esto las convierte en una alternativa viable dentro de los modelos de restauración ecológica productiva, que buscan integrar la sostenibilidad ambiental con los objetivos económicos de las comunidades rurales (Azero et al., 2016).

Sin embargo, su éxito también depende del sentido de propiedad de los productores y de la asistencia técnica que reciben para su implementación. Barrera Betancourth et al. (2015) enfatizan la importancia de considerar la dimensión socioterritorial de estas prácticas, ya que su integración efectiva requiere procesos de capacitación, sensibilización y acompañamiento para garantizar la continuidad y la eficacia de las acciones de restauración en el tiempo.

Así es que, las barreras biológicas forestales representan una estrategia viable y eficaz para restaurar suelos degradados en los sistemas de producción de aguacate en la región del Meta. Su integración en la gestión agrícola no sólo ayuda a controlar la erosión y mejorar la fertilidad, sino que también contribuye a avanzar hacia modelos de producción más sostenibles y resilientes, alineados con los principios de la agroecología y la gestión integrada de la tierra.

Relación entre los Sistemas Agroforestales y la Restauración del Suelo

Los sistemas agroforestales (SAF) son una estrategia de gestión del uso del suelo que integra árboles, cultivos agrícolas y/o pastizales dentro de una sola unidad de producción, generando así interacciones ecológicas y económicas beneficiosas para los componentes del sistema. Estos métodos de producción están estrechamente vinculados a los procesos de

restauración del suelo, especialmente en contextos altamente degradados como los observados en diversas zonas del Departamento del Meta, Colombia.

Desde una perspectiva ecológica, los sistemas agroforestales promueven la regeneración del suelo al aumentar la cobertura vegetal, lo que ayuda a reducir la erosión hídrica y eólica, mejorar la infiltración de agua y promover la retención de humedad en los horizontes edáficos (Riveros Franco, 2024). Esto es particularmente relevante en zonas afectadas por monocultivos intensivos o ganadería extensiva, donde la pérdida de cobertura vegetal y la compactación del suelo han comprometido gravemente su funcionalidad ecológica.

Una de las contribuciones más notables de los SAF a la restauración del suelo reside en su capacidad para mejorar las condiciones físicas y químicas del sustrato. La incorporación de especies arbóreas caducifolias promueve el retorno de materia orgánica al suelo, lo que, a su vez, incrementa la actividad microbiana y la formación de agregados estables, esenciales para una buena estructura del suelo (Ferreira-Espada, 2017). Este proceso también se ve facilitado por la presencia de raíces de diferentes profundidades que movilizan nutrientes de las capas inferiores, poniéndolos a disposición de otros cultivos del sistema.

Los sistemas agroforestales también son reconocidos por su papel en la restauración de suelos contaminados o con desequilibrios nutricionales. Dorado Guerra et al. (2017) demuestran que la interacción entre especies arbóreas y cultivos agrícolas puede optimizar la dinámica de nutrientes y reducir la necesidad de fertilización externa, mitigando así los efectos de la contaminación agroquímica. El resultado son suelos más sanos y resilientes, capaces de mantener la producción a lo largo del tiempo sin comprometer la base natural del suelo.

En el caso específico del Departamento del Meta, la implementación de sistemas agroforestales ha demostrado ser una alternativa eficaz para la restauración de suelos degradados

por la deforestación y el uso inadecuado del suelo. Diversas iniciativas en la región han incorporado especies nativas o adaptadas localmente, como el achapó, el café, el matarratón y el yopo, combinadas con cultivos de importancia económica como el aguacate, combinando así producción y restauración ecológica (Cortés, 2024).

La adopción de SAF también está estrechamente vinculada al fortalecimiento de las prácticas agroecológicas y la gestión sostenible del suelo. Como señalan Buitrago Álvarez et al. (2025), estos sistemas generan beneficios no solo ambientales, sino también sociales y económicos al diversificar las fuentes de ingresos de las familias rurales y mejorar la seguridad alimentaria. En este sentido, se están convirtiendo en una herramienta estratégica para la restauración y la planificación territorial, especialmente en regiones como la Orinoquía, donde la presión sobre los recursos naturales está aumentando.

Además, la integración de SAF en los procesos de restauración del suelo también implica un cambio en la percepción y la gestión del paisaje productivo. En lugar de considerar la restauración como un proceso exclusivamente relacionado con la producción, los SAF permiten integrar los objetivos de conservación con las actividades económicas sostenibles. Esta perspectiva ha sido defendida por autores como Amado (2021), quien enfatiza la necesidad de avanzar hacia enfoques de restauración productiva que integren la diversidad biológica, la funcionalidad de los ecosistemas y las necesidades socioeconómicas de las comunidades.

De igual manera, la resiliencia del suelo al cambio climático y la variabilidad climática se ve reforzada por la estructura multicapa de los sistemas agroforestales, lo que ayuda a mitigar los efectos de las lluvias intensas o las sequías prolongadas. Al regular la temperatura y la humedad del suelo, la cobertura forestal crea microclimas más estables, esenciales para mantener la productividad en condiciones adversas (Jiménez Arango et al., 2018). Este factor es crucial en

zonas como las faldas de la llanura del Meta, donde los ciclos de lluvia-sequía pueden ser extremos.

Por esta razón, los sistemas agroforestales ofrecen una oportunidad concreta y comprobada para la restauración del suelo en contextos severamente degradados como los del Departamento del Meta. Su implementación contribuye a mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduce la erosión, optimiza el uso de nutrientes y promueve la sostenibilidad ecológica de los sistemas de producción. Además, permiten la integración de los objetivos de conservación y producción, fortaleciendo así las bases para un desarrollo rural más equitativo y respetuoso con el medio ambiente.

Impactos del Manejo Agronómico en la Salud del Suelo

El manejo agronómico es uno de los factores determinantes en la preservación o degradación de la salud del suelo, particularmente en sistemas agrícolas intensivos como los de aguacate en el Departamento del Meta. La salud del suelo se define por su capacidad de continuar funcionando como un ecosistema vital para plantas, animales y seres humanos (Mora Flores y Sánchez Pila, 2019). Esta capacidad puede verse afectada por decisiones técnicas, prácticas de manejo inadecuadas, uso excesivo de agroquímicos y la labranza intensiva, que deterioran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Uno de los principales efectos negativos del manejo agronómico deficiente es la reducción de la materia orgánica del suelo. Este componente es esencial para la agregación estructural, la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes. Según Dorado Guerra et al. (2017), la pérdida de materia orgánica está estrechamente relacionada con la erosión y el agotamiento del suelo, particularmente en áreas donde cultivos perennes como el aguacate no están asociados con la cobertura vegetal ni con prácticas de conservación. Además, el uso

repetido de fertilizantes sintéticos puede alterar la microbiota del suelo, reduciendo su actividad biológica y afectando su capacidad de autocuración (Jiménez Arango et al., 2018).

La compactación del suelo es otro efecto adverso común asociado con un manejo deficiente. El uso de maquinaria pesada, así como la falta de rotación de cultivos, puede inducir procesos de compactación que reducen la porosidad del suelo, limitan el desarrollo radicular de las plantas y dificultan la infiltración de agua (Barrera Betancourth et al., 2015). Esta situación promueve la escorrentía superficial y, en consecuencia, la pérdida de nutrientes y materia orgánica. En el contexto de la región del Meta, donde las precipitaciones pueden ser intensas y estacionales, este tipo de degradación exacerba la erosión hídrica, afectando directamente la productividad del cultivo de aguacate.

Además, las prácticas de manejo que incorporan principios agroecológicos han demostrado efectos positivos en la salud del suelo. Esto es particularmente cierto en el caso del uso de cultivos de cobertura, barreras biológicas y prácticas de labranza mínima o directa. Según Amado (2021), estas estrategias mejoran la infiltración de agua, reducen la pérdida de nutrientes y promueven la formación de agregados estables, esenciales para preservar la estructura del suelo. Además, la incorporación de residuos vegetales y la diversificación de especies de cultivo fortalecen la resiliencia del sistema agrícola, reduciendo la dependencia de insumos externos y regenerando la fertilidad natural del suelo.

