

Indicadores de sostenibilidad en procesos de agricultura regenerativa:
una propuesta para su implementación en contextos rurales colombianos



Indicadores de sostenibilidad en procesos de agricultura regenerativa: una propuesta para su implementación en contextos rurales colombianos

Autores:

Irina Rocío Capataz Jaraba
Edwin Ferley Sánchez Bustos
Vilma Catherine Carrillo Dávila

Tutor:

Elizabeth León Velásquez

Universidad EAN

Especialización en Gerencia de Proyectos
Seminario de Investigación de Posgrado
Bogotá, D.C.

23 de noviembre de 2025

1. Resumen

La investigación aborda la necesidad de contar con indicadores de sostenibilidad que permitan evaluar de manera objetiva los procesos de agricultura regenerativa, un modelo alternativo frente a la agricultura convencional que busca restaurar la salud del suelo, promover la biodiversidad y fortalecer la resiliencia productiva. A partir de una revisión documental de literatura reciente, se analizaron estudios nacionales e internacionales que aplican metodologías como MESMIS, FarmDESIGN y Soil Navigator, con un enfoque exploratorio y descriptivo orientado al contexto rural colombiano. Los resultados evidencian la falta de indicadores estandarizados y la importancia de adaptar las herramientas de evaluación a las condiciones sociales, económicas y ambientales del territorio. Como principal aporte, se propone un conjunto de indicadores contextualizados y una guía metodológica participativa que facilitan la medición y gestión de la sostenibilidad en sistemas agrícolas regenerativos, fortaleciendo la toma de decisiones y la transformación hacia modelos productivos más sostenibles.

Palabras clave: agricultura regenerativa, sostenibilidad, indicadores, agroecosistemas.

2. Abstract

The research addresses the need for sustainability indicators that allow for the objective evaluation of regenerative agriculture processes, an alternative model to conventional agriculture that seeks to restore soil health, promote biodiversity, and strengthen productive resilience. Based on a review of recent literature, national and international studies applying methodologies such as MESMIS, FarmDESIGN, and Soil Navigator were analyzed, with an exploratory and descriptive approach focused on the Colombian rural context. The results highlight the lack of standardized indicators and the importance of adapting assessment tools to the social, economic, and environmental conditions of the territory. As a main contribution, a set of contextualized indicators and a participatory methodological guide are proposed to facilitate the measurement and management of sustainability in regenerative agricultural systems, strengthening decision-making and the transformation towards more sustainable production models.

Keywords: regenerative agriculture, sustainability, indicators, agroecosystems.

Contenido

1.	Resumen.....	2
2.	Abstract	3
3.	Introducción	6
4.	Planteamiento del Problema.....	7
4.1	Antecedentes del problema	9
4.2	Descripción del problema	11
5.	Objetivos	13
5.1	Objetivo general.....	13
5.2	Objetivos específicos	13
6.	Justificación.....	13
7.	Marco Teórico	14
8.	Guía metodológica para la implementación de indicadores de sostenibilidad.	28
8.1	Diseño Metodológico y Recolección de Datos.....	31
8.2	Enfoque y estrategia metodológica.....	31
8.3	Instrumentos y recolección de información	32
8.4	Procesamiento y análisis de la información.....	33
8.5	Referentes metodológicos: modelo MESMIS	34
8.6	Construcción de la matriz de indicadores	35
9.	Análisis e interpretación de resultados.....	37
10.	Propuesta de indicadores adaptativos.....	38

11.	Diseñar una guía metodológica.....	41
11.1	Propuesta de Guía metodológica participativa para la aplicación de indicadores de sostenibilidad.....	42
11.2	Objetivo general.....	43
11.3	Objetivos específicos	43
11.4	Fases metodológicas	43
11.5	Instrumentos propuestos	44
11.6	Estrategia de análisis.....	45
12.	Análisis y discusión de resultados.....	46
13.	Conclusiones	49
14.	Recomendaciones.....	52
14.1	Recomendaciones técnicas.....	52
14.2	Recomendaciones sociales.....	53
14.3	Recomendaciones institucionales	53
15.	Referencias.....	54

3. Introducción

La agricultura convencional, caracterizada por el uso intensivo de agroquímicos y la explotación continua del suelo, ha generado impactos ambientales y sociales significativos. Esto evidencia la necesidad de modelos productivos más sostenibles (Hernández Hernández, 2023).

En este contexto, la agricultura regenerativa surge como una alternativa que busca restaurar la salud del suelo, promover la biodiversidad y mejorar la productividad mediante prácticas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la conservación del suelo (Schreefel et al., 2022).

Sin embargo, este enfoque enfrenta un desafío crítico: la falta de indicadores estandarizados que permitan evaluar de manera objetiva los avances y resultados de los procesos regenerativos (Jayasinghe et al., 2023). Esta limitación dificulta la comparación entre experiencias, restringe la formulación de políticas públicas basadas en evidencia y afecta la toma de decisiones en territorios latinoamericanos.

Cabe aclarar que esta investigación no contempla análisis estadístico ni recolección de datos primarios, dado que se fundamenta en una revisión documental. El propósito es identificar y proponer indicadores de sostenibilidad aplicables a procesos de agricultura regenerativa en contextos rurales colombianos, complementados con una guía metodológica participativa que facilite su implementación y evaluación.

4. Planteamiento del Problema

La agricultura convencional se caracteriza por el uso intensivo de agroquímicos, monocultivos y prácticas extractivas, lo que ha contribuido significativamente a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta situación ha generado una crisis ambiental que compromete la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios, especialmente en regiones como Latinoamérica, donde la presión sobre los ecosistemas es alta y la vulnerabilidad socioeconómica de los productores rurales resulta considerable (Hernández Hernández, 2023).

Ante esta problemática, la agricultura regenerativa surge como una alternativa que busca restaurar la salud del suelo, fomentar la biodiversidad y contribuir a la mitigación del cambio climático mediante prácticas sostenibles como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos, la agroforestería y la integración de cultivos y ganadería (Schreefel et al., 2022). Este enfoque no solo pretende mejorar la productividad, sino también garantizar la resiliencia de los agroecosistemas frente a los impactos del cambio climático y la degradación ambiental. Sin embargo, a pesar de sus beneficios potenciales, la agricultura regenerativa enfrenta limitaciones importantes en cuanto a su evaluación y validación científica.

Uno de los principales desafíos es la ausencia de indicadores estandarizados que permitan medir de forma rigurosa la sostenibilidad de los procesos regenerativos. La mayoría de los estudios disponibles se basan en metodologías cualitativas, lo que dificulta la comparación con modelos convencionales y limita la formulación de políticas públicas basadas en evidencia (Jayasinghe et al., 2023). Aunque se han realizado esfuerzos en Colombia y otros países latinoamericanos para aplicar metodologías como MESMIS en la evaluación de agroecosistemas

regenerativos, los indicadores utilizados no siempre se adaptan al contexto local ni a los principios específicos de la agricultura regenerativa (Cevallos Suarez et al., 2019; Albarracín-Zaidiza et al., 2019).

A nivel internacional, investigaciones como la de Schreefel et al. (2022) han demostrado que la implementación de prácticas regenerativas puede mejorar significativamente el desempeño ambiental de distintos sistemas agrícolas, utilizando modelos como Soil Navigator y FarmDESIGN para evaluar indicadores relacionados con emisiones de gases de efecto invernadero y funcionalidad del suelo. Asimismo, Jayasinghe et al. (2023) destacan en su revisión global la falta de consenso sobre los indicadores de sostenibilidad en agricultura regenerativa y proponen criterios para su selección y adaptación según el contexto.

Esta fragmentación metodológica impide la sistematización de resultados y dificulta el monitoreo efectivo de los impactos ambientales, sociales y económicos de la agricultura regenerativa. En consecuencia, se requiere una investigación que identifique, analice y proponga indicadores de sostenibilidad pertinentes, medibles y contextualizados, que fortalezcan la implementación, el seguimiento y la validación científica de estos procesos en escenarios latinoamericanos.

Un ejemplo ilustrativo se encuentra en el estudio realizado en la huerta Tierra Mágica, Tempate, Guanacaste, Costa Rica, cuyo objetivo fue implementar de forma acelerada y con la participación activa de la comunidad un conjunto de prácticas de agricultura regenerativa y soluciones basadas en la naturaleza (Cañet Prades, 2022). En este estudio se aplicaron conceptos de agricultura regenerativa para medir diferentes indicadores de calidad del suelo, tales como tensores de carbono y contenido de nitrógeno. Los resultados revelaron que la relación C/N — indicador del potencial para transformar materia orgánica en nitrógeno mineral— presentó un

valor de 11,79 antes de la aplicación de las prácticas regenerativas, asociado a una concentración de nitrógeno inferior al nivel crítico. Tras la implementación, se observó un incremento en los niveles de carbono y nitrógeno, con una disminución en la relación C/N que se mantuvo en el rango óptimo de 8,5 a 11,5 (Cañet Prades, 2022).

Este estudio demuestra que existen diferentes tipos de mediciones aplicables al suelo que, bajo la orientación de un profesional especializado, pueden estandarizarse para generar indicadores que permitan comparar cultivos tradicionales con aquellos que aplican principios regenerativos. Otro aspecto relevante es la diversidad de especies vegetales cultivadas en el experimento, que incluyó 32 especies de hoja, mejorando los hábitos alimentarios de la población participante. En términos de rendimiento, la implementación de prácticas regenerativas permitió obtener una producción de vegetales frescos de 47 toneladas en 0,5 hectáreas, equivalente a 94 t/ha/año, lo que garantizó la disponibilidad de alimentos con alta densidad de micronutrientes como vitaminas y minerales, además de aportar fibra (Cañet Prades, 2022).

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de integrar enfoques agroecológicos, regenerativos y sistémicos que permitan construir herramientas de evaluación adaptadas a las realidades locales, con el fin de promover una transición agroalimentaria justa, resiliente y sostenible.

4.1 Antecedentes del problema

En medio de la actual crisis ambiental y el deterioro progresivo de los suelos agrícolas, han surgido diversas propuestas orientadas a transformar los sistemas productivos. Entre ellas, la agricultura regenerativa destaca por su potencial para recuperar la salud del suelo, favorecer la

biodiversidad y mitigar el cambio climático. Este modelo se fundamenta en prácticas como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos, la agroforestería y la integración de cultivos y ganadería (Hernández Hernández, 2023).

