TRANSICIÓN REGENERATIVA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS EN PEQUEÑOS CAFICULTORES EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA

CARMEN LUISA REYES PEÑA

VALENTINA CRIADO FERNANDEZ DE GACEO

Universidad Ean

Facultad Ingeniería

Maestría en Gerencia de la Sostenibilidad y Transformación Regenerativa

Ciudad, Colombia

24/08/2026

TRANSICIÓN REGENERATIVA EN SISTEMAS PRODUCTIVOS EN PEQUEÑOS CAFICULTORES EN EL MUNICIPIO DE ANOLAIMA, CUNDINAMARCA

CARMEN LUISA REYES PEÑA

VALENTINA CRIADO FERNANDEZ DE GACEO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magister en Gerencia de la Sostenibilidad y Transformación Regenerativa

Director (a):

Leidy Natalia Zapata Restrepo

Modalidad:

Artículo Científico

Universidad Ean

Facultad Ingeniería

Maestría en Gerencia de la Sostenibilidad y Transformación Regenerativa

Bogotá, Colombia

24/08/2026

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____
Firma del jurado

_____
Firma del jurado

_____
Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

A mi madre y hermanos, por su confianza, cariño y afecto que ha sido fundamental en mi crecimiento personal y profesional. A Gio por su comprensión, paciencia y apoyo constante durante la realización de este sueño y a Teban por ser siempre el motor de mi vida, todo mi esfuerzo es por y para ti amor.

A mi familia, por su amor, apoyo y paciencia durante este camino. Gracias por creer en mí y acompañarme en cada paso de este logro. Este triunfo también es de ustedes.

Agradecimientos

En este arduo proceso de aprendizaje, queremos expresar nuestro agradecimiento a la Universidad EAN, y a quienes hacen posible de la Maestría en Gerencia de la Sostenibilidad y Transformación Regenerativa, por brindarnos conocimientos y las herramientas necesarias para fortalecer nuestras capacidades para continuar con nuestro ejercicio profesional con responsabilidad, compromiso y disciplinada.

Agradecemos de manera especial a nuestra directora de trabajo y docente Leidy Natalia Zapata quien con su experiencia y conocimientos nos brindó orientación, acompañamiento, disposición y valiosos aportes académicos durante cada una de las etapas de esta investigación. permitiendo que este sueño sea posible.

Extiendo mi agradecimiento los productores del municipio de Anolaima, especialmente a María Angelica Cepeda, por su confianza, disposición y colaboración durante la recolección de información. Su experiencia, conocimientos y compromiso con la producción de café hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

De igual manera queremos agradecer al ingeniero Francisco Useche de Cenicafé, quien, con su conocimiento en el sector, valiosos aportes y orientaciones frente a la cultura cafetera y prácticas regenerativas las cuales contribuyeron al fortalecimiento y contextualización en el presente trabajo.

Agradecemos también al profesor Diego Riaño que con su experiencia contribuyo con sus recomendaciones, observaciones y apoyo durante el proceso de formación y elaboración de este trabajo.

Finalmente, expresamos nuestro más profundo agradecimiento a nuestra familia por su amor, comprensión y apoyo incondicional a lo largo de este camino. Su confianza, paciencia y constante motivación fueron el impulso necesario para culminar satisfactoriamente esta etapa académica y profesional.

Resumen

La caficultura convencional en Colombia, heredera del modelo de la Revolución Verde, priorizó la productividad mediante el uso de agroquímicos, generando deterioro del suelo, pérdida de biodiversidad y escaso relevo generacional, lo que compromete la sostenibilidad de los pequeños productores. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo diseñar un instrumento que permita valorar el nivel de implementación de prácticas regenerativas Anolaima y diseñar un instrumento que oriente su transición hacia modelos regenerativos. Metodológicamente, se aplicó una encuesta de 34 preguntas a caficultores de la región, complementada con información secundaria agroclimática (NASA POWER) y edafológica (IGAC), el análisis comparativo de modelos agrícolas sostenibles mediante una matriz de decisión, y la construcción de un instrumento de autoevaluación regenerativa. Los resultados evidenciaron predios pequeños (menos de 2,1 ha sembradas en su mayoría), baja diversificación de cultivos y uso limitado de bioinsumos, así como suelos predominantemente ácidos (Inceptisoles, pH 4,5–5,2) con alta toxicidad por aluminio y baja disponibilidad de fósforo, constituyendo la principal limitante para la transición regenerativa. El diagnóstico inicial constituyó una etapa previa y necesaria para identificar objetivamente las condiciones y necesidades específicas de los caficultores de la región, evitando asumirlas o aplicar recomendaciones generalizadas. A partir de sus resultados, y como una segunda fase diferenciada de la investigación, se diseñó una matriz de decisión y un instrumento, orientado a priorizar las acciones de transición según las condiciones particulares identificadas en cada dominio. La Matriz Comparativa mostró que la agricultura regenerativa obtuvo la mayor valoración frente a otros enfoques sostenibles evaluados, al integrar criterios ambientales, sociales y productivos. La discusión resalta que la adopción de prácticas regenerativas no depende únicamente de la disposición de los caficultores, sino de la existencia de herramientas que orienten decisiones viables y de bajo riesgo. Se concluye que la recuperación de la salud del suelo debe constituir el eje prioritario de cualquier estrategia regenerativa y que la propuesta permita una transición progresiva, articulada con la seguridad alimentaria, la permanencia territorial y la participación de nuevas generaciones en la caficultura, sin comprometer la estabilidad económica de las unidades productivas.

Palabras clave: sistema productivo cafetero, sostenibilidad en cultivos de café, agricultura regenerativa en cultivos de café, sostenibilidad en la agricultura, sostenibilidad ambiental, sostenibilidad social, indicadores de sostenibilidad en café, seguridad alimentaria y biodiversidad en café.

Abstract

Conventional coffee farming in Colombia, a legacy of the Green Revolution model, prioritized productivity using agrochemicals, resulting in soil degradation, biodiversity loss, and a lack of generational renewal factors that compromise the sustainability of small-scale producers. In this context, this research aimed to characterize coffee production systems in the municipality of Anolaima, Cundinamarca, and to design a roadmap guiding their transition toward regenerative models. Methodologically, a 34 question survey was administered to regional coffee growers, complemented by secondary agro-climatic (NASA POWER, 2010–2024) and edaphic (IGAC) data, a comparative analysis of sustainable agricultural models using a decision matrix, and the development of a regenerative self-assessment tool. The results revealed smallholdings (mostly under 2.1 hectares), low crop diversification, and limited use of bio-inputs, alongside predominantly acidic soils (Inceptisols, pH 4.5–5.2) characterized by high aluminum toxicity and low phosphorus availability factors that constitute the primary constraint for the regenerative transition. The initial diagnosis served as a necessary preliminary step to objectively identify the specific conditions and needs of the coffee growers, avoiding assumptions or the application of generalized recommendations. Based on these results, and as a distinct second phase of the research, the decision matrix and roadmap were designed to prioritize transition actions according to the specific conditions identified in each context. The comparative matrix showed that regenerative agriculture received the highest rating among the sustainable approaches evaluated, as it integrates environmental, social, and productive criteria. The discussion highlights that the adoption of regenerative practices depends not only on the willingness of coffee growers but also on the availability of tools that guide viable, low-risk decisions. It is concluded that restoring soil health must be the priority focus of any regenerative strategy, and that the proposed roadmap enables a progressive transition aligned with food security, territorial continuity, and the participation of new generations in coffee farming without compromising the economic stability of the production units.

Keywords: coffee production system, sustainability in coffee farming, regenerative agriculture in coffee farming, sustainability in agriculture, environmental sustainability, social sustainability, sustainability indicators for coffee, food security and biodiversity in coffee.