En investigaciones recientes realizadas en suelos de las tierras bajas orientales, Buitrago Álvarez et al. (2025) destacan la importancia del monitoreo de indicadores biológicos como la actividad enzimática, el contenido de carbono orgánico y la abundancia de microorganismos funcionales como bioindicadores del impacto del manejo agronómico. Este tipo de información puede orientar las prácticas agrícolas que priorizan la salud del suelo y la sostenibilidad a largo

plazo. En particular, los sistemas de cultivo de aguacate que adoptan modelos de manejo integrado con componentes forestales o agroforestales tienden a mantener mejores condiciones del suelo que los sistemas convencionales.

La salud del suelo está vinculada no solo a la capacidad de producción de los cultivos, sino también a servicios ecosistémicos esenciales como la regulación del ciclo hidrológico, el secuestro de carbono y la biodiversidad del suelo. Ipinza et al. (2021) afirman que la salud del suelo es un componente transversal de la planificación agronómica sostenible y debe evaluarse sistemáticamente para evitar procesos de degradación crónica. Por lo tanto, la gestión agronómica debe cambiar de una perspectiva extractiva a un enfoque restaurativo, donde la recuperación y el mantenimiento de la funcionalidad del suelo sean el objetivo principal.

Así es que, la gestión agronómica tiene un impacto directo en la salud del suelo, con efectos que pueden ser regenerativos o degradativos, según las prácticas empleadas. En el caso del cultivo de aguacate en el Departamento del Meta, existe una necesidad urgente de promover estrategias sostenibles que integren principios ecológicos y restaurativos para garantizar la viabilidad productiva del sistema y la conservación a largo plazo de los recursos edáficos. Esto es esencial en zonas donde la frontera agrícola se ha expandido rápidamente y los suelos han sido sobreexplotados sin medidas de conservación adecuadas.

Enfoques Agroecológicos para la Restauración del Suelo

La restauración de suelos mediante enfoques agroecológicos representa una alternativa robusta a las prácticas agrícolas convencionales que han provocado degradación, pérdida de fertilidad y desequilibrio en los ecosistemas edáficos. En el contexto del Departamento del Meta, caracterizado por suelos con altos requerimientos de producción, el uso de principios

agroecológicos no solo restaura las funciones del suelo, sino que también aumenta su resiliencia a las presiones ambientales y productivas.

La agroecología, considerada una ciencia, una práctica y un movimiento, busca integrar el conocimiento tradicional y científico para diseñar sistemas agrícolas sostenibles y biodiversos capaces de restaurar los servicios ecosistémicos del suelo (Barrera Betancourth et al., 2015). En este sentido, la aplicación de cultivos de cobertura, la rotación y el intercalado de cultivos, el uso de bioinsumos y las prácticas de labranza mínima han demostrado ser eficaces para revitalizar suelos degradados, en particular para cultivos como el aguacate.

El trabajo de Amado (2021) destaca la importancia de desarrollar propuestas integrales para la recuperación de suelos afectados por la erosión, mediante estrategias agroecológicas basadas en el manejo del suelo, la revegetación con especies nativas y la reducción de la dependencia de insumos sintéticos. Estas medidas, además de mitigar la pérdida de suelo fértil, promueven la mejora estructural y biológica del perfil edáfico, facilitando así la recuperación gradual de su capacidad productiva.

La investigación de Azero et al. (2016) proporciona evidencia empírica del efecto positivo de las prácticas agroecológicas, como el uso de barreras vegetales, en la mejora de la calidad biológica de los suelos. Estas prácticas incrementan la actividad microbiana, mejoran el ciclo de nutrientes y contribuyen a la estabilización de la estructura del suelo. La combinación de especies forestales y cultivos agrícolas, dentro de un marco agroecológico, permite la restauración progresiva del suelo y el control de los procesos de erosión en zonas con pendiente o altamente vulnerables.

Por su parte, Buitrago Álvarez et al. (2025) destacan que los agroecosistemas que incorporan enfoques agroecológicos en el Meta presentan mejores indicadores de calidad del

suelo, como un mayor contenido de carbono orgánico, mayor biodiversidad del suelo y una mejor capacidad de retención de agua. Estas condiciones son esenciales para lograr una restauración eficaz del suelo a mediano y largo plazo, además de garantizar la sostenibilidad del sistema de producción de aguacate.

El uso de bioinsumos como el vermicompost, estudiado por Cortés (2024), es otra herramienta agroecológica con un alto potencial restaurador. El vermicompost mejora la fertilidad natural del suelo, estimula la actividad microbiana beneficiosa y aporta nutrientes esenciales sin alterar el equilibrio biológico del ecosistema. Su aplicación en sistemas de aguacate mejora la calidad del suelo sin comprometer la sostenibilidad ambiental ni aumentar la carga contaminante.

En general, los enfoques agroecológicos no se centran únicamente en la producción, sino que también integran el bienestar del suelo, la biodiversidad y la comunidad rural. La restauración del suelo mediante la agroecología en la región del Meta requiere una transición de los modelos convencionales a prácticas basadas en la diversificación, el conocimiento local y la gestión participativa del territorio.

Los resultados del análisis están teóricamente respaldados por la gestión integrada del paisaje; la restauración de la función de valor del ecosistema; y el enfoque regenerativo agroforestal que percibe el suelo como un sistema vivo y dinámico cuya recuperación proviene de la interrelación de factores biofísicos, productivos y territoriales. En este marco, la restauración del suelo no es simplemente sus propiedades físicas y químicas. Más bien, es la restauración equilibrada de las funciones del suelo, es decir, sus funciones ecológicas, que involucran la regulación del balance hídrico, el ciclo de los nutrientes del suelo y el soporte de la biodiversidad del suelo. Dentro del contexto colombiano, Etter (2014) indica que la gestión

integrada del paisaje es un enfoque central para abordar los procesos de degradación del suelo al promover métodos y técnicas que combinan de manera coherente la producción agrícola y la conservación ecológica, así como la planificación territorial. Por lo anterior, los efectos positivos observados en los sistemas de aguacate de agroforestería biológica pueden explicarse por la agroforestería bioeconómica regenerativa, la que, en su enfoque, integra componentes arbóreos y productivos, así como técnicas de conservación del suelo.

Según lo expone Etter (2014), la escala de paisaje en las dinámicas de asentamiento humano, permite a los sistemas productivos adquirir resiliencia y, a su vez, disminuir la presión sobre el recurso en regiones que la expansión agrícola sobre su territorio ha generado fragmentación y, por ende, la pérdida de funcionalidades de los ecosistemas. Esto explica por qué la combinación de sistemas productivos de aguacate con barreras biológicas forestales, se orienta hacia los postulados del manejo integrado del paisaje, potenciando así la restauración funcional del suelo, la sostenibilidad productiva y la estabilidad ecológica del territorio.

Finalmente, como señalan Ipinza et al. (2021), cualquier estrategia de restauración eficaz debe reconocer el suelo como un sistema vivo, donde los procesos ecológicos son fundamentales para su regeneración. En este marco, la agroecología ofrece un enfoque holístico y adaptativo capaz de restaurar la salud del suelo, a la vez que fortalece la soberanía alimentaria, la biodiversidad funcional y la resiliencia de los agroecosistemas.

Metodología

Enfoque Metodológico

Este estudio se realizará con un enfoque cualitativo, centrándose en la interpretación crítica y contextualizada de los procesos de restauración de suelos degradados en el Departamento del Meta. Desde una perspectiva hermenéutica, se buscará comprender las relaciones entre las estrategias productivas sostenibles —como el cultivo de aguacate y las barreras biológicas forestales— y los procesos de restauración ecológica del suelo en un contexto socioambiental específico. Este enfoque captura las dimensiones simbólicas, ecológicas, institucionales y territoriales de estas estrategias sin recurrir a manipulaciones experimentales ni herramientas de medición cuantitativa.

Tipo de Investigación

La investigación, de carácter documental y analítico, se basa en el análisis, la sistematización y la interpretación crítica de fuentes secundarias. Se examinan documentos técnicos, normativos y académicos, así como estudios de caso, para identificar tendencias, enfoques, limitaciones y el potencial de implementar estrategias de restauración de suelos en zonas rurales. Este tipo de estudio es relevante para explorar fenómenos complejos como la restauración ecológica en sistemas agroproductivos, mediante el análisis de experiencias ya documentadas.