Aunque la agricultura regenerativa se ha implementado desde la década de 1950, su desarrollo ha recibido limitada atención en la literatura académica, y enfrenta el reto de mantener la rentabilidad sin comprometer el medio ambiente (Ibarra Vrska, 2019). A pesar de su creciente adopción, persisten desafíos metodológicos para evaluar rigurosamente su impacto en términos de sostenibilidad. Si bien se reconocen beneficios ambientales, sociales y económicos, la comparación con modelos convencionales y la sistematización de resultados se realiza principalmente desde enfoques cualitativos, lo que limita la disponibilidad de indicadores estandarizados para la toma de decisiones y la formulación de políticas públicas (Hernández Hernández, 2023).

Investigaciones recientes en Colombia y América Latina han comenzado a aplicar metodologías como MESMIS para evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas con prácticas regenerativas, utilizando indicadores en dimensiones ambiental, social y económica (Cevallos Suarez et al., 2019; Albarracín-Zaidiza et al., 2019). Estos estudios evidencian mejoras en la fertilidad del suelo, la biodiversidad funcional, la eficiencia en el uso de recursos y la resiliencia productiva, aunque también señalan la necesidad de adaptar los indicadores al contexto local y a los principios específicos de la agricultura regenerativa.

A nivel internacional, Schreefel et al. (2022) demostraron en los Países Bajos que la implementación de prácticas regenerativas puede mejorar significativamente el desempeño ambiental de los sistemas agrícolas. Utilizando modelos como Soil Navigator y FarmDESIGN, los autores evaluaron indicadores como emisiones de gases de efecto invernadero y

funcionalidad del suelo, mostrando reducciones de hasta el 50 % en emisiones sin comprometer la productividad agrícola. Este enfoque metodológico aporta herramientas valiosas para el diseño de indicadores aplicables en otros contextos.

Por su parte, Jayasinghe et al. (2023) realizaron una revisión global sobre la agricultura regenerativa, analizando sus definiciones y enfoques de evaluación. El estudio destaca la falta de consenso sobre los indicadores de sostenibilidad y propone criterios para su selección y adaptación según el contexto, reforzando la necesidad de construir marcos metodológicos que permitan evaluar integralmente los impactos de la agricultura regenerativa.

En síntesis, aunque existen avances significativos, los esfuerzos siguen siendo fragmentarios y requieren sistematización. Por tanto, se hace necesario desarrollar una investigación que identifique, analice y proponga indicadores de sostenibilidad aplicables a procesos de agricultura regenerativa, especialmente en contextos latinoamericanos, para fortalecer su implementación, monitoreo y validación científica.

4.2 Descripción del problema

Actualmente, el sistema agroalimentario enfrenta una crisis global que obliga a buscar nuevas formas de producción agrícola que garanticen la conservación de los recursos y, al mismo tiempo, satisfagan las necesidades de las generaciones presentes y futuras (Castaño, 2021). El uso intensivo de agroquímicos y maquinaria pesada se encuentra entre las principales causas del deterioro de los suelos. A esto se suman prácticas convencionales como los monocultivos y la tala de árboles para ampliar las áreas de cultivo, que provocan pérdida de biodiversidad y mayor

contaminación. Este modelo productivo no considera la relación entre las comunidades y su entorno, ni las oportunidades locales (Castaño, 2021).

En contraste, la agricultura regenerativa se presenta como una alternativa viable frente a los modelos tradicionales, aunque su implementación varía según la zona y enfrenta resistencia cultural en contextos donde predomina la agricultura convencional (Castaño, 2021). Este enfoque busca restaurar la salud del suelo, mejorar la biodiversidad y fortalecer la resiliencia productiva mediante prácticas sostenibles como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la integración de sistemas agroforestales.

A pesar de sus beneficios ambientales, sociales y económicos, la agricultura regenerativa enfrenta una limitación crítica: la falta de indicadores estandarizados que permitan evaluar su sostenibilidad de manera rigurosa y contextualizada. Los estudios existentes, tanto en Colombia como en otros países latinoamericanos, han comenzado a aplicar metodologías como MESMIS para evaluar agroecosistemas con prácticas regenerativas. Sin embargo, los indicadores utilizados no siempre responden a las particularidades locales ni a los principios específicos de la agricultura regenerativa, lo que dificulta la sistematización de resultados y la formulación de políticas públicas basadas en evidencia (Cevallos Suarez et al., 2019; Albarracín-Zaidiza et al., 2019).

Desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, esta situación representa un vacío metodológico que limita la planificación, el monitoreo y la mejora continua de iniciativas agroecológicas. Por tanto, se requiere una investigación de tipo descriptivo que identifique y analice indicadores de sostenibilidad aplicables a procesos de agricultura regenerativa, con el fin de fortalecer su implementación y evaluación en contextos rurales colombianos.

Pregunta de investigación:

¿Qué indicadores de sostenibilidad son adecuados para evaluar la agricultura regenerativa en zonas rurales colombianas?

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Proponer un conjunto de indicadores de sostenibilidad aplicables a procesos de agricultura regenerativa en contextos rurales colombianos, complementados con herramientas metodológicas que fortalezcan su implementación y evaluación.

5.2 Objetivos específicos

1. Identificar los principales indicadores de sostenibilidad utilizados en estudios de agricultura regenerativa en contextos rurales, tanto a nivel nacional como internacional.
2. Proponer un conjunto de indicadores de sostenibilidad adaptados a contextos rurales colombianos para la evaluación de procesos de agricultura regenerativa.
3. Diseñar una guía metodológica que facilite la implementación de los indicadores propuestos.

6. Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad urgente de transformar los sistemas agroalimentarios hacia modelos más sostenibles, especialmente en contextos rurales colombianos afectados por la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la vulnerabilidad socioeconómica. La agricultura regenerativa se presenta como una alternativa viable frente a la

agricultura convencional, al promover prácticas que restauran la salud del suelo, optimizan el uso de recursos y fortalecen la resiliencia ecológica y social (Sher et al., 2024; Tittonell, 2023).

En este marco, el estudio aporta desde una revisión documental de literatura científica reciente (últimos cinco años), analizando enfoques metodológicos como MESMIS, FarmDESIGN y Soil Navigator, que permiten evaluar la sostenibilidad de agroecosistemas desde múltiples dimensiones. La investigación busca identificar indicadores pertinentes, medibles y adaptados al contexto colombiano, contribuyendo a la construcción de herramientas metodológicas que fortalezcan la implementación, monitoreo y validación de prácticas regenerativas.

Además, este trabajo tiene como propósito generar conocimiento útil para la aplicación de cultivos regenerativos en territorios rurales, abordando temas como la diversificación productiva, el uso responsable de recursos, la eficiencia agroalimentaria y la preservación de la biodiversidad. Se espera que los resultados sirvan como insumo para la toma de decisiones informadas, la formulación de políticas públicas y el diseño de estrategias de desarrollo territorial sostenible, sin comprometer la rentabilidad de los cultivos ni la equidad social.

7. Marco Teórico

La sostenibilidad La sostenibilidad se define como la capacidad de atender las necesidades actuales sin comprometer las oportunidades de las generaciones futuras, procurando un equilibrio entre lo social, lo ambiental y lo económico (Zhang, 2024). Este enfoque orienta la gestión responsable de los recursos naturales y promueve una convivencia armónica entre las actividades humanas y los límites ecológicos del planeta. En este contexto, el desarrollo

sostenible incorpora dimensiones clave como el uso eficiente de los recursos, la conservación de los ecosistemas, la equidad social, la reducción de la pobreza y el acceso universal a servicios básicos como educación y salud. Estas acciones son fundamentales para enfrentar el cambio climático, promover la estabilidad económica y mejorar la calidad de vida, convirtiéndose en pilares de las políticas públicas globales. Asimismo, la política medioambiental se configura como el conjunto de medidas institucionales orientadas a mitigar el impacto de las actividades humanas sobre el entorno (Zhang, 2024).

En el ámbito de los sistemas agroalimentarios, la sostenibilidad se refiere a la capacidad de los agroecosistemas para conservar su productividad y equilibrio ecológico en el tiempo. Esto exige una gestión integral de elementos como el suelo, el agua, la biodiversidad y la energía, mediante prácticas que reduzcan el impacto ambiental y generen beneficios sociales y económicos. Desde una perspectiva sistémica, estos sistemas deben ser resilientes, eficientes en el uso de recursos y equitativos en la distribución de beneficios, considerando tanto los aspectos productivos como las interacciones ecológicas y sociales que los conforman (Schreefel et al., 2022; Jayasinghe et al., 2023).

Además, la sostenibilidad agrícola está estrechamente vinculada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 2 (Hambre cero) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), que promueven sistemas agroalimentarios resilientes, inclusivos y ambientalmente responsables (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Los indicadores son instrumentos de medición que permiten evaluar el progreso de diversas dimensiones de una actividad, como la agrícola. Facilitan el seguimiento de metas y objetivos y proporcionan información clave para la toma de decisiones por parte de los actores

involucrados en el desarrollo rural. Estos indicadores suelen clasificarse siguiendo el modelo presión–estado–respuesta, ampliamente adoptado por organismos como la ONU, la OCDE y el Gobierno del Reino Unido. En este enfoque, los indicadores de presión reflejan la magnitud de las fuerzas que generan cambios en condiciones ambientales, económicas y sociales; los de estado muestran directamente dichas condiciones; y los de respuesta permiten medir las acciones implementadas por agricultores, responsables políticos y otros actores frente a tales transformaciones (Stevenson & Lee, 2009).

La evaluación de la sostenibilidad en sistemas agrícolas regenerativos requiere el uso de indicadores que permitan medir de forma objetiva el desempeño ambiental, social y económico de los procesos productivos. Estos indicadores actúan como herramientas de diagnóstico, seguimiento y mejora continua, facilitando la toma de decisiones informadas y la formulación de políticas públicas basadas en evidencia. Desde la dimensión ambiental, los indicadores más utilizados incluyen la calidad del suelo (contenido de materia orgánica, relación carbono/nitrógeno), la biodiversidad funcional, el uso eficiente del agua y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. En el ámbito social, se consideran aspectos como la participación comunitaria, la equidad de género, la seguridad alimentaria y el fortalecimiento de capacidades locales. Por su parte, los indicadores económicos evalúan la rentabilidad, la eficiencia productiva, el acceso a mercados y la estabilidad financiera de los productores (Jayasinghe et al., 2023; Monsalve Camacho et al., 2021).

La selección de estos indicadores debe responder a criterios de pertinencia, sensibilidad, viabilidad técnica y relevancia contextual. En el caso de la agricultura regenerativa, es fundamental que los indicadores reflejen los principios del enfoque regenerativo, como la

restauración ecológica, la resiliencia agroecosistémica y la integración de saberes locales.

Además, se recomienda que los indicadores sean adaptables a diferentes escalas (finca, comunidad, territorio) y que permitan comparaciones entre modelos convencionales y regenerativos (Schreefel et al., 2022).