Introducción

El café constituye uno de los pilares de la economía rural colombiana y un eje fundamental de la seguridad alimentaria y el arraigo territorial de miles de familias campesinas. Sin embargo, el modelo productivo consolidado durante la Revolución Verde, basado en la intensificación agrícola y en la expansión de variedades como Caturra y Colombia, estuvo acompañado por un incremento en el uso de fertilizantes, fungicidas e insecticidas de síntesis química para mantener los niveles de productividad y controlar las plagas y enfermedades que afectan al cultivo. A nivel departamental, por ejemplo, las variedades Caturra y Colombia ocupan en conjunto cerca de 30.000 de las 49.000 hectáreas cafeteras de Cundinamarca (aproximadamente el 61%), en su mayoría bajo sistemas tecnificados a libre exposición solar que reemplazaron las siembras tradicionales de la variedad Típica bajo sombrío (Federación Nacional de Cafeteros, 2023); en la misma línea, revisiones recientes documentan que los brotes de roya pueden desencadenar incrementos abruptos en el uso de agroquímicos incluso en sistemas cafeteros tradicionalmente orgánicos de 0 % a 54 % entre 2012 y 2016 en agroecosistemas de Chiapas, México, evidenciando la misma dinámica de dependencia fitosanitaria que subyace a la caficultura tecnificada andina (Hersch-González & Riojas-Rodríguez, 2025).

Esta relación entre la variedad cultivada y el uso de agroquímicos responde a las características genéticas y agronómicas de cada material. La variedad Caturra presenta susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastatrix*) y a la broca (*Hypothenemus hampei*), lo que puede incrementar la necesidad de medidas de manejo fitosanitario mediante el uso de fungicidas e insecticidas para mantener su productividad. En respuesta a esta problemática, Cenicafé desarrolló la variedad Colombia mediante el cruzamiento de Caturra con el Híbrido de Timor, con el propósito de incorporar resistencia genética a la roya (Ángel, 2020). Esta característica permitió reducir la dependencia del uso de fungicidas para el manejo de esta enfermedad; sin embargo, la variedad conserva la susceptibilidad a la broca y características agronómicas que pueden requerir un manejo intensivo del cultivo, incluido el uso de fertilizantes y medidas de control de plagas.

En este sentido, las características de susceptibilidad y las exigencias agronómicas de las variedades han contribuido a consolidar prácticas de manejo basadas en el uso recurrente de insumos de síntesis química, particularmente cuando el manejo preventivo,

cultural y biológico resulta insuficiente. Este esquema se relaciona con el modelo productivo asociado a la agricultura convencional y al paquete tecnológico de la Revolución Verde. La aplicación intensiva o inadecuada de estos insumos puede generar efectos sobre los sistemas productivos, entre ellos la reducción de la biodiversidad, la alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo y una menor capacidad de los agroecosistemas para responder a condiciones de variabilidad climática (Rueda et al., 2024; Arias et al., 2022).

Frente a este panorama, la agricultura regenerativa se ha posicionado como una alternativa que va más allá de mitigar daños: busca restaurar la salud del suelo, recuperar biodiversidad y fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos frente a la variabilidad climática (Pulleman et al., 2024; Giller et al., 2021). Sin embargo, entre el discurso técnico sobre sus beneficios y la realidad de un caficultor hay una distancia considerable. Los pequeños productores que en Colombia no siempre cuentan con herramientas claras, accesibles y adaptadas a su contexto para saber en qué punto se encuentran de esa transición, ni qué prácticas priorizar dados sus recursos, su tiempo y sus condiciones particulares. La literatura ofrece marcos conceptuales robustos sobre qué es la agricultura regenerativa y por qué importa (Voisin et al., 2024; Rai et al., 2025), pero es más escasa cuando se trata de instrumentos prácticos, replicables, que permitan a un caficultor o a una agremiación diagnosticar su propio nivel de avance y trazar una metodología concreta de acción. Rahn et al. (2026) señalan la necesidad de fortalecer metodologías robustas y estandarizadas para evaluar, a escala de finca, la transición de los sistemas cafeteros hacia prácticas más sostenibles y regenerativas.

Ese vacío es particularmente evidente en contextos como el del municipio de Anolaima, Cundinamarca, donde la caficultura constituye una de las principales actividades económicas de los productores rurales con una producción anual de 423,16 ton (Concejo Municipal, 2024) y a nivel departamental, Cundinamarca reúne cerca de 46.000 fincas cafeteras y 37.000 familias caficultoras distribuidas en 66 municipios productores (Federación Nacional de Cafeteros, 2023; Alcaldía Municipal de Anolaima, 2024) En el municipio de Anolaima, esta actividad involucra a 472 caficultores, identificados como la población objeto de este estudio. Este dato fue obtenido mediante consulta directa al Líder Departamental de Extensión Rura del Comité de Cafeteros de Cundinamarca (2026), cuya información fue tomada como fuente de referencia para establecer el valor reportado. No obstante, en este contexto también convergen diversos

desafíos que inciden en la actividad cafetera, entre ellos la acidez y compactación de los suelos, la marcada estacionalidad hídrica y la baja participación de los jóvenes en las labores agrícolas, factores que en conjunto comprometen tanto la productividad como la sostenibilidad a largo plazo del sistema cafetero local (Sadeghian & Salazar,2021). En este escenario surge la pregunta que orienta la presente investigación: ¿Cómo puede un instrumento contribuir en la identificación, establecimiento y priorización de prácticas regenerativas en pequeños caficultores del municipio de Anolaima, Cundinamarca?

A partir de lo anterior, se planteó como objetivo general diseñar un instrumento que permita valorar el nivel de implementación de prácticas regenerativas en los sistemas cafeteros de Anolaima. Para su cumplimiento, se establecieron cuatro objetivos específicos: primero, caracterizar los sistemas productivos cafeteros del municipio considerando sus condiciones agroclimáticas, edafológicas y de biodiversidad, así como las prácticas implementadas por los productores; segundo, comparar los modelos de agroecología, agricultura orgánica y agricultura regenerativa, con el fin de identificar los criterios pertinentes para el contexto local; tercero, diseñar matrices de valoración para determinar el nivel de implementación de prácticas regenerativas en las dimensiones ambiental, social, económica y de transformación sistémica; y cuarto, construir un instrumento que priorice las acciones a implementar según su impacto y facilidad de adopción.

Marco teórico

La presente investigación se fundamenta en la revisión de 30 fuentes bibliográficas consultadas en diferentes bases de datos y repositorios académicos e institucionales, entre ellos Scopus, Web of Sciences así como en fuentes especializadas de Cenicafé, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). brindando elementos científicos y confiables a la presente investigación; las palabras clave fueron obtenidas de los objetivos específicos, siendo los principales criterios de búsqueda como son sistema productivo cafetero, sostenibilidad en cultivos de café, agricultura regenerativa en cultivos de café, sostenibilidad en la agricultura, sostenibilidad ambiental, sostenibilidad social, indicadores de sostenibilidad en café, seguridad alimentaria y biodiversidad en café. Los criterios de búsqueda principalmente de la base de datos SCOPUS fueron: coffee AND

sustainability, sustainable agricultura, agriculture regenerative coffee, food security AND sustentable agricultura.

Sistema productivo cafetero

El establecimiento de los modelos productivos cafeteros de acuerdo con (Ocampo Lopez & Alvarez-Herrera, 2017) se encuentra integrado por prácticas agronómicas, tecnológicas y socioeconómicas, estando vinculados directamente por el uso de la tierra, la motivación de los agricultores, tiempo de siembra, apoyo institucional y políticas públicas (Poncet et al., 2024). Ahora bien, es posible visibilizar contradicción entre la productividad y sostenibilidad dado que gran parte de la tecnificación está enmarcada en la necesidad de incrementar el rendimiento en cultivos. La Federación Nacional de Cafeteros y Cenicafé, ha realizado estudios para la mejora de los frutos mediante la modificación de variedades como Caturra y Colombia, incrementando la densidad de siembra y el uso de paquetes agroquímicos para aumentar la productividad. Este incremento del uso de agroquímicos no fue arbitrario, sino consecuencia directa de la mayor exigencia fitosanitaria y nutricional de estas variedades, la especie Caturra requiere control químico frecuente frente a su alta susceptibilidad a la roya (*Hemileia vastatrix*) y a la broca (*Hypothenemus hampei*), mientras que la Colombia desarrollada por Cenicafé en 1982 a partir del cruce de Caturra con el Híbrido de Timor con el fin de incorporar resistencia a la roya (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2024) (Rueda Rodríguez et al., 2024).

Sostenibilidad en el cultivo de café

Ante la necesidad de aumentar la productividad, los sistemas cafeteros enfrentan desafíos asociados con el cambio climático, la volatilidad de los precios y las crecientes exigencias sociales y ambientales de los mercados internacionales. En este contexto, Turbay et al. (2014) evidenció que la adaptación de los pequeños caficultores frente a estas condiciones combina prácticas agronómicas, ecológicas y socioeconómicas. Entre estas se encuentran el manejo de cultivos con sombra, la renovación y diversificación de los cafetales, la incorporación de variedades resistentes, el uso de abonos orgánicos y coberturas vegetales, así como el fortalecimiento de la organización comunitaria y el acceso a mercados diferenciados.