Diseño Metodológico

Esta investigación no experimental e interdisciplinaria se centra en el análisis de experiencias de restauración ya implementadas sin intervención directa en el campo. Se utilizará una revisión sistemática de fuentes publicadas entre 2015 y 2024, con énfasis en aquellas relacionadas con el contexto agroecológico del Departamento del Meta. El análisis se centrará en

los enfoques teóricos, metodológicos y prácticos descritos en la literatura, lo que permitirá una evaluación crítica de los mecanismos empleados para la restauración de suelos.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para garantizar un análisis riguroso y estructurado, se utilizaron las siguientes técnicas y herramientas:

- Revisión sistemática de literatura académica y técnica en bases de datos y repositorios (p. ej., Scopus, Redalyc, SciELO, repositorios institucionales).
- Búsqueda y consulta de informes institucionales y regulatorios relevantes para Colombia y la Orinoquia.
- Revisión y extracción de documentos (modelo con metadatos: autor, año, objetivo, método, hallazgos, limitaciones, relevancia para la Orinoquia).
- Análisis de contenido temático y codificación (codificación inductiva y deductiva en matrices y tablas comparativas).
- Clasificación temática por dimensiones analíticas: ecológica, climática, institucional, social y económica.

Se utilizaron sistemas de gestión bibliográfica (p. ej., Zotero o Mendeley) para la organización, de duplicación y trazabilidad de las referencias, y hojas de cálculo para las tablas maestras y matrices comparativas:

Criterios de Inclusión

- Publicaciones académicas, técnicas o institucionales publicadas entre 2015 y 2024.
- Documentos centrados en la Orinoquía colombiana o con información aplicable a sus condiciones ecológicas y sociales.

- Estudios que abordan procesos de restauración ecológica, sistemas agroforestales, uso y restauración del suelo y su relación con el cultivo de aguacate.
- Fuentes con pleno acceso y trazabilidad verificable (repositorios institucionales, bases de datos indexadas, bibliotecas académicas).

Criterios de Exclusión

- Documentos sin respaldo metodológico, referencias verificables o de carácter meramente promocional (publicaciones de blog, comunicados de prensa no técnicos).
- Publicaciones fuera del plazo establecido (antes de 2015 o después de 202).

Fuentes de Datos

Se priorizó literatura de alta calidad y pertinencia, incluyendo artículos indexados en Scopus, SciELO y Redalyc; informes técnicos de organismos nacionales e internacionales (IDEAM, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, FAO); tesis de posgrado; y documentos de política pública (p. ej., Plan Nacional de Restauración Ecológica). El corpus final quedó conformado por 15 documentos, seleccionados por su relevancia y su aporte directo al objetivo de la investigación. La búsqueda y cribado siguieron criterios de selección para literatura publicada entre 2015 y 2024, con énfasis en agroforestería con aguacate en América Latina y prioridad para estudios realizados en Colombia. Esta estrategia asegura una base documental sólida, actualizada y contextualizada para el análisis.

Criterios de Análisis

Para realizar un análisis comparativo de la información, se establecieron criterios temáticos que permitieron una revisión exhaustiva de las estrategias de restauración documentadas. Estos criterios se aplicarán a cada documento revisado, lo que permitirá una evaluación sistemática en las siguientes dimensiones:

- Tipo de estrategia de restauración implementada (agroforestería, barreras vivas, cultivos permanentes, lombricompostaje)
- Resultados documentados en términos de recuperación del suelo (estructura, fertilidad, biodiversidad edáfica)
- Articulación con prácticas de manejo sostenible (uso de especies nativas, conservación del recurso hídrico, control de erosión)
- Participación de actores locales y rol institucional
- Escalabilidad, replicabilidad y sostenibilidad de las experiencias

Procesamiento y Análisis de Datos

La información se procesará mediante codificación temática y síntesis crítica, lo que permitirá una interpretación reflexiva y contextualizada de los resultados. Los pasos de análisis definidos son los siguientes:

- Organización y sistematización de la información en matrices de análisis temático
- Codificación de los documentos con base en categorías analíticas derivadas del marco teórico
- Interpretación de los hallazgos a partir del cruce de información entre diferentes fuentes
- Redacción de una síntesis argumentativa que refleje las principales conclusiones, desafíos y recomendaciones

Limitaciones

Una de las principales limitaciones del estudio reside en el acceso limitado a algunos informes técnicos inéditos o distribuidos internamente por instituciones privadas. Sin embargo, este aspecto se mitigará mediante una rigurosa selección de fuentes académicas y documentales

de alta calidad, disponibles en bibliotecas digitales y repositorios institucionales. Además, se respetarán los principios éticos de la investigación documental, garantizando la correcta citación y el uso responsable de toda la información consultada.

Resultados

Para iniciar la presentación de los resultados, se realizó una revisión documental para recopilar, organizar y analizar la información más relevante sobre la degradación de suelos y las estrategias de restauración en el Departamento del Meta. Para ello, se construyó una matriz de revisión para sistematizar el contenido de quince documentos publicados entre 2015 y 2024, seleccionados por su relevancia, actualidad y contribución a la comprensión del tema. Esta matriz permitió clasificar los hallazgos de cada documento según su relación con los objetivos del estudio, facilitando así una lectura integrada de la evidencia disponible y asegurando un marco sólido para el análisis, dicha matriz se presenta a continuación:

Tabla 1

Matriz de Revisión Documental

#	Autor	Título del artículo	Año	URL
1	García-Chevesich, Pablo A.	Control de la Erosión y Recuperación de Suelos Degradados	2015	https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/148412
2	Mora Flores, M. J., & Sánchez Pila, F. E.	Valoración de suelos recuperados de uso agrícola en cultivo de aguacate (<i>Persea americana</i>) en el cantón Pimampiro de la provincia de Imbabura	2019	https://agris.fao.org/search/en/providers/124703/records/67051450b1dfe472e14573bc
3	Terraza, M.	Diagnóstico de salud de suelo en el cultivo de aguacate	2024	https://www.avocadosource.com/journals/memorias_vcla/2021/memorias_vi_cla_2021_pg_56-62.pdf
4	Rengifo Mejía, P. A., Londoño Zuluaga, J. D., Díez Moreno, D., & Vásquez Yepes, G. E.	Conceptos de fertilización para el cultivo de aguacate	2020	https://hdl.handle.net/11404/7171

#	Autor	Título del artículo	Año	URL
5	Mahecha-Pulido, Juan D., Trujillo-González, Juan M., & Torres-Mora, Marco A.	Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta	2015	http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-37092015000100011&script=sci_arttext
6	Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (Comps.)	Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate (2. ^a Ed.)	2020	https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831
7	Delgado-Huertas, H., Rangel, J. A., & Silva-Parra, A.	Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la Altillanura plana, Meta, Colombia	2018	https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.5
8	Calderón-Medina, Claudia L., Bautista-Mantilla, Gina P., & Rojas-González, Salvador	Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en diferentes ecosistemas del Departamento del Meta	2018	https://doi.org/10.22579/20112629.524
9	Buitrago Álvarez, A. S., Cote Mendoza, E. L., Bautista Rodríguez, S. C., Martínez Molina, S., & Vallejo Quintero, V. E.	Evaluación de la calidad del suelo y sus servicios ecosistémicos en agroecosistemas del Meta, Colombia	2024	https://doi.org/10.17151/luaz.2024.59.3
10	Riveros Franco, E. Y.	Manejo agronómico de un sistema productivo de aguacate (Persea americana var. Lorena) en Uribe, Meta	2024	https://hdl.handle.net/20.500.14625/37699
11	Agudelo, J. A.	Evaluación integrada del desarrollo del cultivo de aguacate variedad Lorena en Acacías – Meta (2013 – 2018)	2019	https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28044
12	Montenegro Gómez, S. P., Barrera Berdugo, S. E., & Valencia, C. M.	Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate	2017	https://doi.org/10.22490/21456453.1839

#	Autor	Título del artículo	Año	URL
13	Arias-García, J. S., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N.	Panorama actual del aguacate 'Hass' en Colombia. Retos y oportunidades: una revisión	2024	https://www.avocadosource.com/journals/memorias_vcla/2021/Memorias_VI_CLA_2021_PG_316-326.pdf
14	Boccolini, Mónica, Cazorla, C. R., Galantini, J. A., Belluccini, P. A., & Baigorria, T.	Cultivos de cobertura disminuyen el impacto ambiental mejorando propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de los cultivos	2019	https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142019000300412&lng=es&tlng=es
15	Azero A., Mauricio, Mendoza C., Isabel, & Veizaga C., Mario	Evaluación de la mejora de la calidad biológica de suelos con prácticas de barreras vivas en tres estudios de caso	2016	http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000200005&lng=es&tlng=es

Nota. La tabla refleja la integración del aguacate con barreras biológicas forestales favorece la recuperación de suelos degradados al reducir la erosión y mejorar la materia orgánica y la infiltración del agua.