Para seleccionar indicadores adecuados en agroecosistemas rurales, es necesario aplicar un enfoque metodológico riguroso que considere tanto la complejidad de los sistemas como las condiciones específicas del territorio. Valizadeh y Hayati (2025) proponen un proceso sistemático de once pasos para construir un índice compuesto de sostenibilidad agrícola, basado en cuatro criterios fundamentales: mensurabilidad, disponibilidad, simplicidad/parsimonia y relevancia. Estos criterios, adaptados de la literatura especializada (de Olde et al., 2016), garantizan que los indicadores sean técnicamente sólidos, accesibles, comprensibles para diversos actores (incluidos agricultores y tomadores de decisiones) y alineados con los objetivos del desarrollo sostenible. La mensurabilidad asegura que los indicadores generen datos confiables y reproducibles; la disponibilidad facilita su aplicación práctica; la simplicidad reduce la carga cognitiva y técnica; y la relevancia garantiza que cada indicador refleje aspectos significativos de las dimensiones ambiental, social o económica del sistema agrícola. Este enfoque permite construir conjuntos de indicadores útiles para la toma de decisiones, el monitoreo participativo y la transformación sostenible de los sistemas agroalimentarios rurales.

Diversos estudios han propuesto clasificaciones de indicadores según su función (diagnóstico, monitoreo, evaluación), su naturaleza (biofísicos, socioeconómicos, institucionales) y su nivel de agregación (individual, compuesto, sintético). Esta diversidad metodológica refleja

la complejidad de los sistemas agrícolas y la necesidad de enfoques integrales para su análisis (Jayasinghe et al., 2023; Pacini et al., 2009; Binder et al., 2010).

Tabla 1. Indicadores comunes de sostenibilidad en agricultura regenerativa y metodologías asociadas por dimensión

Dimensión	Indicadores comunes	Metodología asociada
Ambiental	Relación Carbono/Nitrógeno, biodiversidad funcional	MESMIS, Soil Navigator
Social	Participación comunitaria, equidad	MESMIS
Económica	Rentabilidad, acceso a mercados	FarmDesing

Nota: elaboración propia con base en revisión de literatura académica.

La evaluación de la sostenibilidad en sistemas agrícolas regenerativos requiere metodologías que integren múltiples dimensiones del agroecosistema y que sean capaces de adaptarse a contextos locales, entre las más reconocidas se encuentran MESMIS, FarmDESIGN y Soil Navigator, cada una con enfoques particulares que permiten analizar el desempeño ambiental, social y económico de los sistemas productivos.

La metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad) ha sido ampliamente utilizada en América Latina para evaluar agroecosistemas campesinos, su enfoque se basa en siete atributos clave: productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autodependencia, a partir de estos atributos se construyen indicadores específicos que permiten valorar el grado de sostenibilidad del sistema (Cevallos Suarez et al., 2019). MESMIS destaca por su flexibilidad y por incorporar la participación de actores locales en la definición de indicadores, lo que lo hace especialmente útil en contextos rurales diversos.

Por otro lado, FarmDESIGN es una herramienta computacional desarrollada en Europa que permite simular escenarios de manejo agrícola y evaluar su impacto en múltiples dimensiones, esta metodología combina datos biofísicos, económicos y sociales para generar modelos de optimización que orientan la toma de decisiones en fincas, en el contexto de la agricultura regenerativa, FarmDESIGN ha sido utilizado para comparar prácticas convencionales y regenerativas, mostrando mejoras significativas en la eficiencia de recursos y la reducción de emisiones (Schreefel et al., 2022).

Finalmente, Soil Navigator es una herramienta enfocada en la salud del suelo, que permite evaluar indicadores como la estructura, la biodiversidad microbiana, la capacidad de retención de agua y la fertilidad, esta metodología ha sido aplicada en estudios europeos para monitorear el impacto de prácticas regenerativas sobre la funcionalidad del suelo, evidenciando su potencial como indicador clave de sostenibilidad (Schreefel et al., 2022).

Estas metodologías, aunque desarrolladas en distintos contextos, comparten el objetivo de ofrecer herramientas integrales para la evaluación de sistemas agrícolas sostenibles, su aplicación en Colombia requiere adaptaciones que consideren las condiciones agroecológicas, socioeconómicas y culturales del territorio, así como la participación de los productores en el proceso evaluativo.

Aunque modelos como MESMIS Y FarmDESING han demostrado eficacia en contextos europeos y latinoamericanos, su aplicación en Colombia requiere ajustes específicos, las condiciones agroecológicas, la informalidad rural y la limitada infraestructura demandan indicadores que reflejen no solo la sostenibilidad técnica, sino también la viabilidad social y económica en territorios afectados por el conflicto y la desigualdad.

La aplicación de prácticas de agricultura regenerativa en América Latina ha sido objeto de diversos estudios que evidencian su potencial para mejorar la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios, estos estudios de caso permiten observar cómo se implementan estrategias regenerativas en contextos rurales específicos, y qué indicadores son más efectivos para evaluar su impacto.

En Colombia, investigaciones como la de Fonseca-Carreño y Narváez-Benavides (2021) han aplicado la metodología MESMIS para evaluar sistemas de producción campesina en la región del Sumapaz, estos resultados muestran mejoras en la fertilidad del suelo, la biodiversidad funcional y la resiliencia productiva, además es de destacar la importancia de adaptar los indicadores a las condiciones locales y a los principios de la agricultura regenerativa.

Otro ejemplo relevante es el estudio realizado en Guanacaste, Costa Rica, por Cañet Prades (2022), donde se implementaron prácticas regenerativas en una huerta comunitaria, se evaluaron indicadores como la relación carbono/nitrógeno del suelo, la diversidad de especies vegetales y el rendimiento de cultivos; los resultados evidenciaron un incremento en la calidad del suelo y en la producción de alimentos con alto valor nutricional, lo que demuestra el impacto positivo de estas prácticas en la seguridad alimentaria y la salud ambiental.

En el ámbito internacional, Jayasinghe et al. (2023) realizaron una revisión global que incluye experiencias en América Latina, señalando la falta de consenso sobre los indicadores de sostenibilidad y la necesidad de construir marcos metodológicos adaptables. De León et al. (2010) también destacan la utilidad del enfoque MESMIS en 28 estudios de caso en América Latina, lo que refuerza la importancia de adaptar las herramientas de evaluación a los contextos locales.

Estos casos demuestran que la agricultura regenerativa no solo es viable en contextos rurales latinoamericanos, sino que también puede generar beneficios tangibles en términos ecológicos, sociales y económicos, además, evidencian la necesidad de contar con indicadores específicos que reflejen las particularidades de cada territorio y que permitan monitorear el progreso hacia sistemas agroalimentarios más sostenibles.

Los contextos rurales colombianos presentan una compleja interacción de factores socioeconómicos, ambientales y políticos que condicionan la implementación de procesos sostenibles como la agricultura regenerativa, en estas zonas, predominan altos niveles de pobreza, informalidad laboral, acceso limitado a servicios básicos y tecnologías, así como una débil articulación institucional para el desarrollo rural (Chávez-Miguel et al., 2022; Pérez-Marulanda et al., 2025).

En el contexto colombiano, la adaptación de indicadores de sostenibilidad debe considerar no solo las condiciones biofísicas del territorio, sino también las dinámicas sociales y económicas que afectan la viabilidad de los proyectos agroecológicos, por ejemplo, en zonas rurales con alta informalidad laboral y limitada infraestructura, indicadores como la participación comunitaria, el acceso a asistencia técnica y la resiliencia frente a conflictos sociales pueden ser más relevantes que aquellos centrados exclusivamente en productividad.

En este sentido, se propone un conjunto de indicadores de sostenibilidad adaptados a contextos rurales colombianos, organizados por dimensión, esta propuesta considera las condiciones estructurales del territorio (Chávez-Miguel et al., 2022; Rincón-Zapata et al., 2021), las particularidades de la agricultura regenerativa (Fonseca-Carreño & Narváez-Benavides, 2021; Albarracín-Zaidiza et al., 2019), y la necesidad de contar con herramientas de evaluación

pertinentes, comprensibles y útiles para la toma de decisiones (Stevenson & Lee, 2009; Jayasinghe et al., 2023). Los indicadores seleccionados responden a criterios de mensurabilidad, relevancia contextual, simplicidad y disponibilidad, retomados de la propuesta metodológica de Valizadeh y Hayati (2025), basada a su vez en los lineamientos de de Olde et al. (2016), y han sido construidos con base en literatura científica y estudios de caso aplicados en Colombia.

Tabla 2. Indicadores de sostenibilidad adaptados a contextos rurales colombianos según dimensión

Dimensión	Indicador adaptado	Justificación contextual
Ambiental	Relación C/N del suelo	Refleja fertilidad y capacidad de regeneración del suelo en zonas degradadas
	Diversidad funcional de cultivos	Evalúa la resiliencia agroecológica y la seguridad alimentaria
	Uso eficiente del agua	Fundamental en regiones con estrés hídrico como el Caribe seco y el Sumapaz
	Reducción de agroquímicos	Mide la transición hacia prácticas regenerativas
Social	Participación comunitaria	Evalúa el involucramiento local en decisiones productivas
	Equidad de género en roles productivos	Refleja inclusión y justicia social en zonas rurales
	Seguridad alimentaria	Mide acceso y disponibilidad de alimentos nutritivos
	Fortalecimiento de capacidades locales	Evalúa acceso a formación técnica y apropiación del conocimiento

Económica	Rentabilidad predial	Mide sostenibilidad financiera de la producción regenerativa
	Diversificación de ingresos	Evalúa resiliencia económica frente a crisis del mercado
	Acceso a mercados locales y diferenciados	Refleja integración territorial y valor agregado
Institucional	Estabilidad de precios y contratos	Mide justicia comercial en contextos de informalidad
	Acceso a asistencia técnica	Refleja articulación con políticas públicas rurales
	Participación en organizaciones campesinas	Mide cohesión social y capacidad de incidencia

Nota: elaboración propia con base en Valizadeh & Hayati (2025), Fonseca-Carreño & Narváez-Benavides (2021), Albarracín-Zaidiza et al. (2019), y revisión de literatura académica.