Estas estrategias permiten abordar la sostenibilidad del cultivo de café desde una perspectiva integral, entendida como un concepto que comprende dimensiones económicas, sociales, ambientales, tecnológicas e institucionales (Mosquera, 2024). Su implementación depende, entre otros aspectos, de la disponibilidad de recursos y de las condiciones de producción y comercialización, por lo que requiere la participación articulada de diferentes actores con funciones específicas en la implementación de medidas integrales (Durroh et al., 2025).

Biodiversidad en café

Las prácticas agrícolas influyen directamente en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos de los sistemas cafeteros. La diversificación de los cultivos y la incorporación de recursos florales favorecen la presencia de polinizadores, lo que puede relacionarse positivamente con la productividad del café (Wright, Bekessy et al., 2024). Por otra parte, el establecimiento de árboles de sombra, especialmente leguminosos, puede favorecer la salud biológica del suelo, la actividad de la microfauna edáfica y la fijación de nitrógeno. Asimismo, la conservación de bosques cercanos contribuye al incremento de la diversidad de especies asociadas al cultivo (Centeno-Alvarado et al., 2024). Estas prácticas son propias de sistemas cafeteros diversificados y agroforestales, en los cuales una mayor complejidad estructural de la vegetación puede favorecer la actividad biológica del suelo y el almacenamiento de carbono, contribuyendo a la productividad y resiliencia del cultivo (Wright, Gordon et al., 2024b; Delgado-Vargas & Benavides Franco, 2024).

Agricultura regenerativa en café

Dentro de las prácticas de agricultura regenerativa se busca restaurar y conservar los recursos naturales de los predios y sus paisajes circundantes, mediante acciones orientadas a mejorar la salud del suelo, proteger la biodiversidad y contribuir a la adaptación y mitigación frente al cambio climático (Pulleman et al., 2023). Entre estas prácticas se encuentra el uso de productos orgánicos, cuya aplicación puede contribuir a mejorar las condiciones químicas del suelo y la disponibilidad de nutrientes, dependiendo de sus características iniciales. Por ello, su manejo debe orientarse a mantener un pH adecuado para el desarrollo del cultivo, en lugar de buscar únicamente su incremento (Schreefel et al., 2020). Asimismo, la incorporación de árboles de sombra favorece la

biodiversidad, la actividad de los organismos edáficos, la estructura del suelo y la regulación del microclima, contribuyendo a la fertilidad y resiliencia de los sistemas cafeteros (Guevara et al., 2025).

Agroecología en café

La agroecología aplica principios ecológicos y sociales al diseño y manejo de los agroecosistemas, promoviendo el reciclaje de nutrientes, la reducción de insumos externos, la salud del suelo, la biodiversidad, la diversificación y la co-creación de conocimientos como bases para sistemas más sostenibles y resilientes (Wezel et al., 2020). En los sistemas cafeteros, su aplicación se relaciona con una mayor diversidad vegetal y con mejoras en la calidad biológica del suelo, manteniendo niveles de productividad comparables con sistemas convencionales bajo determinadas condiciones (Teixeira et al., 2021). Por ello, la agroecología constituye un referente pertinente para comparar enfoques de producción sostenible y agricultura regenerativa, aunque sus principios abarcan dimensiones ecológicas, sociales y de gobernanza más amplias que la recuperación específica de indicadores edáficos.

Agricultura orgánica en café

La agricultura orgánica se centra en la sustitución de insumos de síntesis química por fertilizantes y controladores biológicos de origen natural, certificable bajo estándares internacionales, con beneficios documentados en la reducción de la contaminación del suelo y el agua, y en la calidad del producto final. Revisiones sistemáticas recientes en sistemas cafeteros muestran que el manejo orgánico genera beneficios ambientales consistentes, aunque sus efectos económicos y sociales son más heterogéneos y dependen en gran medida del acceso a mercados diferenciados y de los costos de certificación para el pequeño productor (Jones et al., 2025). En el presente estudio, la agricultura orgánica y la agroecología se consideraron como referentes de comparación frente a la agricultura regenerativa (objetivo específico 2), en la medida en que comparten con esta última el rechazo al uso intensivo de agroquímicos, pero difieren en el énfasis explícito que la agricultura regenerativa otorga a la restauración medible de funciones del suelo.

Sostenibilidad en la agricultura (productiva)

Estas actividades pueden evaluarse desde diferentes enfoques articulados a las dimensiones ambiental, social y económica, evaluándose desde el manejo orgánico que ha sido objeto de revisión sistemática, documentando sus beneficios y compensaciones para los productores. (Jones et al., 2025). Sin embargo, la implementación de tecnologías de producción agrícola verde requiere una inversión de capital sustancial; mostrando que los beneficios ecológicos, y económicos se manifiestan gradualmente en periodos más prolongados ((Çelik et al., 2026); así mismo, las tendencias mundiales recientes revelan que la producción agrícola se ha vuelto cada vez más dependiente de la capacidad institucional, disponibilidad de energía, y la innovación tecnológica (Çelik et al., 2026).

Sostenibilidad ambiental

Los desafíos evidenciados en el sector agrícola, como el cambio climático, la degradación de la tierra y la contaminación, resaltan la importancia de implementar prácticas orientadas al manejo responsable del suelo, el agua, la biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero (Ghatode & Nimbarte, 2026; Sarmento et al., 2025). Entre estas acciones se encuentra el manejo y aprovechamiento de los residuos agrícolas, mediante su reincorporación al ciclo productivo, lo que puede generar beneficios ambientales y productivos (Enríquez-Estrella et al., 2026).

Sostenibilidad social

Un factor para tener en cuenta para la implementación de cualquier acción es la articulación de actores, esto enmarcados en la gobernanza, la participación de productores y la distribución equitativa de beneficios, (Wright et al., 2024). Las iniciativas lideradas por los productores evidencian mejores resultados, favoreciendo la participación local y permitiendo que los caficultores evidencien de manera integral beneficios y mitiguen riesgos de las prácticas adoptadas, enfocándose en su economía, cultura y territorio. La inclusión de un actor importante en este contexto es la mujer, evidenciando actualmente limitaciones en el acceso a recursos productivos y a la carga del trabajo doméstico, (van Kollenburg & van Weert, 2024). Establecer políticas claras demostrando la inclusión femenina puede fortalecer su participación y empoderamiento

en la cadena de valor, disminuyendo desigualdades sociales en el sector cafetero, que también reflejan brechas de género. (Velasco Palacios et al. 2023).

Seguridad alimentaria

La adopción de buenas prácticas agrícolas permite la mitigación y adaptación del cambio climático (riego, diversificación de cultivos, cobertura forestal, uso de fertilizantes orgánicos) mejoran la disponibilidad de alimentos (Samka et al., 2026). Las crisis climáticas, conflictos armados, y sus interacciones socavan la seguridad alimentaria de los hogares, principalmente en la reducción de consumo, menor diversidad dietética y una mayor dependencia de estrategias de supervivencia (Awoke & Brück, 2026). Actualmente se puede evidenciar que el desperdicio de alimentos socava significativamente la seguridad alimentaria, convirtiéndose en una importante preocupación mundial y afectando la transición hacia una economía circular Fróna et al., (2026).

Indicadores de sostenibilidad en café

Una vez adoptadas las buenas prácticas es importante realizar mediciones y seguimiento mediante la identificación de indicadores. La literatura frente a la agricultura regenerativa destaca la salud del suelo, biodiversidad funcional, eficiencia en el uso de agua. En cuanto a las dimensiones sociales y económicos (Capataz Jaraba et al., 2025), la caracterización de los sistemas productivos de café confirma la necesidad de abordar la sostenibilidad desde una perspectiva multidimensional (Artunduaga & Morales, 2026).la identificación de indicadores clave permite establecer el nivel de avance y la necesidad de adopción de nuevas prácticas (Crespo et al., 2026).