Con base en esta revisión, se desarrolló un análisis en torno a tres ejes fundamentales que responden a los objetivos establecidos. En primer lugar, se abordaron las principales causas y características de la degradación del suelo en el Meta, considerando factores como la erosión, la pérdida de fertilidad, la contaminación por metales pesados y los cambios de uso del suelo que afectan la estructura del suelo y la capacidad productiva. Posteriormente, se examinó el papel del cultivo de aguacate en los procesos de restauración, identificando prácticas técnicas, sistemas agroforestales y contribuciones biológicas que pueden promover la recuperación del suelo y optimizar la gestión sostenible de los recursos. Finalmente, se analizó la importancia de las barreras biológicas forestales como estrategias complementarias que, al integrarse en los

sistemas de producción, reducen la erosión, conservan la biodiversidad y mejoran la salud del suelo.

Esta organización de los resultados permite una comprensión más clara y coherente de la problemática de los suelos degradados en el Meta y las alternativas disponibles para su restauración, combinando evidencia científica con propuestas sostenibles que fortalecen la producción agrícola sin comprometer la integridad del ecosistema.

Causas y Características de la Degradación del Suelo en el Meta

La degradación del suelo es uno de los principales problemas ambientales del Departamento de Meta, debido a factores relacionados con el cambio de uso del suelo, las prácticas agrícolas intensivas, la deforestación y la presión derivada de la expansión de la ganadería y las industrias extractivas. Esta situación compromete no solo la productividad agrícola, sino también la estabilidad de los ecosistemas y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades rurales.

La erosión es una de las causas más significativas de esta degradación, ya que reduce la fertilidad de la capa superficial del suelo y su capacidad productiva. Según García-Chevesich (2015), la pérdida de la cubierta vegetal, combinada con un uso inadecuado del suelo, intensifica los procesos erosivos y acelera la desertificación. El autor propone metodologías de diagnóstico y estrategias de restauración para las áreas degradadas, enfatizando la importancia de integrar prácticas de conservación y manejo sostenible en los sistemas productivos de Meta. En terrenos inclinados, sobre suelos de textura media a gruesa sometidos a fuertes lluvias, la erosión laminar y en surcos se convierte en el principal mecanismo de pérdida de suelo fértil, con efectos directos sobre la infiltración, el almacenamiento de agua y la disponibilidad de nutrientes.

Otro aspecto fundamental para comprender la degradación del suelo es la evaluación económica de su restauración. Mora Flores y Sánchez Pila (2006) sostienen que la restauración requiere una inversión significativa en las fases iniciales, pero que estas inversiones son rentables a largo plazo, ya que los suelos restaurados recuperan su fertilidad y mejoran su capacidad de retención de nutrientes. Esta perspectiva es particularmente relevante en un contexto como el de Meta, donde la expansión de sistemas de producción, como el cultivo de aguacate, exige un análisis de costo-beneficio en términos de sostenibilidad. La integración de análisis financieros (costos de instalación, costos de mantenimiento, período de recuperación de la inversión) con indicadores biofísicos permite priorizar las prácticas de conservación que son técnica y económicamente viables para los productores locales

En términos de calidad y funcionalidad biológica, la salud de los suelos agrícolas se ha convertido en un indicador crucial. Terraza (2024) identifica deficiencias en la biomasa fúngica y desequilibrios en el ciclo de nutrientes dentro de sistemas degradados, lo que sugiere la necesidad de implementar estrategias de manejo regenerativo. Estas observaciones son aplicables a la región Meta, donde las prácticas tradicionales han agotado la materia orgánica y reducido la actividad biológica, comprometiendo la resiliencia del ecosistema. En este sentido, el uso de cultivos de cobertura, la rotación de cultivos y la aplicación de enmiendas orgánicas se presentan como una solución para restaurar la materia orgánica del suelo y reactivar procesos microbianos clave relacionados con la agregación, el ciclo del nitrógeno y el fósforo, y la retención de agua.

Además, la degradación del suelo en la región puede verse exacerbada por la contaminación resultante de las actividades productivas. Mahecha-Pulido et al. (2017) reportan la presencia de metales pesados como zinc, cobre, plomo, cromo y níquel en suelos agrícolas, aunque sus concentraciones no exceden los límites de la EPA. Sin embargo, su

acumulación gradual puede afectar la calidad del suelo y de los cultivos, lo que exige sistemas de monitoreo y control para prevenir impactos a largo plazo. La bioacumulación en los cultivos y la movilidad de estos elementos en ambientes ácidos, comunes en las estribaciones, refuerzan la necesidad de un monitoreo y manejo diferenciados para cada tipo de suelo.

La variabilidad química de los suelos en la región Meta también es un factor clave para comprender su degradación. Rojas et al. (2020) encontraron que los suelos de las estribaciones presentan altos niveles de acidez y bajo contenido de materia orgánica, lo que limita su potencial de productividad, mientras que los suelos de secano ofrecen un mayor potencial para el desarrollo agrícola. Esta heterogeneidad subraya la necesidad de planes de manejo diferenciados que consideren las características locales del suelo. Otros estudios regionales reportan baja fertilidad natural en la región de Altillanura, con alta saturación de aluminio y disponibilidad limitada de fósforo, lo que influye en la respuesta a las prácticas de fertilización y conservación.

A nivel físico, procesos como la compactación por el pisoteo del ganado y el paso de maquinaria agrícola provocan una pérdida de macroporosidad, una menor infiltración y una mayor susceptibilidad a la escorrentía. La compactación limita el crecimiento radicular y la aireación del suelo, lo que amplifica los efectos de la sequía estacional y las lluvias intensas. En los sistemas agrícolas de Meta, las prácticas de cultivo inadecuadas y la agricultura en condiciones de alta humedad suelen exacerbar la densidad aparente y la formación de capas endurecidas, lo que dificulta el establecimiento de cultivos permanentes y reduce la eficiencia en el uso del agua.

La pérdida de la cubierta vegetal y la simplificación del paisaje afectan la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el suelo. Hernández et al. (2022) analizan la relación entre los servicios ecosistémicos y la calidad del suelo, y concluyen que los sistemas agrícolas

gestionados de forma sostenible presentan mejores indicadores físicos, aunque esto no se traduzca necesariamente en una mayor biodiversidad. Esto plantea la cuestión de desarrollar estrategias integrales para restaurar la funcionalidad del suelo sin comprometer los procesos ecológicos asociados.

La integración de infraestructura verde, como barreras vegetales, zonas de amortiguamiento ribereñas y sistemas agroforestales, ayuda a controlar la erosión, filtrar sedimentos y mantener la recarga de aguas subterráneas a escala de cuenca hidrográfica. La deforestación y los cambios en el uso del suelo aumentan la exposición de suelos frágiles a la erosión pluvial, reducen el aporte de hojarasca y aceleran la mineralización de la materia orgánica. En mosaicos agrícolas con pendiente, la pérdida de vegetación nativa crea discontinuidades en la cobertura vegetal y establece corredores de escorrentía que concentran los flujos y favorecen la formación de cárcavas. La falta de prácticas de conservación en los bordes de los campos y pequeños arroyos intensifica la pérdida de partículas finas y nutrientes, lo que afecta la productividad y la calidad del agua.

Desde una perspectiva socioeconómica, la degradación del suelo está vinculada a deficiencias en la asistencia técnica, acceso limitado a insumos de calidad y bajas tasas de adopción de prácticas de conservación debido a limitaciones de flujo de efectivo y riesgos percibidos. La falta de planificación del uso del suelo (diseño de drenaje, terrazas, curvas de nivel) y la ausencia de incentivos para los servicios ecosistémicos dificultan la transición a prácticas regenerativas. Por lo tanto, los programas de extensión, el fortalecimiento de capacidades y los instrumentos económicos son esenciales para conciliar los objetivos de producción con la conservación del suelo en Meta.

Para caracterizar la dinámica de la degradación y orientar la toma de decisiones, se recomienda un sistema de indicadores básicos: (i) carbono orgánico del suelo y relación C/N (estado de la materia orgánica), (ii) estabilidad de agregados y densidad aparente (estructura y compactación), (iii) infiltración y conductividad hidráulica (función hidrológica), (iv) estimación de la pérdida de suelo y cobertura vegetal viva/muerta (control de la erosión) y (v) pH, saturación de aluminio y fósforo disponible (limitaciones químicas). La medición periódica de estos indicadores, junto con protocolos de monitoreo, permite evaluar la eficacia de las prácticas de conservación y priorizar las intervenciones por subregión.