La propuesta de indicadores adaptados a contextos rurales colombianos se vincula directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con instrumentos de política pública como el Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), el CONPES 4021 sobre deforestación y las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC). En este sentido, los indicadores ambientales relación carbono/nitrógeno del suelo, el uso eficiente del agua y reducción de agroquímicos contribuyen al cumplimiento del ODS 2 (Hambre cero), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 13 (Acción por el clima). Asimismo, los indicadores sociales que incluyen la participación comunitaria, equidad de género y fortalecimiento de capacidades locales, se relacionan con el ODS 5 (Igualdad de género), ODS 10 (Reducción de las desigualdades) y ODS 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas). Por otra parte, los indicadores económicos tales como la rentabilidad predial, acceso a mercados y diversificación de ingresos,

apoyan el ODS 8 (Trabajo decente y crecimiento económico). Finalmente, los indicadores institucionales entre ellos el acceso a asistencia técnica y la participación en organizaciones campesinas, fortalecen el ODS 17 (Alianzas para lograr los objetivos), al promover la articulación entre comunidades rurales, instituciones públicas y actores del desarrollo. De este modo, esta relación evidencia que los indicadores no solo evalúan el desempeño técnico de los sistemas agroalimentarios, sino también su aporte a la transformación territorial sostenible y a la construcción de paz ambiental en Colombia (Organización de las Naciones Unidas, 2015; Pérez-Marulanda et al., 2025; Chávez-Miguel et al., 2022).

Asimismo, la articulación con políticas públicas como el Plan Nacional de Desarrollo y los ODS permite que los indicadores midan no solo resultados técnicos, sino también avances en inclusión, equidad y sostenibilidad territorial. Esta perspectiva exige que los indicadores sean flexibles, culturalmente pertinentes y construidos con la participación de las comunidades rurales.

Uno de los principales desafíos es la migración de jóvenes hacia centros urbanos, motivada por la falta de oportunidades económicas, educativas y de participación en sus territorios. Esta situación ha generado procesos de despoblamiento rural y pérdida de identidad campesina, afectando la cohesión social y la resiliencia comunitaria (Peña-Torres & Reina-Rozo, 2022). En regiones como Sumapaz, Cauca y Caquetá se evidencian tensiones entre modelos extractivistas y propuestas agroecológicas que buscan la defensa del territorio y la permanencia digna en el campo.

En este sentido, la agroecología ha emergido como una alternativa transformadora en estos contextos, articulando saberes ancestrales, prácticas sostenibles y procesos de educación

popular. Las experiencias de las Escuelas Campesinas de Agroecología (ECAs) han demostrado que es posible fortalecer el tejido social mediante la formación participativa, la recuperación de la memoria histórica y la organización comunitaria (Chávez-Miguel et al., 2022). Estas acciones impulsan procesos de paz ambiental liderados por comunidades rurales, entendidos como la generación de capacidades colectivas para enfrentar conflictos, adaptarse al cambio climático y gestionar los recursos de manera sostenible.

En el caso de los sistemas agroforestales de cacao, se ha evidenciado que su adopción puede contribuir simultáneamente a la mitigación del cambio climático, la restauración de suelos degradados y la generación de ingresos legítimos para familias rurales. Sin embargo, su implementación enfrenta barreras estructurales como la falta de asistencia técnica, el acceso limitado a crédito y la débil articulación entre políticas públicas y realidades locales (Pérez-Marulanda et al., 2025). La investigación ha identificado que factores como la edad del cultivo, la pertenencia a organizaciones sociales y la interacción entre productores son determinantes para la adopción de prácticas sostenibles en el nivel predial.

Por otro lado, el marco institucional colombiano ha desarrollado diversas políticas orientadas a promover la sostenibilidad en zonas rurales, especialmente en territorios afectados por el conflicto armado y la deforestación. El Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026, la Política Nacional para el Control de la Deforestación (CONPES 4021), la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC) y las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) son ejemplos de instrumentos que promueven sistemas agroforestales como el cacao para la mitigación climática y la paz territorial. Sin embargo, estudios recientes evidencian que muchas de estas políticas no abordan directamente los factores que facilitan la adopción de

prácticas sostenibles en el nivel predial, como el fortalecimiento de organizaciones campesinas, la interacción entre productores y la conversión de usos del suelo (Pérez-Marulanda et al., 2025).

En Colombia, la aplicación de indicadores de sostenibilidad en agricultura regenerativa debe considerar las limitaciones estructurales que enfrentan las comunidades rurales, como el acceso restringido a tecnologías, la informalidad laboral y la baja cobertura institucional. Por ello, más allá de medir variables técnicas, los indicadores deben reflejar aspectos como la participación comunitaria, la apropiación del conocimiento y la capacidad de adaptación frente a cambios sociales y ambientales.

Además, es fundamental que estos indicadores se construyan de forma participativa, incorporando saberes locales y experiencias campesinas. Esto no solo mejora la pertinencia de los instrumentos de evaluación, sino que también fortalece el sentido de pertenencia y empoderamiento de las comunidades frente a sus propios procesos de desarrollo.

La implementación de indicadores para conocer y sustentar el efecto de la sostenibilidad aplicada en las zonas rurales colombianas requiere una inmersión en el contexto rural para dimensionar capacidades, retos, oportunidades y posibles limitantes de su adopción. Según Rincón-Zapata et al. (2021):

Las brechas continúan ampliándose y se hacen más evidentes en relación con variables socioeconómicas que impactan directamente la calidad de vida de las personas que habitan y trabajan en el mundo rural. Los aspectos más determinantes se vinculan con temáticas como educación, empleo, ingresos, pobreza, desigualdad, calidad de la vivienda e inversión pública, entre otros. Muchas de las alertas actuales son las mismas que se presentaban hace seis décadas,

pues atraviesan asuntos relacionados con alimentación, salud, vivienda, educación, oportunidades de ingreso digno e infraestructura (Rincón-Zapata et al., 2021, p. 181).

Considerando esta dinámica de desigualdad global, se aborda el contexto colombiano a partir del análisis de indicadores socioeconómicos que reflejan tendencias de participación y desempeño del sector agropecuario frente al PIB en zonas rurales y urbanas (Rincón-Zapata et al., 2021). La participación del sector agropecuario en la economía nacional ha disminuido, lo cual se explica por el crecimiento acelerado de otros sectores como el industrial y el de servicios. Este comportamiento no implica que el sector agropecuario no se desarrolle, sino que el foco de empresarios e inversionistas se orienta hacia los sectores más grandes y rentables, generando beneficios para el país, pero también un descuido del agro, considerado la despensa alimentaria nacional. Incluso, las políticas públicas y las leyes aprobadas en el Congreso tienden a priorizar la solución de problemáticas sociales vinculadas principalmente con los sectores industrial y de servicios.

En Colombia, según cifras del DANE, la población rural representa el 15,8 % del total nacional, de acuerdo con el censo poblacional de 2018 (Rincón-Zapata et al., 2021). Este porcentaje refleja el potencial humano más valioso del agro colombiano: las personas que viven y trabajan en contextos rurales. Sin embargo, esta población muestra una tendencia decreciente debido a la falta de oportunidades laborales y condiciones salariales, así como a la ausencia de beneficios relacionados con salud y vivienda. Estas limitaciones impulsan la migración hacia zonas urbanas en busca de mejores oportunidades. Otro factor que ha intensificado el desplazamiento rural es la presencia de conflictos armados, generalmente concentrados en estas regiones (Rincón-Zapata et al., 2021).

Particularidades de la agricultura regenerativa en Colombia

Los indicadores de pobreza por zonas evidencian una marcada brecha porcentual. En Colombia, el DANE mide la pobreza mediante dos índices: uno directo, que corresponde al Índice de Pobreza Multidimensional (IPM), el cual agrupa características esenciales como salud, calidad del empleo, educación, vivienda y servicios públicos; y otro indirecto, que se calcula a partir del nivel de ingresos necesarios para acceder a la canasta básica.

El indicador de pobreza rural, por sí solo, no impide la implementación de proyectos agropecuarios sostenibles; sin embargo, en el contexto colombiano se suman factores adicionales que dificultan el desarrollo del sector, como la infraestructura deficiente y el acceso limitado a tecnologías y mercados. En muchas regiones, los municipios permanecen aislados de las grandes urbes, lo que complica el comercio de mercancías. Esta mala conectividad intensifica la dificultad para obtener tecnologías modernas, fertilizantes adecuados y maquinaria que optimice las labores agrícolas, lo que frena la productividad y limita la incorporación de prácticas sostenibles.

8. Guía metodológica para la implementación de indicadores de sostenibilidad.

La implementación de indicadores en procesos de agricultura regenerativa requiere una guía metodológica que oriente su selección, aplicación, monitoreo y evaluación. Esta guía debe ser clara, participativa y contextualizada, de manera que los actores locales comprendan y apropien los instrumentos de medición.

Según Stevenson y Lee (2009), una guía metodológica efectiva debe integrar procesos científicos y participativos, asegurando que los indicadores respondan a las realidades del

territorio y a las necesidades de quienes lo habitan. En este sentido, se recomienda que la guía incluya los siguientes elementos:

- Definición de objetivos de evaluación: ¿qué se quiere medir y por qué?
- Selección de indicadores por dimensión: ambiental, social y económica.
- Validación técnica y comunitaria: garantizar que los indicadores sean comprensibles, medibles y útiles.
- Monitoreo periódico: establecer frecuencias, responsables y métodos de recolección.
- Retroalimentación y ajuste: permitir que los resultados generen aprendizajes y mejoras continuas.

Experiencias como las Escuelas Campesinas de Agroecología (ECAs) en Colombia han demostrado que la sistematización participativa fortalece la apropiación de los indicadores y mejora la gestión territorial. Asimismo, metodologías como MESMIS promueven la co-construcción de indicadores con base en atributos como resiliencia, equidad y autodependencia, lo que las hace especialmente útiles en contextos rurales diversos.

Una guía metodológica bien diseñada no solo facilita la medición de la sostenibilidad, sino que también empodera a las comunidades rurales para tomar decisiones informadas, fortalecer sus capacidades organizativas y avanzar hacia modelos agroalimentarios más justos y resilientes.

El análisis realizado en este marco teórico permitió identificar los principales enfoques conceptuales y metodológicos utilizados en la evaluación de la sostenibilidad en agroecosistemas, tanto a nivel nacional como internacional. La literatura revisada evidencia la diversidad de indicadores empleados y la utilidad de metodologías como MESMIS,

FarmDESIGN y Soil Navigator para abordar la complejidad de los sistemas agroalimentarios desde una perspectiva integral.

Asimismo, se destaca la importancia de adaptar los instrumentos de evaluación a las condiciones específicas de los territorios rurales colombianos, reconociendo sus dinámicas socioecológicas, culturales y productivas. Esta adaptación requiere no solo una comprensión profunda de los conceptos de sostenibilidad, resiliencia y regeneración, sino también una mirada crítica sobre la aplicabilidad de los indicadores existentes en contextos locales.

En consecuencia, el marco teórico proporciona una base conceptual sólida para la formulación de un conjunto de indicadores pertinentes y contextualizados, capaces de responder a las necesidades reales de los actores rurales y promover procesos de transformación sostenible. Esta base conceptual orientará el diseño metodológico del estudio, asegurando que los indicadores propuestos reflejen las realidades del territorio y contribuyan a la transformación sostenible de los sistemas agroalimentarios rurales.