Fundamentos metodológicos de las matrices y escalas de valoración

El diseño de las matrices de caracterización y de la escala de valoración (0 a 3) empleadas en este estudio se fundamenta en el enfoque de Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés), que permite estructurar criterios complejos y no directamente comparables en este caso, de naturaleza ambiental, social, económica y de transformación sistémica en una escala común de valoración ponderada (Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia, 2021). Cada condición evaluada se tradujo en una pregunta integradora calificable, siguiendo criterios objetivos y verificables de implementación

(evidencia documental, continuidad en el tiempo y estandarización de la práctica), en línea con la propuesta metodológica de indicadores de sostenibilidad en agricultura regenerativa de Capataz Jaraba et al. (2025). Este fundamento metodológico justifica tanto la estructura de las matrices de decisión como la escala de cuatro niveles (incipiente, intermedio, alto y regenerativo) utilizada para clasificar el estado de cada dominio evaluado.

Metodología

Diseño Metodológico

El diseño metodológico, es establecido de acuerdo con los objetivos propuestos para la presente investigación, de acuerdo con lo anterior se establecen actividades puntuales que permitirán establecer los resultados esperados en cada actividad. En la tabla 1 se resumen las actividades e instrumentos aplicados para alcanzar cada objetivo específico.

Tabla 1.

Síntesis de la propuesta metodológica

Objetivo especifico	Actividades	Instrumentos	Resultados esperados
Caracterizar la situación del sistema productivo cafetero de Anolaima, Cundinamarca	Analizar mediante encuesta a caficultores del municipio Anolaima, Cundinamarca.	Formulario de encuesta mediante alfa de Cronbach	Identificación de prácticas de los agricultores en sus cultivos cafeteros.
	Caracterización del territorio mediante información secundaria.	Matriz de evaluación	Análisis de información secundaria para caracterizar el territorio evaluado
Evaluar estrategias metodol ógicas relacionados con agricultura regenerativa y sostenibilidad en el cultivo de café con el fin de identificar contexto productivo local.	Revisión del estado del arte (definiendo ejes temáticos, protocolo de búsqueda y selección, definición de un marco)	Búsqueda y análisis de marcos de referencia (ej. Rainforest Alliance, Agricultura Regenerativa Orgánica)	Matriz comparativa de metodologías de agricultura regenerativa.
	Evaluación y selección de criterios locales	Filtrado y priorización de las prácticas identificadas en la actividad del estado del arte (clima, topografía).	Listado de prácticas y criterios de sostenibilidad aplicables al municipio

Definir un instrumento de medición sostenibilidad ambiental, social y económica y transformación sistémica, orientada a la evaluación de prácticas de agricultura regenerativa en sistemas cafeteros.	Identificación de variables de medición de implementación de prácticas de agricultura regenerativa.	Selección de variables clave en tres dimensiones: Ambiental, social, económica, transformación sistémica	Propuesta de instrumento de medición de prácticas de agricultura regenerativa
	Matriz de caracterización de componentes ambiental, social, económico, y transformación sistémica	Definición del instrumento de medición.	Matriz de caracterización de cada dimensión establecida
Estructurar un instrumento de evaluación de prácticas de agricultura regenerativa para el cultivo de café.	Definición del instrumento mediante una evaluación técnica para las condiciones actuales de la unidad productiva.	Redacción del instrumento para identificar, establecer y priorizar prácticas regenerativas	Matriz de decisión para la implementación de prácticas regenerativas
	Identificación de prácticas regenerativas para mejora de los cultivos.	Mediante la construcción de un instrumento, se plantean las alternativas de implementación	Instrumento de acciones de implementación
	Validación y ajustes finales	Revisión de la metodología con el director del proyecto retroalimentación y realizar ajustes.	Documento final de metodología ajustado.

Nota. La tabla presenta una síntesis de las actividades que se plantearon para la elaboración del instrumento, en la búsqueda de alineación entre objetivos y resultados

Elaboración propia. 2026

El presente documento es una investigación aplicada de características propositivas permitiendo la identificación de un problema análisis de información, culminando con un instrumento que identifique, establezca y priorice la adopción de prácticas regenerativas, pretende ser una herramienta de fácil consulta que facilite el uso por caficultores, agremiaciones, autoridades, entre otros, permitiendo establecer el estado de implementación, criterios de decisión para la adopción, y una hoja de ruta para implementación de prácticas. Esta investigación contó con un componente descriptivo y herramientas de verificación, su temporalidad será transversal dado que sus datos recopilados fueron tomados en un momento especifico los cuales sirvieron para establecer condiciones actuales de los caficultores, identificando aspectos relevantes

para la toma de decisiones enmarcadas en el propósito de la mejora de cultivos y calidad de vida por parte de los agricultores y sus familias (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Para la presente investigación se seleccionó el municipio de Anolaima, Cundinamarca, debido a la importancia que tiene la caficultura en su desarrollo económico y social, siendo una de las principales actividades productivas de pequeños productores rurales (Federación Nacional de Cafeteros, 2023; Alcaldía Municipal de Anolaima, 2024). Anolaima se localiza en la provincia del Tequendama, a 1.657 msnm en su cabecera municipal, con una extensión territorial de 122 km² y una temperatura media de 19 °C (con oscilaciones entre 14 °C y 26 °C a lo largo del año); cuenta con condiciones de piso térmico templado, sumadas a un régimen de lluvias bimodal, hacen de Anolaima un territorio idóneo para la caficultura y explican por qué el cultivo se ha consolidado históricamente como una de las principales fuentes de ingreso de sus productores rurales (Córdoba-Vargas et al., 2020). Además, el territorio presenta condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de café, así como desafíos asociados a salud del suelo, diversificación económica, biodiversidad, en torno a la variabilidad climática y la sostenibilidad de los sistemas productivos. Estas características convierten a Anolaima en un escenario idóneo para evaluar prácticas de agricultura regenerativa y desarrollar un instrumento que contribuya a fortalecer la resiliencia, la productividad y la sostenibilidad de la caficultura local.

Para la caracterización de los sistemas productivos cafeteros se realizó una encuesta a los caficultores del municipio de Anolaima, mediante una encuesta con enfoque mixto que integra variables cuantitativas y cualitativas de forma simultánea (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2018). Mediante la recolección de encuestas cuyas preguntas son tipo Likert en donde posteriormente se realizó la validación y respaldo de las preguntas realizadas mediante análisis de Alfa de Cronbach y Montecarlo que permitiendo establecer las prácticas de los agricultores de la región. La recolección de información secundaria permitió realizar la caracterización del territorio en factores agroclimáticos, suelos y biodiversidad, se complementa con un análisis deductivo y transversal, permitiendo capturar la situación diagnóstica actual en un único periodo de referencia temporal.

Posteriormente se evaluaron diferentes tipos de agricultura (orgánica, agroecología, regenerativa, agrotecnología) estableciendo dominios y condiciones estableciendo

estrategias clave para identificar las principales prácticas en los componentes ambiental, social, económico y transformación sistémica, estableciendo una valoración entre 0 y 3 mediante un proceso analítico Jerárquico evaluando el nivel de relevancia de cada uno de estos frente a su implementación. Donde se determinó una ponderación para establecer si es incipiente, intermedio, alto o regenerativo.

Una vez se evalúan cada una de las dimensiones, los resultados valorados mediante escala de ponderación entre (0 y 100%), los que cuenten con una valoración de menos del 60% se recomienda tomar medidas de acuerdo con en la hoja de ruta. Para poder priorizar su implementación, se diseñó una tabla cuyos criterios de decisión están clasificados mediante la valoración de aspectos como implementación (de acuerdo con los resultados en la matriz de avance), impacto (mide el nivel de relevancia para el caficultor, de acuerdo con su enfoque) y facilidad (determina la sencillez de implementación, verificando capacidades y sus intereses), posterior a la valoración, se obtienen unos rangos entre 0 y 7 los que serán tomados con una prioridad alta y se recomienda ser implementados inicialmente.

Finalmente se diseñó un instrumento llamado hoja de ruta de criterios de implementación por cada una de las condiciones evaluadas, permitiendo al caficultor contar con una herramienta de análisis e implementación de prácticas, que podrá ser usada tanto para medir el nivel de implementación inicial como de seguimiento, siendo esta una manera sencilla de toma de decisiones.