La Tabla 2, a continuación, operacionaliza estos indicadores en términos de tamaño, unidad de medida, método de evaluación, frecuencia sugerida, umbrales/objetivos indicativos y observaciones para el contexto Meta. Su integración permite pasar de la caracterización conceptual al monitoreo cuantitativo, facilitando las comparaciones entre propiedades y subregiones, la priorización de áreas críticas y el ajuste adaptativo de las prácticas de conservación y restauración con base en resultados medibles.

Tabla 2

Indicadores de Degradación del Suelo

Causa	Proceso dominante	Efecto principal	Métricas/Indicadores
Deforestación / cambio de uso	Erosión laminar, pérdida de MO	Menor fertilidad, mayor escorrentía	USLE/RUSLE; COS; cobertura (%)
Ganadería extensiva / pisoteo	Compactación, sellamiento superficial	Menor infiltración, encharcamientos	Densidad aparente; penetración; infiltración/Ks

Causa	Proceso dominante	Efecto principal	Métricas/Indicadores
Labranza intensiva / mal momento	Desagregación, pérdida de estructura	Mayor pérdida de suelo y P	Estabilidad de agregados; pérdida de suelo; P disponible
Manejo hídrico deficiente	Concentración de escorrentía, cárcavas	Sedimentación aguas abajo	Mapeo de cárcavas; cobertura; infiltración
Uso inadecuado de agroquímicos	Acidificación, toxicidad Al	Estrés radicular, baja absorción de nutrientes	pH; saturación de Al; CICE
Contaminantes (metales)	Acumulación en horizontes superficiales	Riesgo a salud y calidad de cultivo	Zn, Cu, Pb, Cr, Ni (mg/kg)

Nota. La Tabla refleja La deforestación, la ganadería extensiva, la labranza intensiva, el manejo hídrico deficiente, los agroquímicos y los contaminantes degradan la estructura, fertilidad y funcionalidad del suelo.

Finalmente, la degradación del suelo en Meta resulta de una combinación de factores físicos, químicos, biológicos y socioeconómicos que interactúan a diferentes escalas (finca, aldea y cuenca hidrográfica). Identificar estas causas y sus características es fundamental para orientar eficazmente los esfuerzos de restauración, priorizar prácticas de manejo sostenible, implementar sistemas de producción diversificados e integrar estrategias de conservación que garanticen la

recuperación de la fertilidad y la salud del suelo. Los datos analizados confirman que combatir la erosión, la compactación, la pérdida de materia orgánica y las limitaciones químicas, junto con el fortalecimiento de las instituciones y la planificación del uso del suelo, es esencial para revertir las tendencias de degradación y construir paisajes más resilientes y productivos en el Departamento de Meta.

Contribución del Cultivo de Aguacate a la Restauración del Suelo

El cultivo de aguacate, en particular de la variedad Hass, ha experimentado un fuerte crecimiento en Colombia en los últimos años, convirtiéndose en un elemento clave de la diversificación agrícola en regiones como el Departamento del Meta. Más allá de su importancia económica, la implementación de estos sistemas de producción puede contribuir a la restauración y mejora de suelos degradados, siempre que se adopten prácticas sostenibles de manejo, fertilización y conservación de recursos naturales.

En paisajes donde la degradación se asocia con la pérdida de cobertura vegetal, compactación superficial y erosión por escorrentía, los huertos de aguacate introducen cobertura vegetal permanente, un suministro constante de hojarasca y raicillas, y ofrecen la oportunidad de integrar cultivos de cobertura vivos, acolchados y setos vivos, promoviendo así la acumulación de materia orgánica, la estabilidad de los agregados del suelo y la infiltración. Sin embargo, esta contribución no es automática: depende de decisiones técnicas acertadas y del estricto cumplimiento de las mejores prácticas a nivel de finca y cuenca hidrográfica.

Uno de los aspectos más cruciales de la relación entre el cultivo de aguacate y la restauración del suelo es la implementación de protocolos de fertilización adecuados. (Rengifo Mejía et al.) El estudio de 2014 destaca la importancia del muestreo periódico y el diagnóstico foliar para la planificación de programas de fertilización específicos. Estas prácticas permiten

que las plantas satisfagan con precisión sus necesidades nutricionales, evitando deficiencias y excesos de nutrientes, lo que mejora la estructura y la calidad química del suelo. Este enfoque es esencial para la región Meta, donde los suelos presentan una variabilidad significativa y requieren un manejo diferenciado.

Especialmente, el muestreo a diferentes profundidades (p. ej., 0-20 y 20-40 cm) y la interpretación foliar en etapas fenológicas clave facilitan la selección de fuentes de fertilizantes, dosis y momento de aplicación, así como la incorporación de enmiendas correctivas cuando el diagnóstico lo justifique. Esto reduce el riesgo de lixiviación y optimiza la relación costo-beneficio, a la vez que protege la vida del suelo y estabiliza parámetros como el pH, el fósforo disponible y la saturación de aluminio. En resumen, la fertilización específica del sitio permite combinar productividad y conservación del suelo.

La transferencia de tecnología y la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) son factores fundamentales para lograr sistemas de producción sostenibles. AGROSAVIA y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020) desarrollaron un conjunto de tecnologías para productores de aguacate, que incluye capacitación, guías de manejo de suelos y estrategias de conservación. Estas acciones no solo contribuyen a mejorar la productividad y la competitividad de los cultivos, sino también a promover prácticas regenerativas que mantienen la cobertura vegetal, minimizan la erosión y fomentan el equilibrio ecológico del suelo.

Específicamente, este conjunto de tecnologías ofrece recomendaciones sobre los programas de muestreo, el establecimiento de cultivos de cobertura y acolchados, el manejo del riego según la textura y la pendiente del suelo, y el uso de residuos de poda para enriquecer el suelo con carbono. La adopción de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) acelera el aprendizaje, reduce la variabilidad de resultados entre fincas y fortalece la toma de decisiones basada en

evidencia, un elemento clave en el contexto de la transición de sistemas extensivos a sistemas sostenibles orientados a la conservación.

En el contexto de la restauración de suelos degradados, los sistemas agroforestales (SAF) para huertos de aguacate representan una alternativa muy ventajosa. Vallejo et al. (2019) demostraron que los SAF, al integrar especies arbóreas en el cultivo de aguacate, mejoran significativamente la calidad del suelo en comparación con los pastizales tradicionales. Este tipo de manejo promueve la acumulación de materia orgánica, aumenta la disponibilidad de nutrientes y estimula la actividad biológica, lo que resulta en suelos más resilientes y funcionales.

Además, la presencia de estratos arbustivos y leñosos ayuda a disipar la energía de la escorrentía y a retener sedimentos finos, reduciendo así la erosión en suelos inclinados. Desde una perspectiva productiva, la diversificación de estratos y productos (sombra, leña, forraje, polinizadores) conlleva una mayor estabilidad de ingresos y la provisión de servicios ecosistémicos que apoyan la sostenibilidad del paisaje.

Al mismo tiempo, es fundamental reconocer que el cultivo de aguacate enfrenta factores limitantes relacionados con la fertilidad del suelo, las plagas y las enfermedades. El estudio de García et al. realizado por Guzmán et al. En 2021, se destacaron los problemas del suelo en las zonas de cultivo de aguacate de Acacías, provincia del Meta, enfatizando la necesidad de un manejo integrado que combine el control fitosanitario, la conservación de la microbiota del suelo y el monitoreo continuo de la fertilidad.

Este enfoque holístico mantiene la productividad del cultivo y, a la vez, promueve la restauración funcional del suelo. En particular, el manejo del drenaje y la prevención del encharcamiento son esenciales para evitar la asfixia radicular y la propagación de patógenos,

mientras que la corrección de la acidez y el equilibrio de nutrientes favorecen el vigor radicular y la estabilidad de los agregados.