La adopción de indicadores construidos con participación de los actores locales incrementa la legitimidad de los resultados y su uso en decisiones cotidianas. Al involucrar productores, técnicos y autoridades, el sistema de evaluación deja de ser un ejercicio externo y se convierte en una herramienta de gobernanza territorial, favoreciendo la coordinación entre iniciativas públicas y comunitarias.

Finalmente, la inclusión de una guía metodológica clara, participativa y contextualizada representa un aporte significativo para la implementación efectiva de los indicadores propuestos. Esta guía no solo facilitará la medición rigurosa de la sostenibilidad, sino que también fortalecerá la apropiación comunitaria, la sistematización de aprendizajes y la articulación con políticas

públicas, consolidando así un enfoque integral para la evaluación y mejora continua de la agricultura regenerativa en Colombia.

8.1 Diseño Metodológico y Recolección de Datos

El primer objetivo específico de esta investigación consiste en identificar los principales indicadores de sostenibilidad utilizados en estudios sobre agricultura regenerativa en contextos rurales, tanto a nivel nacional como internacional.

Para alcanzar este propósito, se adopta un enfoque exploratorio y descriptivo, adecuado cuando se pretende analizar fenómenos emergentes o escasamente sistematizados, sin manipular variables, pero con el fin de construir una base conceptual que sirva como soporte para fases posteriores del estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023).

8.2 Enfoque y estrategia metodológica

La estrategia metodológica se fundamentó en una revisión sistemática de literatura científica, centrada en estudios recientes que abordan la agricultura regenerativa desde una perspectiva de sostenibilidad. Las fuentes fueron seleccionadas por su relevancia temática y metodológica, y se consultaron en bases académicas reconocidas como Springer, Scopus y ScienceDirect. Se priorizaron investigaciones que aplicaran marcos de evaluación como MESMIS, FarmDESIGN y Soil Navigator, y que presentaran indicadores agrupados por dimensiones: ambiental, social, económica e institucional (Silvestri et al., 2024; Sher et al., 2024).

Cabe señalar que esta investigación no contempla análisis estadístico ni recolección de datos primarios, dado que se fundamenta en un enfoque documental. El estudio se desarrolló mediante una revisión sistemática de literatura científica reciente, siguiendo criterios de pertinencia, actualidad y rigor metodológico (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023). Esta decisión se justifica porque el objetivo principal es identificar, analizar y proponer indicadores de sostenibilidad aplicables a procesos de agricultura regenerativa en contextos rurales colombianos, a partir de evidencia académica consolidada. Por tanto, el análisis se centra en la interpretación cualitativa y comparativa de los hallazgos reportados en estudios previos, sin aplicar técnicas estadísticas ni instrumentos de medición en campo.

Los estudios de Sher et al. (2024), Silvestri et al. (2024) y Tittonell (2023) evidencian que la sostenibilidad en la agricultura regenerativa requiere integrar indicadores ambientales, sociales y económicos que reflejen las interacciones entre suelo, biodiversidad, productividad y bienestar comunitario. En este sentido, la revisión permitió identificar coincidencias conceptuales y metodológicas entre los diferentes enfoques internacionales y latinoamericanos.

8.3 Instrumentos y recolección de información

Para la recolección y organización de la información, se empleó una ficha de análisis documental como instrumento principal. Esta herramienta permitió sistematizar los elementos clave de cada estudio revisado, incluyendo campos como autor(es) y año de publicación, objetivo del estudio, contexto geográfico, tipo de agroecosistema, metodología empleada, indicadores identificados, clasificación por dimensión y modelo de evaluación utilizado. Este instrumento facilita la organización estructurada de la información y la comparación entre

estudios, lo cual es esencial en investigaciones de carácter exploratorio y descriptivo (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2023; Silvestri et al., 2024).

8.4 Procesamiento y análisis de la información

Para el procesamiento y análisis de los datos, se aplicó una técnica de análisis de contenido temático, que permitió identificar, agrupar y clasificar los indicadores de sostenibilidad según las dimensiones previamente definidas. Esta técnica posibilita una lectura cualitativa profunda de los textos científicos, revelando patrones recurrentes, enfoques metodológicos predominantes y vacíos en la literatura (Tittonell, 2023; Silvestri et al., 2024).

Sher et al. (2024) destacan que los indicadores más representativos en agricultura regenerativa se relacionan con la salud del suelo, la biodiversidad funcional y la eficiencia en el uso de recursos, mientras que Silvestri et al. (2024) proponen marcos que integran criterios de ecoeficiencia, circularidad y bienestar social. Por su parte, Tittonell (2023) enfatiza la importancia de incorporar criterios de resiliencia, productividad sostenible y equidad social en la selección de indicadores para agroecosistemas.

El análisis se complementó con una matriz de indicadores, en la que se sistematizaron los elementos clave de cada estudio, como el contexto, la metodología, los indicadores propuestos y su clasificación. Esta matriz facilitó la comparación entre investigaciones y contribuyó a la construcción de una base conceptual sólida para la formulación de indicadores adaptados al contexto rural colombiano (Tittonell, 2023; Silvestri et al., 2024; Cruz et al., 2024).

La matriz de indicadores se estructuró con los siguientes campos: autor(es) y año, contexto geográfico, tipo de agroecosistema, metodología empleada, indicadores identificados, dimensión del indicador y modelo de evaluación utilizado. Esta herramienta metodológica permite visualizar de forma integrada la diversidad de enfoques y criterios presentes en la literatura científica sobre agricultura regenerativa, constituyendo un insumo clave para el diseño de propuestas contextualizadas (Silvestri et al., 2024; Tittonell, 2023; Cruz et al., 2024).

8.5 Referentes metodológicos: modelo MESMIS

El modelo MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad) constituye un referente metodológico fundamental en esta revisión. Este marco, desarrollado y aplicado ampliamente en América Latina, propone evaluar la sostenibilidad a partir de seis atributos: productividad, estabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión (Astier et al., 2012).

La revisión del estudio aplicado en Cundinamarca por Cruz, Pardo, Horcada y Mena (2024), que empleó el marco MESMIS en sistemas de ganadería doble propósito, confirma la vigencia y aplicabilidad del modelo en contextos rurales colombianos: los autores identificaron indicadores como la rentabilidad predial, la diversificación de ingresos, la gestión del agua y la participación organizativa, los cuales sirven de insumo para adaptar la matriz de indicadores al contexto nacional.

8.6 Construcción de la matriz de indicadores

A partir del análisis documental se elaboró la matriz de indicadores que consolida los hallazgos más relevantes de los cinco estudios seleccionados. Esta matriz permite observar de manera comparativa los contextos, metodologías e indicadores identificados, y constituye una herramienta fundamental para la fase comparativa y de validación del proyecto (Silvestri et al., 2024; Tuttonell, 2023).

Tabla 3. Matriz de análisis documental base

Autor(es) / Año	Título del estudio	Contexto geográfico	Tipo de agroecosistema o sector	Metodología / Modelo aplicado	Principales indicadores identificados	Dimensión	Aportes relevantes para el estudio
Sher, A., Li, H., Ullah, A., Hamid, Y., Nasir, B., & Zhang, J. (2024)	Importance of regenerative agriculture: climate, soil health, biodiversity and its socioecological impact. <i>Discover Sustainability</i> , 5(462). https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z	Global (China, Pakistán)	Agricultura regenerativa	Revisión sistemática de literatura	Salud del suelo, biodiversidad funcional, secuestro de carbono, uso eficiente del agua, reducción de agroquímicos, emisiones de GEI.	Ambiental / Social	Evidencia la relación entre agricultura regenerativa, mitigación climática y bienestar rural; destaca la necesidad de indicadores holísticos.
Tittonell, P. (2023)	Evaluation and Indicators in the Design of Agroecosystems. En <i>A Systems Approach to Agroecology</i> (pp. 43–75). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42939-2_8	Internacional (casos en Europa, África y América Latina)	Agroecosistemas agrícolas	Enfoque sistémico; análisis de atributos de sostenibilidad	Diversidad, resiliencia, eficiencia energética, productividad ecológica, equidad social.	Ambiental / Social / Económica	Propone un marco teórico para seleccionar y clasificar indicadores desde la agroecología y la sostenibilidad sistémica.
Silvestri, C., Silvestri, L., Piccarozzi, M., & Ruggieri, A. (2024)	Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review. <i>Int. J. Life Cycle Assess</i> , 29(1446–1484). https://doi.org/10.1007/s11367-022-02032-1	Europa / Global	Sector agroalimentario	Revisión sistemática / LCA / Enfoque de triple balance	Indicadores de ciclo de vida (LCA), ecoeficiencia, innovación, cooperación entre actores, bienestar social.	Ambiental / Económica / Social	Desarrolla un marco metodológico de selección de indicadores integrados bajo el enfoque de economía circular.
Astier, M., García-Barrios, L., Galván-Miyoshi, Y., González-Esquível, C. E., & Maserà, O. R. (2012)	Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS Program (1995–2010). <i>Ecology and Society</i> , 17(3):25. https://doi.org/10.5751/ES-04910-170325	Latinoamérica (México y región Iberoamericana)	Agricultura familiar y manejo de recursos naturales	Programa MESMIS / Evaluación participativa	Productividad, resiliencia, estabilidad, autogestión, adaptabilidad, equidad.	Ambiental / Social / Institucional	Presenta un marco integral y validado de indicadores para sistemas rurales sostenibles, aplicable al contexto latinoamericano.
Reyes, J. E., Rodríguez, J. A., & Valbuena, D. (2020)	An Assessment of Sustainability of Dual-Purpose, Dairy and Beef Cattle Production Systems in the Cundinamarca Department (Colombia) Using the MESMIS Framework.	Colombia (Cundinamarca)	Ganadería doble propósito	Aplicación del modelo MESMIS	Rentabilidad predial, diversificación de ingresos, gestión del agua, manejo del pasto, participación organizativa.	Económica / Ambiental / Institucional	Caso colombiano que demuestra la aplicabilidad del MESMIS en contextos rurales; aporta indicadores concretos adaptados al territorio nacional.

Nota: elaboración propia con base en Sher et al. (2024); Tittonell (2023); Silvestri et al. (2024); Astier et al. (2012); y Cruz et al. (2024).