Población y muestra

La población de caficultores del municipio de Anolaima está conformada por 472 Este dato fue obtenido mediante consulta directa al Líder Departamental de Extensión Rural del Comité de Cafeteros de Cundinamarca (2026), cuya información fue tomada como fuente de referencia para establecer el valor reportado. Para la presente investigación se aplicó el instrumento a 11 caficultores seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. La información obtenida permitió caracterizar las prácticas productivas y aproximarse a las percepciones de los productores frente a la sostenibilidad y la adopción de prácticas regenerativas

Instrumentos

Instrumento Primario (Encuesta Estructurada Mixta): consistió en un cuestionario de 34 preguntas diseñado para establecer el diagnóstico inicial del agrosistema. El instrumento está organizado en cinco dimensiones estratégicas: i) Características sociodemográficas y de educación del productor; ii) Estructura espacial y manejo general del sistema productivo cafetero; iii) Prácticas de manejo de coberturas, erosión y nutrición del suelo; iv) Gestión de la biodiversidad arbórea y del recurso hídrico; y v) Percepciones, conocimientos y barreras sociotécnicas frente a la transición. Las preguntas incluyen selección múltiple con única respuesta, preguntas abiertas para capturar motivaciones, y escalas de actitud tipo Likert de cinco niveles, evidenciando las principales prácticas de los agricultores encuestados, la validación del instrumento se realizó mediante análisis de Alfa de Cronbach y Montecarlo.

Instrumentos Secundarios (Matrices de Extracción de Datos): la presente investigación se fundamentó en búsqueda de información secundaria de carácter analítico donde se hizo una extracción de datos para compilar y estandarizar la información espacial e institucional de bases de datos oficiales. Estas matrices organizaron variables agroclimáticas multitemporales de NASA POWER (radiación solar diaria, humedad y velocidad del viento) y registros históricos de precipitación y temperatura del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Asimismo, se recopilaron datos edafológicos sobre propiedades químicas y físicas históricas (Carbono Orgánico, Materia Orgánica y CIC) de la plataforma AGROSAVIA, cruzados con los mapas del Sistema de Información Cafetera (SICA) de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y la información biológica del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB) sobre especies dominantes de flora en Anolaima.

Para la dimensión edafológica, los datos de pH, materia orgánica, carbono orgánico total, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y fósforo disponible, provenientes del Estudio General de Suelos del departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000), se contrastaron mediante un análisis de brechas frente a los rangos óptimos establecidos por CENICAFÉ para el cultivo de café arábigo en condiciones andinas. Este análisis de brechas permitió cuantificar el grado de desviación de cada variable edáfica respecto al óptimo productivo, identificando las limitantes edáficas prioritarias que deben ser abordadas en las fases iniciales en la herramienta transformación regenerativa. Los datos taxonómicos del SIB Colombia fueron procesados para construir curvas de ocurrencia acumulada por especie y calcular índices de diversidad alfa riqueza de

especies y el índice de Shannon-Wiener (H') que permiten caracterizar la biodiversidad funcional de los sistemas cafeteros del municipio (Magurran, 2004).

Técnicas para el análisis de la información

Análisis estadístico de datos cuantitativos primarios

Los datos cuantitativos provenientes de las secciones cerradas de la encuesta, que incluyeron preguntas de selección múltiple, variables numéricas continuas y escalas tipo Likert de cinco niveles, fueron analizados mediante estadística descriptiva. Para evaluar la consistencia interna del instrumento se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach, calculado a partir de la correlación promedio entre los ítems y la varianza total del instrumento. Adicionalmente, se realizó un análisis de confiabilidad mediante simulaciones de Montecarlo, con el propósito de evaluar la estabilidad de las medidas bajo diferentes escenarios de muestreo**.**

Sistematización y análisis de datos secundarios biofísicos y climáticos

La información secundaria de carácter edáfico, climático y de biodiversidad fue sistematizada mediante matrices estructuradas de extracción de datos que se organizaron por fuente, variable y unidad de medida. Para la caracterización climática del municipio de Anolaima se integraron dos fuentes complementarias: de una parte, la climatología mensual y anual de NASA POWER (POWER Point Climatology) correspondiente al periodo enero de 2010 – diciembre de 2024, utilizada para describir el comportamiento mensual de temperatura, precipitación, humedad del suelo y cobertura de nubes (Figura 6); y de otra, las series históricas de precipitación del IDEAM (2000–2023) para el municipio, empleadas específicamente para caracterizar el régimen bimodal de lluvias de largo plazo y su relación con los procesos de compactación y erosión descritos en los resultados. Con base en esta información se calcularon índices de balance hídrico y evapotranspiración potencial para identificar los períodos críticos de déficit hídrico que afectan la floración y el llenado del grano en el cafeto (Lince et al., 2024; Gaitán, 2022).

Para la dimensión edafológica, los datos de pH, materia orgánica, carbono orgánico total, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y fósforo disponible, provenientes del Estudio General de Suelos del departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000) que cubre

el municipio de Anolaima, se contrastaron mediante un análisis de brechas frente a los rangos óptimos establecidos por CENICAFÉ para el cultivo de café arábigo en condiciones andinas. Este análisis de brechas permitió cuantificar el grado de desviación de cada variable edáfica respecto al óptimo productivo, identificando las limitantes edáficas prioritarias que deben ser abordadas en las fases iniciales del protocolo de transformación regenerativa. Los datos taxonómicos del Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB) Colombia fueron procesados para construir curvas de ocurrencia acumulada por especie y calcular índices de diversidad alfa riqueza de especies y el índice de Shannon-Wiener (H') que permiten caracterizar la biodiversidad funcional de los sistemas cafeteros del municipio (Magurran, 2004).

Resultados

Objetivo específico 1.

Introducción: para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se desarrollaron dos actividades principales: i) el análisis de la información obtenida mediante la aplicación de una encuesta a caficultores del municipio de Anolaima, Cundinamarca; ii) la recopilación y el análisis de información secundaria sobre las condiciones edáficas y agroclimáticas del área de estudio; A continuación, se presentan los principales hallazgos derivados de cada una de estas actividades.

Encuesta: Se realizó un análisis de la encuesta realizada, la cual integra 34 preguntas estas pretenden entender y diagnosticar las prácticas que realizan los caficultores de la región, esta permitió conocer los sistemas productivos determinantes en la construcción de generalidades tanto de los productores como sus predios; sin embargo, este diagnóstico no hará parte del instrumento con el fin de evitar generar un sesgo asumiendo situaciones que se alejen de la realidad del agricultor o asociación que quiera implementar el instrumento. También se evaluaron las prácticas agronómicas y ambientales los cuales permitieron identificar los sistemas productivos de los agricultores. Adicionalmente se establecieron preguntas puntuales frente a las posibles prácticas regenerativas para identificar el enfoque inicial y conocimiento de los caficultores frente a estas acciones. Otro lineamiento de las preguntas fue la percepción y disposición de

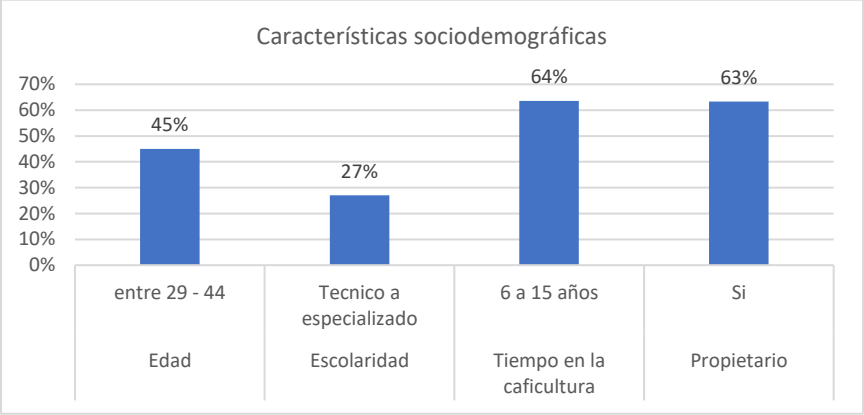
cambio el cual permitió identificar su posición frente a las acciones determinantes de la agricultura regenerativa.

A continuación, en la figura 1 se presenta la información predominante en la encuesta en el aspecto sociodemográfico de los caficultores encuestados, la tabla no es de índole comparativa, sino que pretende mostrar la información relevante de este ítem.

Vale la pena mencionar que en la escolaridad se obtuvo un número igual para técnico, profesional y especializado con un total de 3 en cada una de las variables.

Figura 1.