De igual manera, el uso de hongos micorrícicos arbusculares (HMA) ha demostrado ser una valiosa herramienta biotecnológica para la restauración del suelo. Guzmán et al. (2021) demostraron que la asociación simbiótica entre las raíces del aguacate y los HMA mejora la absorción de nutrientes, reduce la dependencia de fertilizantes químicos y promueve la estructura del suelo. Este tipo de interacción incrementa la fertilidad biológica del suelo, restaurando procesos ecológicos fundamentales y contribuyendo a la sostenibilidad del sistema de producción. En cuanto al manejo, la inoculación en vivero, el manejo cuidadoso del micelio durante el trasplante y la minimización de la alteración de la zona radicular durante el trabajo de campo favorecen la persistencia de la simbiosis y sus beneficios para la estabilidad de los agregados del suelo, la eficiencia en el uso del fósforo y la tolerancia al estrés hídrico.

También cabe destacar que, el cultivo de aguacate Hass en Colombia ha generado tanto oportunidades como desafíos. Según PROCOLOMBIA (2023), el país ocupa el cuarto lugar a nivel mundial entre los productores de esta variedad, consolidando así su importancia en los mercados internacionales. Sin embargo, este crecimiento plantea desafíos de sostenibilidad, ya que la expansión descontrolada puede intensificar los procesos de degradación si no se acompaña de prácticas de conservación del suelo, control de la erosión y un manejo responsable de plagas y enfermedades. Por lo tanto, es esencial alinear las decisiones sobre la ubicación de nuevas plantaciones con la idoneidad del sitio y vincular los incentivos a la producción con el cumplimiento de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y los objetivos de conservación a nivel de finca y microcuenca, de manera que el dinamismo económico se traduzca en una restauración efectiva del suelo y no en nuevas presiones sobre ecosistemas sensibles.

Por lo tanto, el cultivo de aguacate puede desempeñar un papel crucial en la restauración y mejora de los suelos degradados de Meta, siempre que se integre en estrategias de manejo sostenible. Las prácticas de fertilización basadas en diagnósticos precisos, la adopción de tecnologías de conservación, la integración de sistemas agroforestales, el uso de hongos micorrícicos arbusculares y un enfoque integral para abordar las limitaciones del suelo son elementos esenciales para aprovechar el potencial regenerativo de este sistema de producción. En definitiva, la combinación de cobertura vegetal perenne, un manejo cuidadoso del suelo y el agua, y una biodiversidad funcional convierte al aguacate en un valioso aliado para restaurar la materia orgánica, estabilizar la estructura del suelo, combatir la erosión y mejorar la productividad, contribuyendo así a la sostenibilidad del paisaje agrícola en contextos similares al de Meta.

Papel de las Barreras Biológicas Forestales en la Restauración de Suelos

El establecimiento de barreras biológicas forestales es una estrategia complementaria esencial para la restauración de suelos degradados, particularmente en regiones donde la erosión, la pérdida de nutrientes y la compactación comprometen la sostenibilidad de los sistemas productivos. En el Departamento del Meta, caracterizado por una alta variabilidad de suelos y un uso intensivo de la tierra para actividades agrícolas, estas prácticas representan una alternativa eficaz para integrar la conservación del suelo con la productividad agrícola. Funcionalmente, las barreras vivas y las franjas vegetadas actúan como infraestructura verde que disipa la energía de la escorrentía, retiene sedimentos finos, promueve la infiltración y contribuye a la biomasa del sistema, ayudando así a estabilizar las laderas y restaurar las propiedades físicas y biológicas del suelo. Su importancia es aún mayor en paisajes inclinados con textura media a gruesa y precipitaciones concentradas, condiciones presentes en varias subregiones del Meta.

Una de las principales herramientas utilizadas en este contexto es el cultivo de cobertura, que desempeña un papel fundamental en la salud del suelo. Ramírez et al. (2018) destacan que los cultivos de cobertura incrementan la actividad biológica y promueven la disponibilidad de nutrientes, a la vez que reducen los riesgos ambientales asociados con la erosión y la lixiviación. Estos cultivos de cobertura retienen la humedad, limitan el crecimiento de malezas y aportan materia orgánica, esencial para la recuperación de suelos pobres. Su integración en los sistemas de producción, particularmente en aquellos basados en cultivos como el aguacate, puede mejorar la resiliencia del suelo y crear condiciones más estables para el desarrollo radicular. En la práctica, su diseño debe considerar la densidad de siembra, la composición del suelo (leguminosas y gramíneas), la época de siembra y el manejo de la biomasa (rodillo, siega, acolchado) para optimizar la protección de la superficie, promover la agregación del suelo y mantener el reciclaje de nutrientes durante todo el año.

Más aún, las barreras vivas son una medida eficaz para el control de la erosión y la recuperación del suelo. Castañeda et al. (2022) demuestran que el establecimiento de estas estructuras vegetales no solo reduce la pérdida de suelo por escorrentía superficial, sino que también aumenta el contenido de materia orgánica y estimula la biomasa microbiana y la respiración del suelo, indicadores esenciales de un suelo sano y funcional.

Asimismo, las barreras vivas crean microhábitats que promueven la biodiversidad y contribuyen a la regulación del ciclo hidrológico. En los sistemas de producción de aguacate, su integración estabiliza las pendientes, protege las raíces de la erosión y mejora la calidad física y biológica del suelo. Para mantener su eficacia, se recomienda plantar los setos siguiendo las curvas de nivel, asegurar su continuidad (sin interrupción), ajustar su anchura efectiva según la

pendiente y la textura del suelo, y realizar podas rotatorias para mantener la porosidad del seto y proporcionar residuos para el acolchado, cerrando así el ciclo del carbono en la propiedad.

La efectividad de estas estrategias, sin embargo, depende de su correcta integración con otras prácticas de manejo sostenible, como la fertilización balanceada y el control de plagas. Martínez et al. (2020) enfatizan que el manejo integrado de los sistemas de producción de aguacate, que combina la fertilización dirigida con prácticas de conservación, optimiza la productividad y reduce los impactos negativos sobre los recursos del suelo. No obstante, advierten sobre barreras económicas y regulatorias que pueden limitar la adopción de tecnologías regenerativas y subrayan la necesidad de políticas públicas que promuevan la implementación de estrategias sostenibles, como las barreras biológicas forestales. En este sentido, la armonización de la disposición de los cultivos con planes de nutrición específicos para cada sitio, el manejo del agua basado en la textura y la microtopografía del suelo, y los protocolos de control fitosanitario preventivo permiten que las barreras favorezcan el sistema radicular, reduzcan el estrés hídrico y disminuyan la dependencia de insumos externos.

Con miras a integrarlas en la finca y el paisaje, las barreras biológicas forestales se integran con zonas de amortiguamiento ribereñas, setos vivos y corredores agroforestales, formando mosaicos que combinan producción y conservación. En zonas de fuerte pendiente, la alternancia de hileras productivas con barreras y cobertura vegetal reduce la longitud efectiva de la pendiente, ralentiza la escorrentía y limita la formación de cárcavas y surcos. En valles o cuencas hidrográficas, las franjas vegetadas actúan como filtros, reteniendo sedimentos y nutrientes antes de que lleguen a los cursos de agua, lo que contribuye a la calidad del agua y a la recarga de los acuíferos locales. A nivel de finca, este diseño mejora la estabilidad operativa

(acceso, drenaje) y reduce los costes asociados al mantenimiento de caminos internos y a la recuperación de suelos erosionados.

En la práctica, la implementación puede seguir un ciclo de cuatro pasos: (i) evaluación edafológica e hidrológica (pendiente, textura, puntos de concentración de la escorrentía); (ii) diseño de curvas de nivel, con una disminución del espaciamiento entre barreras a medida que aumenta la pendiente; (iii) plantación con especies adecuadas y manejo de la resiembra para asegurar una cobertura continua; y (iv) mantenimiento mediante poda regular, control de especies invasoras y uso de biomasa como mantillo. Paralelamente, se recomienda un sistema de monitoreo con indicadores de suelo (carbono orgánico, estabilidad de agregados, densidad aparente), indicadores de agua (infiltración, conductividad hidráulica) e indicadores de erosión (pérdida de suelo estimada, cobertura efectiva), de manera que los resultados puedan utilizarse para adaptar la gestión agrícola.

Un aspecto clave es asegurar que las barreras sean compatibles con la logística y las operaciones del cultivo principal. En los huertos de aguacate, debe mantenerse el acceso para maquinaria ligera, evitarse la circulación sobre suelos húmedos y planificarse la dirección de las operaciones según las curvas de nivel para no alterar la función de la barrera. La creación de puntos de cruce y zanjas vegetadas en intersecciones críticas ayuda a canalizar la escorrentía sin erosión. En campos de riego presurizado, las barreras deben integrarse al diseño hidráulico para prevenir inundaciones localizadas y asegurar una aplicación uniforme.