9. Análisis e interpretación de resultados

Los resultados de la revisión sistemática evidencian que, pese a la diversidad de contextos y metodologías, existe consenso en torno a la necesidad de establecer indicadores de sostenibilidad integrales que aborden simultáneamente las dimensiones ecológica, social y económica. Sher et al. (2024) y Silvestri et al. (2024) destacan la tendencia global hacia la incorporación de criterios de circularidad y bienestar social, mientras que Tiftonell (2023) enfatiza la relevancia de atributos como resiliencia y equidad, considerados pilares de la sostenibilidad agroecológica.

En América Latina, los aportes del modelo MESMIS (Astier et al., 2012) y su aplicación en Colombia (Cruz et al., 2020) confirman la utilidad de este marco para la evaluación participativa y contextual de sistemas productivos rurales. En conjunto, estas evidencias respaldan la pertinencia de adaptar y aplicar los indicadores identificados al contexto rural colombiano, tal como se plantea en la siguiente fase de la investigación.

En síntesis, el desarrollo de este primer objetivo permitió sistematizar los principales indicadores de sostenibilidad empleados en la literatura científica sobre agricultura regenerativa. Este proceso fortaleció el marco conceptual del estudio y sentó las bases metodológicas para el segundo objetivo, que consiste en proponer indicadores adaptados al contexto rural colombiano. De esta manera, se asegura la continuidad lógica entre la revisión teórica y la fase aplicada del proyecto.

10. Propuesta de indicadores adaptativos

Para este apartado se tomaron los principales indicadores seleccionados en la revisión y se compararon con la realidad del contexto rural colombiano. Esta comparación se aborda desde las diferentes dimensiones: ambiental, social, económica e institucional. El objetivo es determinar la viabilidad de adoptar estos indicadores en los territorios rurales del país.

Indicador ambiental: Relación C/N del suelo. Este indicador refleja la fertilidad y capacidad de regeneración del suelo en zonas degradadas (Cañet Prades, 2022). Su medición requiere análisis en laboratorios especializados, acceso a equipos de precisión y personal capacitado. Instituciones como el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) cuentan con estos servicios. Según el Laboratorio de Suelos LDEPL (2025), un estudio de fertilidad tiene un costo aproximado de \$75.000, aunque este valor puede variar según la región. Si bien estos servicios son esenciales para la agricultura regenerativa, en muchos territorios rurales la capacidad técnica es limitada, lo que dificulta el acceso a análisis especializados.

Indicador social: Fortalecimiento de capacidades locales. Este indicador, de naturaleza cualitativa, enfrenta retos en contextos sociales adversos como el conflicto armado. Su relevancia radica en la relación con iniciativas de formación, como las Escuelas de Campo para Agricultores (s. f.), programas impulsados por la FAO que brindan capacitación para resolver problemas en el propio campo. En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) lidera programas similares. El objetivo del indicador es medir la cobertura y alcance de estas capacitaciones, así como su integración con otros servicios, como estudios de suelos.

Indicador económico: Rentabilidad predial. Medir la rentabilidad de los cultivos regenerativos es clave para su adopción extensiva. Estudios como el de Cañet Prades (2022) evidencian ventajas competitivas derivadas de la diversificación y el manejo adecuado del suelo. En Colombia, este análisis enfrenta retos por la falta de información estadística y financiera histórica. El indicador se propone como medible mediante la comparación de ingresos netos entre sistemas regenerativos y tradicionales, bajo condiciones equivalentes (hectáreas, mano de obra y productos comparables).

Indicador institucional: Estabilidad de precios y contratos. Este indicador busca evaluar cómo la estabilidad de precios incide en la comercialización de cultivos. Su implementación depende de entidades gubernamentales encargadas del control de precios. En el contexto colombiano, la informalidad en las transacciones y la falta de bancarización limitan el seguimiento y la transparencia en los procesos de negociación, lo que genera brechas significativas para la gobernanza comercial.

El instrumento seleccionado para presentar este análisis es una matriz comparativa, que incluye el nombre del indicador, su propuesta teórica y la realidad rural colombiana.

Tabla 4. Matriz comparativa entre propuesta teórica y realidad rural colombiana

Indicador	Dimensión	Propuesta Teórica	Realidad Rural Colombiana
Relación C/N del Suelo	Ambiental	Refleja fertilidad y regeneración en zonas degradadas	Requiere laboratorios especializados, la cobertura es desigual dependiendo de la región, difícil acceso en zonas remotas, el costo de estos servicios puede ser

			elevado para algunos productores.
Fortalecimiento de Capacidades Locales	Social	Evalúa acceso a formación técnica y apropiación de conocimiento	Los sistemas educativos rurales pueden ser débiles, las brechas educativas son persistentes en la ruralidad colombiana, las iniciativas de formación (ECAs) son esporádicas y de corta duración.
Rentabilidad Predial	Económica	Mide sostenibilidad financiera de producción regenerativa	La agricultura regenerativa mejora suelo esto es medible pero la rentabilidad depende de cadenas de valor, los intermediarios capturan estas utilidades, falta de bancarización para conocer la realidad financiera de los participantes de la cadena de suministro los pagos se hacen en efectivo.
Estabilidad de Precios y Contratos	Institucional	Mide justicia comercial en contextos de informalidad	La Informalidad en las compras y ventas de mercancía es predominante, las relaciones se basan en poder de negociación desigual, los contratos verbales frecuentes lo que no permite estudiar casos particulares.

Nota: elaboración propia con base en *Introducción al enfoque de las Escuelas de Campo para Agricultores. (s.f.)* y *Del campo a la mesa: los depredadores de la cadena alimentaria. (2019)*

11. Diseñar una guía metodológica

El tercer objetivo específico corresponde a la fase propositiva de la investigación, orientada al diseño de una guía metodológica participativa que facilite la implementación, evaluación y validación de los indicadores de sostenibilidad propuestos. Esta etapa se concibe como un ejercicio teórico-aplicativo, que busca ofrecer lineamientos claros para futuras aplicaciones en contextos rurales colombianos.

La guía metodológica se plantea como una herramienta conceptual y operativa, que integra principios participativos y enfoques adaptativos, promoviendo la apropiación de los indicadores por parte de las comunidades rurales. Aunque esta investigación no contempla la aplicación en campo ni la recolección de datos primarios, se sugieren estrategias que podrían emplearse en estudios posteriores para validar la propuesta.

Se recomienda, para futuras implementaciones, considerar técnicas como encuestas, entrevistas semiestructuradas y matrices de evaluación, así como la triangulación metodológica para fortalecer la validez de los resultados. En esta investigación, el análisis se limita a la interpretación documental y comparativa de la literatura científica, con base en los aportes de Stevenson y Lee (2009) y Tiltonell (2023).

La guía metodológica se estructura en cinco fases principales:

1. Definición de objetivos de evaluación y alcance de los indicadores.
2. Diseño participativo de los instrumentos de recolección de datos
(propuesta para estudios futuros).

3. Aplicación piloto y ajuste de indicadores (fase recomendada para validación posterior).
4. Triangulación y análisis de resultados (en estudios futuros).
5. Validación técnica y comunitaria de la guía (propuesta para implementación práctica).

El producto final consiste en una guía metodológica conceptual que integra herramientas participativas y operativas, orientada a fortalecer la toma de decisiones sostenibles y la gestión territorial en procesos de agricultura regenerativa.

11.1 Propuesta de Guía metodológica participativa para la aplicación de indicadores de sostenibilidad

La presente guía metodológica constituye un producto derivado del proyecto *“Indicadores de sostenibilidad en procesos de agricultura regenerativa”*, cuyo propósito es ofrecer una herramienta conceptual que facilite la aplicación práctica de los indicadores definidos en esta investigación.

Su enfoque es propositivo y participativo, orientado a promover la colaboración entre los actores del sector agrícola, los investigadores y comunidades rurales, con el fin de fortalecer la toma de decisiones sostenibles basadas en evidencia.

Esta guía está dirigida a productores, técnicos, investigadores y entidades interesadas en evaluar la sostenibilidad de prácticas agrícolas regenerativas mediante un proceso inclusivo y contextualizado.

Experiencias como las Escuelas Campesinas de Agroecología (ECAs) en Colombia han demostrado que la sistematización participativa fortalece la apropiación de los indicadores y mejora la gestión territorial (Chávez-Miguel et al., 2022). Asimismo, metodologías como MESMIS fomentan la co-construcción de indicadores basados en atributos como resiliencia, equidad y autodependencia, lo que las hace especialmente útiles en contextos rurales diversos.

11.2 Objetivo general

Diseñar una guía metodológica participativa que oriente la aplicación de los indicadores de sostenibilidad definidos en el proyecto, asegurando su pertinencia y adaptabilidad al contexto rural colombiano.

11.3 Objetivos específicos

- Proporcionar una estructura metodológica clara para la aplicación de los indicadores.
- Recomendar instrumentos de recolección de datos adaptados a las condiciones locales para estudios posteriores.
- Promover la participación de los actores involucrados como principio orientador de la propuesta.
- Sugerir estrategias para la interpretación y análisis cualitativo en futuras validaciones.

11.4 Fases metodológicas

La propuesta metodológica se organiza en cinco fases orientativas, diseñadas para garantizar un proceso participativo y replicable en futuras aplicaciones:

Tabla 5. Matriz de fases metodológicas y herramientas sugeridas

Fase	Descripción	Herramientas sugeridas
Planeación participativa	Identificación de actores clave, definición del propósito y priorización de indicadores.	Reunión de apertura, mapeo de actores, árbol de problemas, lluvia de ideas.
Diseño de instrumentos	Elaboración conceptual de encuestas, entrevistas y matrices de evaluación según cada indicador.	Formularios, entrevistas semiestructuradas, fichas de campo.
Aplicación piloto (futura)	Implementación en campo para validar la propuesta metodológica.	Aplicación presencial, observación directa, registro fotográfico.
Triangulación y análisis	Cruce de información cualitativa y cuantitativa para fortalecer validez.	Matriz de triangulación, software de análisis cualitativo o Excel.
Validación y retroalimentación	Socialización de resultados con la comunidad y expertos; ajustes a la guía según la retroalimentación.	Taller participativo, informe técnico.

Nota: elaboración propia con base en Hernández-Sampieri & Mendoza (2023) y Hurtado de Barrera (2012).

11.5 Instrumentos propuestos

Aunque esta investigación no aplicó instrumentos en campo, se proponen herramientas que podrían emplearse en futuras validaciones para evaluar la pertinencia y aplicabilidad de los indicadores.

- **Encuestas estructuradas:** Diseñadas para identificar percepciones, prácticas y nivel de cumplimiento de los indicadores de sostenibilidad.
- **Entrevistas semiestructuradas:** Permiten profundizar en las experiencias individuales y colectivas sobre la implementación de prácticas regenerativas.
- **Matrices de evaluación:** Herramientas que facilitan la valoración cualitativa de cada indicador con base en criterios definidos (por ejemplo, escala de 1 a 5).