Características predominantes de los caficultores encuestados



Nota: los datos corresponden a los porcentajes del total de los encuestados

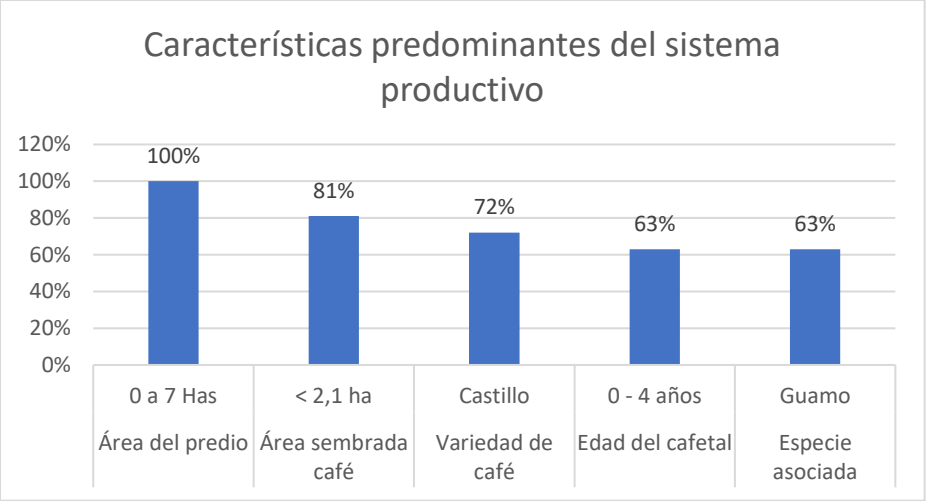
Fuente. Elaboración propia

.

A continuación, en la figura 2, presenta las características predominantes de los terrenos, permitiendo establecer las condiciones generales de los predios de Anolaima.

Figura 2.

Características predominantes del sistema productivo



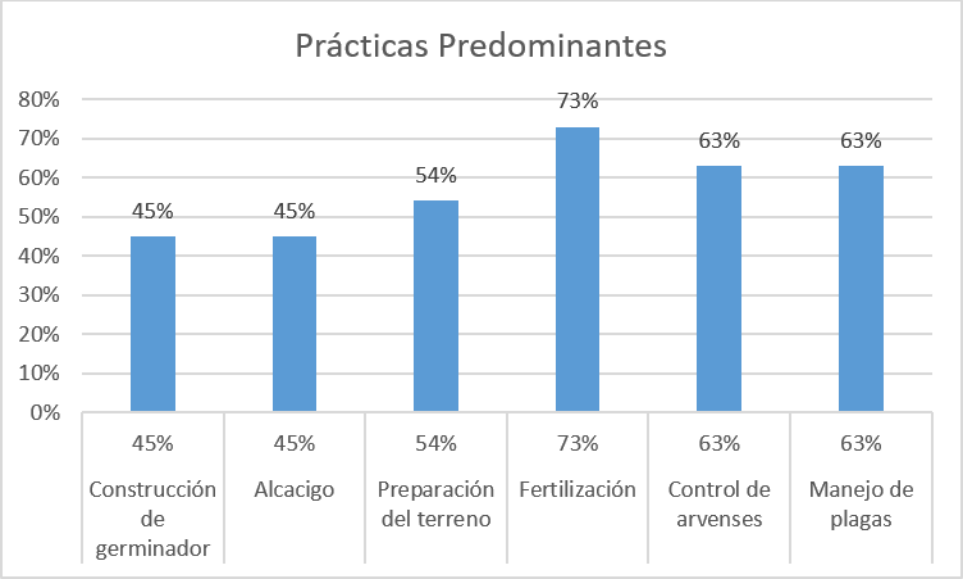
Nota. El total del área de los predios encuestados corresponden a unos predios de pequeños productores, no se identificó dentro de la muestra un gran productor

Elaboración propia.

En la figura 3, se presentan los resultados de las prácticas agrícolas predominantes. En cuanto a las preguntas que se realizaron frente las medidas de preparación del terreno previo a la siembra.

Figura 3.

Características Predominantes de Prácticas Agrícolas



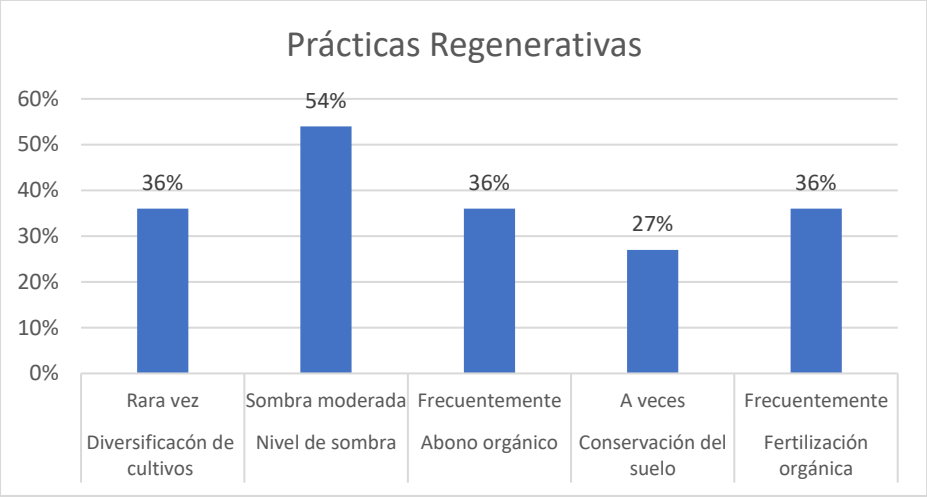
Nota. El mayor porcentaje es la fertilización, siendo esta la práctica que más realizan los pequeños caficultores

Elaboración Propia

Dentro de la encuesta se incluyeron preguntas enmarcadas en prácticas regenerativas, las cuales permitieron establecer acciones implementadas por los productores que contribuyen a los principios asociados a la conservación de la biodiversidad, enfocándose en el manejo y reincorporación de residuos orgánicos, diversificación de productos, gestión hídrica, reducción de dependencia de insumos químicos, entre otros. Una de las preguntas realizadas a los agricultores se enfocó en la definición de la participación de nuevas generaciones en la agricultura, la cual presentó una posición neutral respondiendo “Ni de acuerdo ni en desacuerdo”, interpretándose como un factor de incertidumbre por parte de los agricultores y la situación de las familias frente al relevo generacional. Los resultados se presentan en las figuras 4 y 5.

Figura 4

Características Predominantes de Prácticas Regenerativas

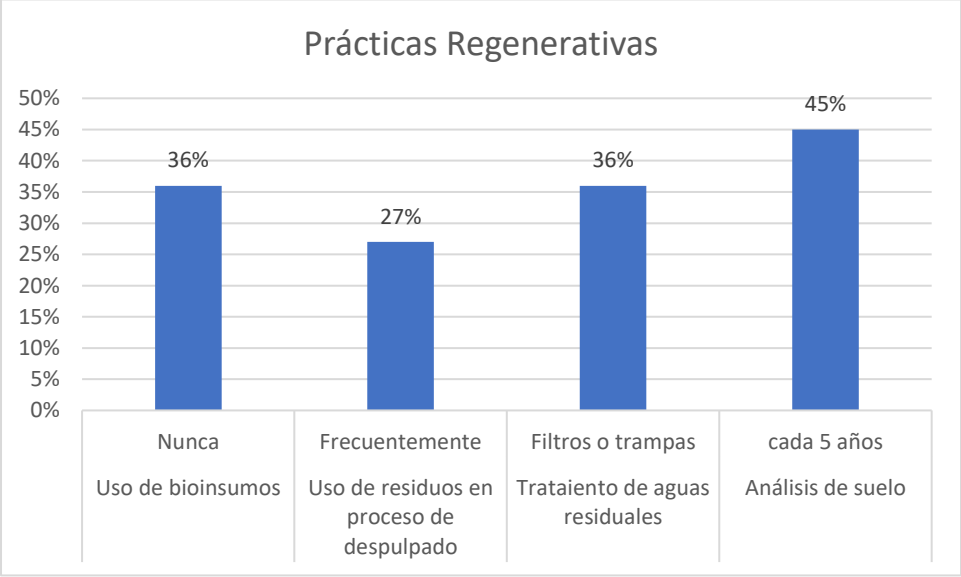


Nota. Esta información fue punto de partida para el análisis comparativo de los diferentes tipos de agricultura