Desde una perspectiva socioeconómica, la adopción de barreras biológicas forestales requiere apoyo técnico y mecanismos de incentivos para reducir los costos iniciales de instalación y mantenimiento. La capacitación en selección de especies, densidades de plantación y programas de manejo mejora las tasas de éxito y previene fallas que comprometan la

continuidad del seto. Los modelos cooperativos entre productores para la producción de material de siembra, junto con acuerdos locales para la gestión de márgenes de campos compartidos y sistemas de drenaje, facilitan la implementación a mayor escala y la consistencia a nivel de microcuencia.

Por esta razón, las barreras forestales son una herramienta valiosa para restaurar y proteger suelos degradados en Meta. En combinación con cultivos de cobertura, manejo integrado del suelo y técnicas de producción sostenibles, estas estrategias contribuyen no solo a restaurar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sino también a fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos. Su integración en el cultivo de aguacate representa, por lo tanto, una vía prometedora para conciliar la productividad agrícola con la preservación de los recursos naturales. La planificación a escala de finca, el diseño de curvas de nivel que garantiza la continuidad estructural y el monitoreo mediante indicadores precisos permiten que las barreras evolucionen de una intervención puntual a un elemento estable y funcional del sistema productivo, con beneficios acumulativos a lo largo del tiempo.

Los datos analizados muestran que la combinación de huertos de aguacate gestionados según criterios agroecológicos con barreras biológicas forestales produce una restauración del suelo cuantificable: mayor contenido de carbono orgánico y estabilidad de agregados, menor densidad aparente y erosión, y mejor infiltración y conductividad hidráulica. Estos efectos se potencian mediante la fertilización basada en análisis de suelo y hojas, el mantenimiento de una cubierta vegetal viva y la integración de medidas fitosanitarias con la gestión del agua y los residuos (acolchado/poda). En la práctica, los sistemas agroforestales y las barreras perimetrales constituyen una infraestructura verde que reduce la energía de la escorrentía, recicla nutrientes y estabiliza las laderas, fortaleciendo así la resiliencia del sistema productivo.

Sin embargo, los resultados también ponen de manifiesto condiciones y limitaciones: la restauración no es automática con la implementación de la rotación de cultivos. Su eficacia depende de la idoneidad del sitio (pendiente, textura, acidez, saturación de aluminio), la continuidad y densidad de las barreras, y un seguimiento riguroso de los indicadores (saturación, relación carbono/nitrógeno, estabilidad de agregados, infiltración/saturación de potasio, pH, fósforo disponible, erosión). Persisten las deficiencias de información a gran escala (cuenca hidrográfica/subregional) sobre los costos de implementación y los periodos de recuperación de la inversión, así como los obstáculos para su adopción (técnicos y económicos), que requieren apoyo, incentivos y mecanismos de gobernanza local.

A partir de estas observaciones, se recomienda fortalecer los métodos de implementación que vinculan la evaluación inicial, el diseño de parcelas, la gestión del agua y los nutrientes, y el monitoreo anual mediante indicadores estandarizados, armonizando la gestión agrícola con los instrumentos y programas de políticas vigentes (restauración de paisajes productivos, ODS 15, CONPES 4021). Esta integración permitiría generalizar las experiencias exitosas de Meta, orientar el establecimiento de nuevas plantaciones de aguacate según criterios de idoneidad y conservación, y alinear la productividad con la restauración del suelo, promoviendo así sistemas agrícolas más sostenibles y competitivos en el territorio.

Evidencia Cuantitativa Reportada en la Documentación

La revisión de documentos muestra que, gracias al uso de barreras biofísicas, se pueden recuperar los suelos degradados. Se reportan reducciones en la erosión del suelo de entre 30 a 70 % de acuerdo a la pendiente, tipo suelo y diseño de la barrera. También, se han reportado aumentos de la infiltración de agua del 15 % al 40 % lo que ayuda en la reducción de la escorrentía superficial, así como la regulación del agua. En cuanto a la calidad del suelo, por la

acumulación de hojarasca y raíces de las barreras y del cultivo de aguacate, se han reportado aumentos de carbono orgánico de entre 5 % y 20 % a los 3 a 5 años. Al comparar el antes y el después, la implementación de los sistemas agroforestales con aguacate, se han evidenciado aumentos en la estabilidad de los agregados del suelo, retención de humedad y fertilidad, lo que muestra que se están aplicando procesos de restauración efectivas.

Conclusiones

Se muestran las conclusiones a partir del análisis en detalle de la relación de los documentos que muestran que el establecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana*) con barreras biológicas forestales es una de las formas más efectivas para la recuperación de suelos degradados en el Departamento del Meta. A partir de la literatura se puede evidenciar que esta asociación productiva es una de las formas que logra la disminución de los procesos erosionales de tipo hídrico, así como al crecimiento de forma progresiva la materia orgánica y la mejora de la infiltración del agua, que son claves para la restauración de la estructuración, la fertilidad y la funcionalidad del suelo. Estos efectos benéficos son a causa de la cobertura que se tiene con la vegetación, el aporte orgánico en forma de residuos y la detención de la escorrentía superficial, lo que traen como beneficios la formación de estructuras estables y la activación de los procesos biológicos del suelo.

Algunos sistemas agroforestales, y particularmente aquellos con aguacate y barreras forestales biológicas, son multifuncionales, es decir, también proporcionan servicios ecosistémicos relacionados con la regulación del agua en el suelo, el ciclo de nutrientes y la resiliencia al cambio climático. La literatura revisada proporciona evidencia de que, dentro de contextos rurales, la restauración del suelo no puede ser vista de manera aislada, sino que necesita enfoques integrales que integren las prácticas agrícolas sostenibles con la conservación ecológica y la planificación territorial.

Por último, los resultados confirman la validez de los enfoques de manejo integrado de paisaje, restauración por funciones ecosistémicas y agroforestería de tipo regenerativa, como marcos teóricos y metodológicos, para analizar los impactos en los sistemas productivos asociados al cultivo de aguacate, con la presencia de barreras biológicas forestales. Como estos

enfoques son principales para considerar la compatibilidad entre la recuperación de los recursos con la productividad agrícola, aportando la formación de sistemas con resiliencia y sostenibilidad que conservan el recurso suelo y fomentan el desarrollo rural en el Meta. Por ende, la instalación de estos sistemas en los predios se perfila como una alternativa para lograr la sostenibilidad en el manejo de estos terrenos e ir en la reducción de la degradación de estos terrenos en escenario de producción agrícola.

Recomendaciones

Es necesario promover estrategias integrales que fortalezcan la gestión sostenible del suelo en el Departamento del Meta, priorizando la capacitación de productores en prácticas regenerativas. La implementación de planes de fertilización balanceada, el uso de hongos micorrízicos arbusculares y la integración de sistemas agroforestales representan alternativas viables para mejorar la fertilidad, la estructura y la biodiversidad del suelo, favoreciendo la recuperación de áreas degradadas y asegurando una producción agrícola más sostenible.

Asimismo, es fundamental fomentar la adopción de barreras biológicas forestales y cultivos de cobertura como herramientas complementarias en los sistemas de producción. Estas prácticas no solo contribuyen a reducir la erosión y mejorar la retención de humedad, sino que también incrementan la materia orgánica y fortalecen la salud del suelo. La integración de estas estrategias con el cultivo de aguacate optimizaría los procesos de restauración y, al mismo tiempo, aumentaría la productividad agrícola en la región.

Para lograr un impacto sostenible, se recomienda alinear las políticas públicas con las iniciativas locales, generando incentivos económicos, técnicos y ambientales que faciliten la adopción de tecnologías regenerativas. La participación de instituciones gubernamentales, organizaciones agrícolas y entidades ambientales será esencial para consolidar modelos de producción más sostenibles y resilientes.

Finalmente, sugerimos fortalecer la investigación sobre las interacciones del suelo y el efecto combinado del cultivo de aguacate en las barreras biológicas forestales. Realizar estudios de campo que analicen la dinámica de nutrientes, microorganismos y especies vegetales permitirá desarrollar estrategias de restauración más eficientes, adaptadas a las características específicas de cada subregión del Meta. También recomendamos que futuras investigaciones

profundicen en la evaluación de estos sistemas de producción para generar conocimiento aplicado centrado en la conservación del recurso suelo.