Tabla 6. Matriz de evaluación propuesta

Indicador	Nivel bajo (1-2)	Nivel medio (3)	Nivel alto (4-5)
Conservación del suelo	No se aplican prácticas de conservación	Se aplican ocasionalmente	Se aplican de manera sistemática y documentada

Nota: elaboración propia.

11.6 Estrategia de análisis

El análisis planteado para esta guía se concibe como una propuesta metodológica orientativa. Se sugiere emplear triangulación metodológica en futuras aplicaciones, combinando información cualitativa y cuantitativa con apoyo de herramientas como Excel o software especializado. Esta estrategia permitiría fortalecer la validez de los resultados al integrar diversas fuentes y perspectivas, lo cual es especialmente útil en contextos rurales complejos y heterogéneos (Stevenson & Lee, 2009).

En esta investigación, el análisis se limitó a la interpretación documental, identificando patrones conceptuales y metodológicos relevantes para la construcción de indicadores adaptados al contexto colombiano.

12. Análisis y discusión de resultados

El estudio permitió abordar diferentes perspectivas de la agricultura regenerativa. En esta sección se presentan los resultados obtenidos y su interpretación, contrastándolos con lo planteado en el marco teórico y la literatura especializada.

El primer objetivo específico consistió en identificar los principales indicadores de sostenibilidad utilizados en estudios sobre agricultura regenerativa en contextos rurales, tanto a nivel nacional como internacional.

Jayasinghe et al. (2023) señalan que, en su revisión global, la mayoría de los estudios priorizan indicadores ambientales, siendo los más frecuentes los relacionados con la salud del suelo (87 %), seguidos por indicadores de biodiversidad (64 %) y captura de carbono (58 %) (p. 15943). Este hallazgo evidencia la predominancia de la dimensión ambiental frente a las dimensiones social e institucional.

Por su parte, Schreefel et al. (2022) reportan que, en un estudio aplicado en los Países Bajos, se implementó un conjunto de 12 indicadores agrupados en tres dimensiones: ambiental, económica y social. Los resultados demostraron que la adopción de prácticas regenerativas puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta en un 50 %, sin

comprometer la viabilidad económica de las fincas. Este hallazgo es relevante, ya que muestra que la agricultura regenerativa puede contribuir significativamente a la mitigación climática sin sacrificar la sostenibilidad técnica ni el beneficio económico, siempre que se cuente con planes adaptados a cada territorio.

Silvestri et al. (2024) enfatizan que los sistemas agroalimentarios sostenibles deben evaluarse no solo por su desempeño productivo, sino también por su contribución a la seguridad alimentaria, la equidad social y la resiliencia climática (p. 12). Este enfoque complementa el análisis realizado en este estudio, al evidenciar la necesidad de incorporar indicadores sociales e institucionales para reflejar las particularidades del territorio colombiano.

El segundo objetivo específico se orientó a proponer un conjunto de indicadores de sostenibilidad adaptados a contextos rurales colombianos para la evaluación de procesos de agricultura regenerativa.

Con base en el análisis comparativo entre los indicadores identificados internacionalmente y las realidades estructurales del contexto rural colombiano, se definió una propuesta de 14 indicadores distribuidos en cuatro dimensiones. Esta propuesta presenta tres diferencias sustanciales respecto a los enfoques internacionales:

1. **Inclusión explícita de la dimensión institucional.** A diferencia de la mayoría de los estudios que privilegian indicadores ambientales y económicos, la propuesta incorpora indicadores institucionales como acceso a asistencia técnica, estabilidad de precios y contratos, y participación en organizaciones campesinas. Esta decisión responde al diagnóstico de que, en contextos rurales colombianos, las capacidades institucionales son

un factor crítico para la viabilidad de cualquier sistema productivo (Chávez-Miguel et al., 2022; Pérez-Marulanda et al., 2025).

2. **Contextualización territorial.** Varios indicadores propuestos, como uso eficiente del agua, diversidad funcional de cultivos y acceso a mercados diferenciados, incluyen referencias a condiciones específicas de regiones como el Caribe seco, el Sumapaz y zonas afectadas por conflicto armado. Este enfoque contrasta con la tendencia internacional de proponer conjuntos universales de indicadores que asumen homogeneidad territorial.
3. **Énfasis en equidad y cohesión social.** La propuesta incorpora indicadores relacionados con equidad de género, participación comunitaria y fortalecimiento de capacidades locales, reconociendo que, en contextos afectados por conflicto armado y desigualdad estructural, la sostenibilidad técnica es inseparable de la sostenibilidad social (Chávez-Miguel et al., 2022).

Finalmente, el tercer objetivo específico se centró en proponer una guía metodológica para la implementación de indicadores.

La guía diseñada incluye cinco componentes secuenciales: definición de objetivos de evaluación, selección contextualizada de indicadores, validación técnica y participativa, monitoreo periódico y retroalimentación. Además, incorpora una fase de diagnóstico de viabilidad institucional para evaluar si existen condiciones mínimas para implementar cada indicador. Esta inclusión responde al hallazgo de que varios indicadores son técnicamente válidos, pero operacionalmente inviables sin articulación institucional previa.

En consecuencia, la guía metodológica se concibe como una herramienta que opera en dos niveles: el técnico, para realizar mediciones estandarizadas, y el social-institucional, para promover inclusión y articulación territorial. Así, la implementación de indicadores deja de ser un ejercicio exclusivamente técnico para convertirse en un proceso de transformación institucional y social, adaptado al contexto colombiano (Tittonell, 2023; Silvestri et al., 2024).

13. Conclusiones

En relación con el objetivo 1, se evidenció que los indicadores más recurrentes en la literatura internacional se concentran en la dimensión ambiental, destacando la salud del suelo, la biodiversidad funcional y la eficiencia en el uso del agua (Sher et al., 2024). Estos indicadores son esenciales para medir la regeneración ecológica y la mitigación del cambio climático, lo que confirma su relevancia en contextos globales y locales. Además, se identificó la necesidad de incorporar métricas relacionadas con la reducción de agroquímicos y las emisiones de gases de efecto invernadero, como lo plantean Sher et al. (2024) y Tittonell (2023), para garantizar una evaluación integral del desempeño agroecológico.

Asimismo, se observa una tendencia hacia enfoques integrales que incorporan criterios sociales y económicos, como la equidad y la rentabilidad, en marcos metodológicos como MESMIS y FarmDESIGN (Astier et al., 2012; Tittonell, 2023). Esta perspectiva coincide con la necesidad de superar la fragmentación metodológica señalada por Jayasinghe et al. (2023), adoptando indicadores que reflejen la interacción entre dimensiones ecológicas, sociales e

institucionales. Además, Dueñas-Ocampo et al. (2025) enfatizan que la inclusión de narrativas diversas y procesos participativos en la construcción de indicadores es clave para lograr innovación híbrida en sistemas alimentarios.

Respecto al objetivo 2, la propuesta de indicadores adaptados responde a las particularidades del territorio colombiano, caracterizado por limitaciones técnicas, alta informalidad y vulnerabilidad socioeconómica (Rincón-Zapata et al., 2021). La inclusión de indicadores como la relación C/N del suelo, la participación comunitaria y la estabilidad de precios refleja un esfuerzo por articular criterios técnicos con factores sociales e institucionales, tal como sugieren estudios sobre cacao y sistemas agroforestales en Colombia (Del Río Duque et al., 2025; Hernández-Núñez et al., 2022). Estos indicadores permiten evaluar no solo la sostenibilidad técnica, sino también la resiliencia social y económica en territorios afectados por el conflicto y la desigualdad.

Por otra parte, investigaciones en la región andina evidencian que la sostenibilidad local depende de la integración de prácticas regenerativas con procesos de empoderamiento comunitario y equidad (Hernández Maqueda et al., 2021). Este aporte original fortalece la pertinencia contextual y promueve la construcción de paz ambiental mediante prácticas regenerativas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible y las políticas públicas nacionales (Chávez-Miguel et al., 2022). Además, la articulación con programas de formación agroecológica y asistencia técnica es fundamental para garantizar la apropiación de los indicadores por parte de las comunidades rurales.

En relación con el objetivo 3, la guía metodológica propuesta incorpora principios participativos y enfoques sistémicos, alineándose con recomendaciones de metodologías colaborativas en agroecología (Sánchez et al., 2024) y con experiencias exitosas en América Latina que emplean el modelo MESMIS (Astier et al., 2012). La estructura en cinco fases — planeación, diseño de instrumentos, aplicación en campo, triangulación y validación— garantiza la apropiación comunitaria y la adaptabilidad a diferentes escalas. Este diseño representa un avance significativo frente a los vacíos metodológicos identificados en la literatura y constituye una herramienta replicable para proyectos de sostenibilidad rural.

De manera complementaria, estudios sobre valoración económica y servicios ecosistémicos en Colombia (Banerjee et al., 2024) refuerzan la importancia de integrar indicadores que permitan medir impactos ambientales y sociales en la toma de decisiones. Esta guía no solo facilita la medición rigurosa de la sostenibilidad, sino que también fortalece la gobernanza territorial y la articulación con políticas públicas, consolidando un enfoque integral para la evaluación y mejora continua de la agricultura regenerativa en Colombia.

La investigación confirma que la agricultura regenerativa no solo es una alternativa viable para enfrentar la crisis agroambiental, sino también una estrategia para fortalecer la resiliencia socioecológica en territorios rurales colombianos. La integración de indicadores adaptados y una guía metodológica participativa contribuye a cerrar brechas técnicas y sociales, favoreciendo la toma de decisiones basadas en evidencia. Como perspectiva futura, se recomienda validar los indicadores en campo mediante estudios piloto y explorar su escalabilidad en políticas públicas, considerando la interacción entre narrativas locales y marcos institucionales (Dueñas-Ocampo et

al., 2025). Asimismo, se sugiere profundizar en la medición de impactos económicos y sociales para garantizar que la transición hacia sistemas regenerativos sea sostenible y equitativa.

14. Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos y del análisis documental realizado, se plantean las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer la implementación y evaluación de la sostenibilidad en procesos de agricultura regenerativa en Colombia.

14.1 Recomendaciones técnicas

- Fortalecer la medición de indicadores ambientales como la relación carbono/ nitrógeno del suelo, el uso eficiente del agua y la biodiversidad funcional. Se sugiere que los productores implementen prácticas de monitoreo básico con apoyo técnico de universidades o entidades como el ICA o el IGAC, que dispongan de laboratorios especializados.
- Promover la adopción de metodologías estandarizadas como MESMIS, FarmDESIGN y Soil Navigator, adaptadas al contexto colombiano, para evaluar de forma integral los sistemas agrícolas regenerativos.
- Fomentar la investigación aplicada en regiones con condiciones agroecológicas diversas, para generar datos comparativos que respalden la toma de decisiones sobre la sostenibilidad de los agroecosistemas.