Elaboración Propia

Figura 5

Características Predominantes de Prácticas Regenerativas



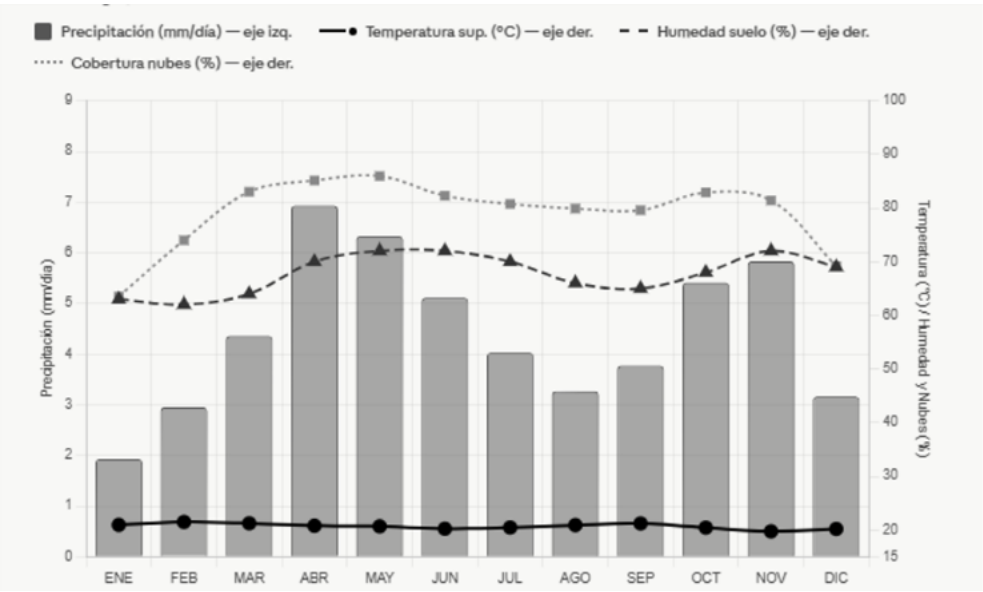
Nota. Esta información fue punto de partida para el análisis comparativo de los diferentes tipos de agricultura

Elaboración Propia

Variables agroclimáticas: se utilizó información secundaria proveniente de la base de datos NASA POWER, de la cual se obtuvieron datos climatológicos mensuales y anuales correspondientes al periodo comprendido entre enero de 2010 y diciembre de 2024 para el área de estudio. A partir de este análisis se identificó el comportamiento de las principales variables agroclimáticas del municipio de Anolaima lo anterior se evidencia en la Figura 6.

Figura 6.

Comportamiento de variables Agroclimáticas mensual



Nota. Adaptado de POWER Point Climatology — Monthly & Annual Climatologies (January 2010 – December 2024). NASA POWER (2025). Prediction Of Worldwide Energy Resources. *NASA POWER Data Access Viewer (DAV)*. (2026). Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer.

De acuerdo con la Figura 6, se observa una marcada estacionalidad climática, caracterizada por un régimen bimodal de precipitación, con dos periodos de mayor precipitación. El primero se presenta entre abril y junio, con un valor máximo en abril (6,93 mm/día), mientras que el segundo ocurre entre octubre y noviembre, alcanzando el mayor valor en noviembre (5,83 mm/día). La humedad del suelo presenta un comportamiento asociado a esta dinámica, con mayores valores entre mayo y junio y nuevamente en noviembre (≈72%).

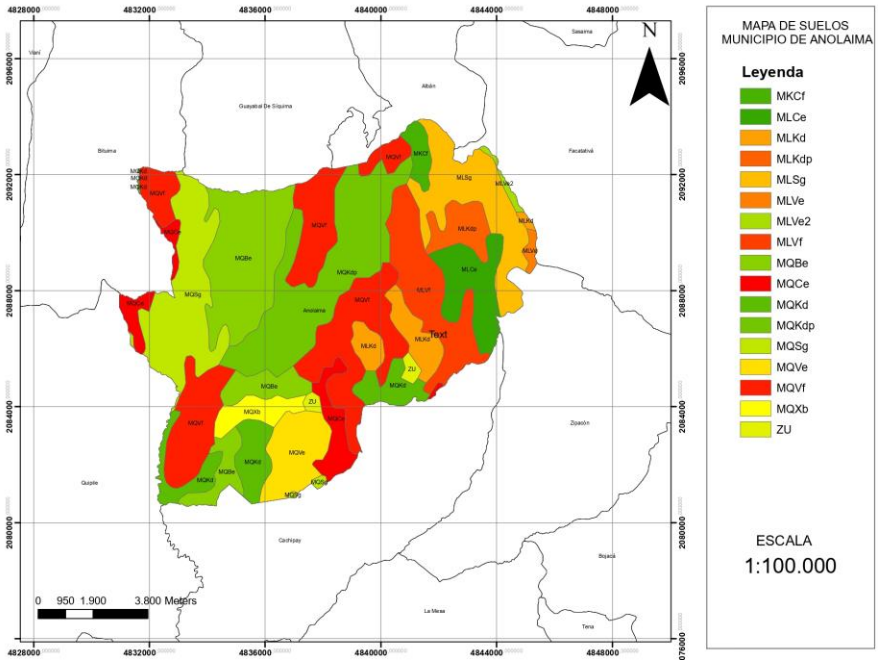
La temperatura presentó variaciones durante el año, con valores máximos en febrero (21,47 °C) y mínimos en noviembre (19,72 °C). Entre julio y septiembre se observa una disminución de la precipitación, acompañada de menores valores de humedad del suelo (65–66%). Asimismo, entre diciembre y febrero se presenta el periodo de menor precipitación, con el valor mínimo en enero (1,93 mm/día) y una humedad del suelo de 62% en febrero. Estas condiciones permiten identificar los periodos de mayor y menor disponibilidad hídrica para el sistema productivo cafetero.

Taxonomía y propiedades de los suelos cafeteros

Se identificó la caracterización edafológica del área cafetera de Anolaima, a partir de información secundaria del IGAC (2000). La Tabla 2 presenta las unidades taxonómicas de suelo identificadas y sus propiedades más relevantes para la aptitud cafetera del municipio.

Figura 7.

Mapa de suelos del municipio de Anolaima, Cundinamarca, a escala 1:100.000



Nota. Se observan los diferentes tipos de suelos de Anolaima brindando orientación para establecer las características de los suelos aptos para el cultivo de café

Fuente Colombia en mapas: Colombia en mapas.

La distribución espacial de los suelos en el municipio de Anolaima evidencia una marcada heterogeneidad edafológica, asociada a las variaciones del relieve y de las condiciones de formación del suelo. La Figura 7 presenta las principales unidades cartográficas identificadas en el municipio a escala 1:100.000, permitiendo reconocer su distribución y extensión relativa. A partir de esta información cartográfica y de la clasificación taxonómica de los suelos, se sintetizan en la Tabla 2 las principales unidades identificadas en Anolaima, junto con sus características y propiedades químicas más relevantes para la actividad cafetera.

Tabla 2

Comparativo unidades Taxonómicas del suelo

Unidad taxonómica (Soil Taxonomy USDA)	Participación estimada / % (Características clave) [1]	Propiedades químicas y limitantes
Typic Dystrudepts (Inceptiso*l)*	45,0 (~45%)	pH: 4,5 – 5,2 (Alta acidez, baja disponibilidad de P, baja CIC y susceptibilidad a erosión en pendientes >35%)
Humic Dystrudepts *(Inceptisol)*	25,0 (~25%)	pH: 4,8 – 5,5 (Mayor contenido de materia orgánica superficial, horizonte E frágil y riesgo de compactación)
Lithic Ustorthent *(Entisol)*	15,0 (~15%)	pH: 4,5 – 5,0 (Suelos jóvenes sobre roca, profundidad efectiva <30 cm y aptitud forestal protectora)
Typic Hapludands *(Andisol)*	5,0 (~5%)	pH: 5,0 – 5,8 (Suelos volcánicos, alta porosidad, pero frágil y alta fijación de P >80%)

Nota. Elaboración propia con base en el I*GAC (2000); Lince-Salazar & Sadeghian (2021); FNC & IGAC (2017). Participación estimada con base en cobertura cartográfica 1:100.000. https://pdfcoffee.com/estudio-general-de-suelos-departamento-de-cundinamarca-2001-capitulo-3-2-pdf . https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/bot/issue/view/981.