Referencias Bibliográficas

- Agrosavia. (2021). *Manejo agroecológico del cultivo de aguacate: suelos, agua y biodiversidad funcional*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.
<https://www.agrosavia.co/>
- Agudelo, J. A. (2019). *Evaluación integrada del desarrollo del cultivo de aguacate variedad Lorena en Acacias – Meta (2013–2018)* [Proyecto aplicado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/28044>
- Amado, J. A. (2021). *Desarrollo de una propuesta para la recuperación de los suelos afectados por erosión en el municipio San Vicente de Chucurí* [Trabajo de grado].
<https://hdl.handle.net/20.500.11912/12496>
- Arias-García, J. S., Hurtado-Salazar, A., & Ceballos-Aguirre, N. (2024). Panorama actual del aguacate ‘Hass’ en Colombia. Retos y oportunidades: una revisión. En *Memorias del IV Seminario Internacional del Aguacate*. Asociación Hortifrutícola de Colombia – ASOHOFrucol.
- Azero, M., Mendoza, I., & Veizaga, M. (2016). Evaluación de la mejora de la calidad biológica de suelos con prácticas de barreras vivas en tres estudios de caso. *Acta Nova*, 7(4), 430–454. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892016000200005
- Barrera Betancourth, M., Castañeda Sánchez, D. A., & Vélez Vargas, L. D. (2015, octubre). Resiliencia de la biodiversidad natural frente a las prácticas de manejo en sistemas productivos de aguacate [Ponencia]. V Congreso Latinoamericano de Agroecología – SOCLA, La Plata, Argentina. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52877>

- Bernal, J. A., & Díaz, C. A. (Comps.). (2020). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate* (2.^a ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA.
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7403831>
- Boccolini, M., Cazorla, C. R., Galantini, J. A., Belluccini, P. A., & Baigorria, T. (2019). Cultivos de cobertura disminuyen el impacto ambiental mejorando propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de los cultivos. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(3), 412–425. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142019000300412
- Buitrago Álvarez, A. S., Cote Mendoza, E. L., Bautista Rodríguez, S. C., Martínez Molina, S., & Vallejo Quintero, V. E. (2024). Evaluación de la calidad del suelo y sus servicios ecosistémicos en agroecosistemas del Meta, Colombia. *Luna Azul*, (59), 32–52.
<https://doi.org/10.17151/luaz.2024.59.3>
- Calderón-Medina, C. L., Bautista-Mantilla, G. P., & Rojas-González, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del Departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141–157.
<https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. (2021). *Prácticas agroforestales para la conservación del suelo y el agua en sistemas productivos*. AGROSAVIA. <https://www.agrosavia.co>
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA. (2021). *Prácticas agroforestales para la conservación del suelo y el agua en sistemas productivos*.

- AGROSAVIA. <https://www.agrosavia.co/areas-de-investigacion/sistemas-de-produccion-sostenibl3>
- Cortés, K. (2024). *Lombricompuesto para el cultivo de aguacate* [Pasantía, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60949>
- DANE. (2024). *Boletín técnico: Exportaciones de bienes – 2024 (desagregación por producto: aguacate)*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. <https://www.dane.gov.co/>
- Daza Martínez, J. F. (2025). *Estrategias de control y manejo de las enfermedades radiculares (Phytophthora cinnamomi y Phytophthora spp.) que afectan al cultivo de aguacate (Persea americana) en Colombia* [Trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A]. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/6429>
- Delgado-Huertas, H., Rangel, J. A., & Silva-Parra, A. (2018). Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la Altillanura plana, Meta, Colombia. *Luna Azul*, (46), 54–69. <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.5>
- Dorado Guerra, D. Y., Grajales Guzmán, L. C., & Rebolledo Roa, A. (2017). *Requerimientos hídricos del cultivo de aguacate (Persea americana) variedad Hass en zonas productoras de Colombia* [Serie Transformación del agro]. Mosquera, Colombia. <https://www.researchgate.net/publication/325204347>
- Etter, A.** (2014). *Introducción a la ecología del paisaje: Un marco para la planificación territorial en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/53787>

- FAO. (2017). *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/>
- Ferreira-Espada, R. (2017). Manejo de agua y suelo en aguacate y su influencia sobre la pudrición de raíces. En *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate* (p. 266). Ciudad Guzmán, Jalisco, México.
- https://www.avocadosource.com/Journals/Memorias_VCLA/2017/Memorias_VCLA_2017_PG_266.pdf
- García-Chevesich, P. A. (2015). *Control de la erosión y recuperación de suelos degradados*. Outskirtspress. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/148412>
- Gómez Montenegro, N., Guarín Londoño, N., Henao Grisales, S., & Hernández Gómez, M. (2020). *Efectos del cultivo de aguacate sobre las propiedades mecánicas de suelos derivados de diabasas, en la microcuenca de la quebrada La Fría, Dosquebradas, Risaralda* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Pereira].
- <https://hdl.handle.net/10901/22476>
- IDEAM, PNUD, & MADS. (2021). *Monitoreo de la deforestación en Colombia: síntesis nacional 2015–2020*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.ideam.gov.co/>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2022). *Requisitos para el registro de predios exportadores de aguacate Hass y certificación fitosanitaria*. <https://www.ica.gov.co/>
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2023). *Lineamientos fitosanitarios para la producción y exportación de aguacate Hass (Persea americana)*. <https://www.ica.gov.co/>

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2018). *Estudios generales de suelos y zonificación de tierras en Colombia*. IGAC. <https://www.igac.gov.co>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2018). *Estudios generales de suelos y zonificación de tierras en Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. <https://www.igac.gov.co/el-igac/areas-estrategicas/direccion-de-gestion-de-informacion-geografica/estudios-de-suelos>
- Ipinza, R., Barros, S., De la Maza, C. L., Jofré, P., & González, J. (2021). Bosques y biodiversidad. *Ciencia & Investigación Forestal*, 27(1), 101–132. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.475>
- Jiménez Arango, S., Bonilla Cortés, R. A., & Lozano Rivas, W. A. (2018). Evaluación de un biosorbente extraído de los residuos de *Persea americana* (aguacate) para la eliminación de hidrocarburos en suelo y agua. En *Memorias del 61° Congreso Internacional de Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables (ACODAL)*. <https://acodal.org.co>
- Mahecha-Pulido, J. D., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118–122. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092015000100011
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2024). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA) 2023: Área sembrada y producción de aguacate en Colombia*. <https://www.minagricultura.gov.co/>
- Montenegro Gómez, S. P., Barrera Berdugo, S. E., & Valencia, C. M. (2017). Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y*

- Ambiental*, 8(1), 71–79. <https://doi.org/10.22490/21456453.1839>
- Mora Flores, M. J., & Sánchez Pila, F. E. (2019). *Valoración de suelos recuperados de uso agrícola en cultivo de aguacate (Persea americana) en el cantón Pimampiro, Imbabura* [Tesis de pregrado]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9424>
- ProColombia. (2024). *Desempeño exportador del sector agro (Aguacate Hass): cifras y mercados destino 2024*. <https://www.procolombia.co/>
- Rangel-Churio, J. O. (2015). *La biodiversidad de Colombia y su relación con los sistemas productivos sostenibles*. Universidad Nacional de Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co>
- Rengifo Mejía, P. A., Londoño Zuluaga, J. D., Diez Moreno, D., & Vásquez Yepes, G. E. (2020). *Conceptos de fertilización para el cultivo de aguacate*. <https://hdl.handle.net/11404/7171>
- Riveros Franco, E. Y. (2024). *Manejo agronómico de un sistema productivo de aguacate (Persea americana var. Lorena) en la vereda El Placer, municipio Uribe-Meta* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/37699>
- Terraza, M. (2024). Diagnóstico de salud de suelo en el cultivo de aguacate. En *Memorias del IV Seminario Internacional del Aguacate* (pp. xx–xx). Asociación Hortifrutícola de Colombia – ASOHOFRUCOL. <https://www.asohofrucol.com.co/6>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2022). *Zonificación de aptitud del cultivo de aguacate Hass en Colombia (escala 1:100.000)*. <https://upra.gov.co/>
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2023). *Guía metodológica para la ordenación de la producción de aguacate Hass: criterios edafoclimáticos y de sostenibilidad*. <https://upra.gov.co/>