14.2 Recomendaciones sociales

- Promover la participación equitativa de mujeres y jóvenes rurales en proyectos de agricultura regenerativa, creando oportunidades de liderazgo y aprendizaje que favorezcan la innovación comunitaria.
- Desarrollar programas de formación y acompañamiento comunitario mediante Escuelas de Campo y Escuelas Campesinas de Agroecología, fortaleciendo las capacidades locales y el intercambio de saberes tradicionales y técnicos.
- Fomentar la creación de redes colaborativas entre productores, orientadas al intercambio de conocimientos, la comercialización asociativa y el desarrollo conjunto de indicadores de sostenibilidad adaptados al contexto local.

14.3 Recomendaciones institucionales

- Diseñar políticas públicas rurales diferenciadas, que reconozcan la agricultura regenerativa como estrategia de mitigación del cambio climático y desarrollo territorial sostenible.
- Incluir la medición de indicadores de sostenibilidad en los programas del Ministerio de Agricultura, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y las Secretarías Departamentales, con el propósito de fortalecer la trazabilidad de resultados y la formulación de políticas basadas en evidencia.
- Garantizar mecanismos de financiación e incentivos económicos que respalden la implementación de prácticas regenerativas.

15. Referencias

- Albarracín-Zaidiza, J. A., Fonseca-Carreño, N. E., & López-Vargas, L. H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 39-55.
<https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>
- Astier, M., L. García-Barrios, Y. Galván-Miyoshi, C. E. González-Esquivel, and O. R. Masera. 2012. Assessing the sustainability of small farmer natural resource management systems. A critical analysis of the MESMIS program (1995-2010). *Ecology and Society* 17(3): 25.
<http://dx.doi.org/10.5751/ES-04910-170325>
- Banerjee, O., Cicowiez, M., Malek, Ž., et al. (2024). Banking on strong rural livelihoods and the sustainable use of natural capital in post-conflict Colombia. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 26517–26538.
<https://doi.org/10.1007/s10668-023-03740-w>
- Cañet Prades, F. M. (2022). Aplicación de los principios de la Agricultura Regenerativa para aumentar los niveles de nutrientes en el suelo y enfrentar una emergencia de seguridad alimentaria y nutricional local en Guanacaste, Costa Rica. *Revista REGENERATIO*, 1(2), 17-28. <https://doi.org/10.55924/ucireg.v1i2.12>
- Cevallos Suarez, M., Urdaneta Ortega, F., & Jaimes, E. (2019). Desarrollo de sistemas de producción agroecológica: Dimensiones e indicadores para su estudio. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, 25(3), 172–185. Universidad del Zulia.
<https://www.redalyc.org/journal/280/28060161012/html/>

- Chávez-Miguel, G., Bonatti, M., Acevedo-Osorio, Á., Sieber, S., & Löhr, K. (2022). Agroecology as a grassroots approach for environmental peacebuilding: Strengthening social cohesion and resilience in post-conflict settings with community-based natural resource management. *GAIA*, 31(1), 36–45. <https://doi.org/10.14512/gaia.31.1.9>
- Cruz, F., Pardo, D., Horcada, A., & Mena, Y. (2024). An Assessment of Sustainability of Dual-Purpose, Dairy and Beef Cattle Production Systems in the Cundinamarca Department (Colombia) Using the MESMIS Framework. *Sustainability*, 16(16), 7054. <https://doi.org/10.3390/su16167054>
- De León, C., Gaspar, M., & Masera, O. (2010). Ten years of sustainability evaluation using the MESMIS framework: Lessons from 28 Latin American case studies. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(4), 345–361. <https://doi.org/10.1080/13504501003729035>
- De Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Sørensen, C. A. G., Bokkers, E. A. M., & de Boer, I. J. M. (2016). Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*, 66, 391–404. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047>
- Del campo a la mesa: los depredadores de la cadena alimentaria. (2019, 3 de octubre). *Rutas del Conflicto*. <https://rutasdelconflicto.com/notas/del-campo-la-mesa-los-depredadores-la-cadena-alimentaria>
- Del Río Duque, M., Löhr, K., Pérez-Lora, Á.P., et al. (2025). Toward understanding the scaling out of sustainable land use systems in Colombia: integrating case study

insights and national pathways design for cacao farming. *Discover Agriculture*, 3, 188.

<https://doi.org/10.1007/s44279-025-00367-5>

- Dueñas-Ocampo, S., Hegwood, M., Rojas-Becerra, A.D., et al. (2025). Food systems narratives in Colombia: embracing diverse perspectives can enable hybrid innovation pathways that address food system challenges. *Agriculture and Human Values*, 42, 1457–1476. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10685-x>
- Fonseca-Carreño, N. E., & Narvárez-Benavides, C. A. (2021). Aplicación de la metodología MESMIS para la evaluación de sustentabilidad en sistemas de producción campesina en Sumapaz, Cundinamarca. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 8(2), 1–15.
https://revistas.ucundinamarca.edu.co/index.php/Ciencias_agropecuarias/article/download/318/201/0
- Hernández Hernández, J. L. (2023). Un análisis teórico de la Agricultura Regenerativa en contraste con la Agricultura Convencional. *Revista Ingeniantes*, 10(2), artículo 7. Instituto Tecnológico Superior de Misantla.
https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes10no2vol3/Revista_Analisis%20teorico%20de%20agricultores_07.pdf
- Hernández Maqueda, R., Ballesteros Redondo, I., Serrano Manzano, B., et al. (2021). Assessment of the impact of an international multidisciplinary intervention project on sustainability at the local level: case study in a community in the Ecuadorian Andes. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 8836–8856.
<https://doi.org/10.1007/s10668-020-00997-3>

- Hernández-Núñez, H.E., Gutiérrez-Montes, I., Bernal-Núñez, A.P., et al. (2022). Cacao cultivation as a livelihood strategy: contributions to the well-being of Colombian rural households. *Agriculture and Human Values*, 39, 201–216.
<https://doi.org/10.1007/s10460-021-10240-y>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw Hill Interamericana. Recuperado de <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=31455&pg=1>
- Ibarra Vrska, I. P. (2019). Regenerative agriculture and the problem of sustainability. Contributions for a discussion. *Textual*, (74), 51–85.
<https://www.redalyc.org/pdf/6883/688378269003.pdf>
- Introducción al enfoque de las Escuelas de Campo para Agricultores. (s/f). *Academia de aprendizaje electrónico de la FAO*. Recuperado el 19 de octubre de 2025, de <https://elearning.fao.org/course/view.php?id=724>
- Jayasinghe, S. L., Thomas, D. T., Anderson, J. P., Chen, C., & Macdonald, B. C. T. (2023). Application of regenerative agriculture globally: A review of definitions and evaluation approaches. *Sustainability*, 15(22), 15941.
<https://doi.org/10.3390/su152215941>
- Laboratorio de suelos, LDEPL (s/f). Macroproceso: Gestión de Laboratorios Proceso: Gestión de Laboratorios Título: Listado de Precios, Laboratorio de Suelos . Educa.co. Recuperado el 19 de octubre de 2025, de

https://ciencias.medellin.unal.edu.co/laboratorios/suelos/images/documentos/MLSFCFT10004039_LISTADO_DE_PRECIOS.pdf

- Monsalve Camacho, J. F., Bojacá Aldana, C. R., & Henao Toro, J. F. (2021). Indicadores de sostenibilidad agrícola asociados a propiedades, procesos y manejo del suelo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–15.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1919
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Pacini, C., Lazzerini, G., Migliorini, P., & Vazzana, C. (2009). An indicator-based framework to evaluate sustainability of farming systems: Review of applications in Tuscany. *Italian Journal of Agronomy*, 4(1), 23–39.
<https://doi.org/10.4081/ija.2009.1.23>
- Peña-Torres, J. A., & Reina-Rozo, J. D. (2022). Agroecology and communal innovation: LabCampesino, a pedagógica experience from the rural youth in Sumapaz, Colombia. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100162.
<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100162>
- Pérez-Marulanda, L., Jepsen, M. R., & Castro-Nunez, A. (2025). Boosting the adoption of sustainable land-use systems for achieving Colombian land-based climate action and peacebuilding goals. *World Development*, 188, 106888.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106888>
- Rincón-Zapata, C., Restrepo-Ruíz, A. L., Alzate-Cárdenas, M. D. S., Sabala-Salazar, H. E., & Arboleda-Álvarez, O. L. (2021). Desigualdades rurales en Colombia:

Aportaciones para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. *Revista*

Lasallista de Investigación, 18(2), 178–200. <https://doi.org/10.22507/rli.v18n2a13>

- Sánchez, M.A.S., Moreno-Calles, A.I., Hernández López, J., et al. (2024). Collaborative, situated, and critical methodologies in transdisciplinary agroecologies for life sustainability. *Discover Sustainability*, 5, 256. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00479-w>
- Schreefel, L., van Zanten, H. H. E., Groot, J. C. J., Timler, C. J., Zwetsloot, M. J., Pas Schrijver, A., Creamer, R. E., Schulte, R. P. O., & de Boer, I. J. M. (2022). Tailor-made solutions for regenerative agriculture in the Netherlands. *Agricultural Systems*, 203, 103518. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103518>
- Sher, A., Li, H., Ullah, A., Hamid, Y., Nasir, B., & Zhang, J. (2024). Importance of regenerative agriculture: climate, soil health, biodiversity and its socioecological impact. *Discover Sustainability*, 5(462). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00662-z>
- Silvestri, C., Silvestri, L., Piccarozzi, M., & Ruggieri, A. (2024). Toward a framework for selecting indicators of measuring sustainability and circular economy in the agri-food sector: a systematic literature review. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 29(1446–1484). <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02032-1>
- Stevenson, M., & Lee, H. (2009). Indicators of sustainability as a tool in agricultural development: Partitioning scientific and participatory processes. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 16(2), 123–135. <https://doi.org/10.1080/13504500902829318>

- Tiftonell, P. (2023). Evaluation and Indicators in the Design of Agroecosystems. In: *A Systems Approach to Agroecology*. Springer, Cham. https://doi-org.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/10.1007/978-3-031-42939-2_8
- Valizadeh, N., & Hayati, D. (2025). Formulating indicator selection and composite index validation and application system for agricultural sustainability assessment. *Results in Engineering*, 28, 106978. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106978>
- Zhang, Y. (2024). A path to sustainable development of agri-industries: Analysis of agriculture 5.0 versus industry 5.0 using stakeholder theory with moderation of environmental policy. *Sustainable Development*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/sd.2923>