Los suelos del área cafetera de Anolaima corresponden predominantemente a I*nceptisoles (*subórdenes *Dystrudepts y Dystudepts*, 80% del territorio), formados sobre materiales parentales volcánicos en laderas con pendientes de 25–75% (Lince-Salazar & Sadeghian, 2021). La acidez característica de estos suelos (pH 4,5–5,2 en sistemas convencionales) genera un efecto cascada sobre sus propiedades agronómicas: moviliza aluminio intercambiable (0,8–2,5 cmol(+)/kg), superando el umbral de fitotoxicidad para *Coffea arabica* (0,5 cmol(+)/kg); precipita el fósforo disponible como fosfatos de aluminio y hierro no asimilables; y reduce la diversidad y biomasa microbiana funcional, en particular de bacterias diazotróficas y hongos micorrízicos arbusculares (Pulleman et al., 2024; Arias et al., 2022).

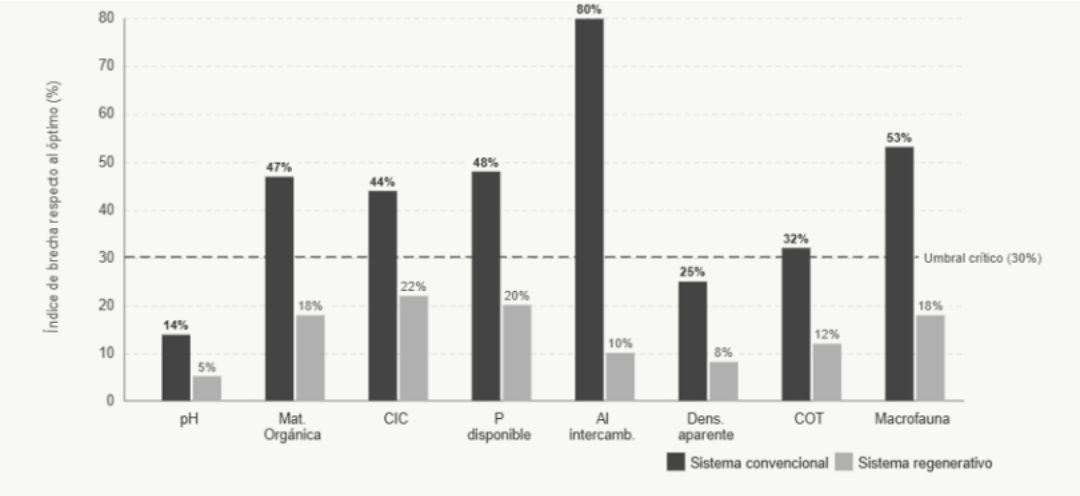
Índice de brechas edáficas respecto al óptimo productivo

El índice de brecha edáfica evaluó la distancia porcentual de cada indicador respecto a su referente óptimo de productividad en los predios cafeteros de Anolaima (Figura 7). Este indicador cuantifica el grado de limitación edáfica mediante la normalización de la diferencia relativa entre el valor medio observado en finca y el umbral agronómico de referencia para la zona cafetera.

Para las propiedades donde un mayor valor refleja una mejor condición del suelo (materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo disponible, carbono orgánico total y macrofauna), la brecha se estimó como el déficit porcentual de la media observada respecto al óptimo recomendado. Por su parte, en las variables donde valores elevados representan un factor limitante o de degradación (aluminio intercambiable y densidad aparente), el índice calculó el exceso porcentual respecto al umbral máximo tolerable. En el caso del pH, la desviación se evaluó de manera absoluta en relación con el rango neutro de referencia agronómica para Coffea arabica. (Figura 8)

Figura 8.

Índice de brecha respecto al valor óptimo de los indicadores edáficos evaluados en predios cafeteros de Anolaima. La línea indica el umbral crítico del 30%.



Nota. Elaboración propia con base en AGROSAVIA (2023); Sadeghian & Lince-Salazar (2024), Universidad Libre (2015). Datos correspondientes a predios cafeteros del municipio de Anolaima, Cundinamarca. https://repository.unilibre.edu.co/items/06da2a64-4111-4fc1-9c66-69325b01af18. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/cenicafe/article/view/3081.

La Figura 8 cuantifica la brecha de cada variable edáfica respecto al óptimo productivo. El aluminio intercambiable (80%) y la macrofauna edáfica (53%) presentan las brechas más críticas en el sistema convencional. Los predios agroecológicos reducen significativamente estas brechas en casi todos los indicadores, salvo en el pH, cuyo déficit persiste, aunque en menor magnitud, lo que indica que la corrección de la acidez requiere periodos más prolongados para consolidarse estructuralmente.

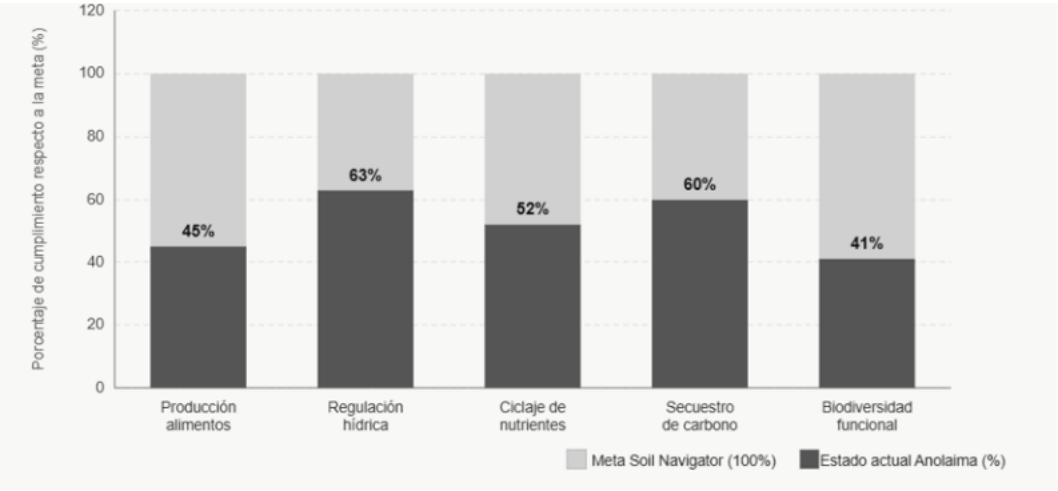
La densidad aparente observada (1,0–1,35 g/cm³) supera el valor de referencia de 1,0 g/cm³ establecido para suelos francos tropicales, lo que evidencia condiciones de compactación incipiente en el 60% de los predios convencionales (IGAC, 2000). Esta condición puede reducir la macroporosidad y limitar la infiltración del agua, favoreciendo la escorrentía superficial y la erosión laminar, especialmente en terrenos con pendiente y bajo condiciones de alta humedad asociadas al laboreo y al tránsito de maquinaria (Alvarado-Hernández & Guío-Nieto, 2023).

Comparación con referentes globales mediante Soil Navigator

Soil Navigator es un sistema de apoyo a la decisión desarrollado en el marco del proyecto europeo LANDMARK, que integra indicadores edáficos medibles en predio para evaluar simultáneamente cinco funciones del suelo producción de alimentos, regulación hídrica, ciclaje de nutrientes, secuestro de carbono y biodiversidad funcional frente a metas de referencia derivadas de la red de monitoreo de suelos LUCAS de la Unión Europea (Debeljak et al., 2019). Aunque fue diseñado originalmente para condiciones edafoclimáticas templadas, su estructura de evaluación por funciones se adoptó en este estudio como marco comparativo internacional porque permite estandarizar, en una misma escala de cumplimiento (0-100%), variables edáficas de naturaleza distinta (físicas, químicas y biológicas) que de otro modo no serían directamente comparables; los valores de referencia se contrastaron y ajustaron con rangos óptimos reportados por CENICAFÉ y AGROSAVIA para suelos cafeteros de ladera en clima andino, de manera que las metas empleadas resultaran pertinentes para el contexto agroecológico de Anolaima. La figura 9 permite evidenciar lo anteriormente mencionado

Figura 9.

Análisis de brechas edáficas: estado actual vs. metas según Soil Navigator. Predios cafeteros convencionales de Anolaima vs. referentes LUCAS EU y países cafeteros.



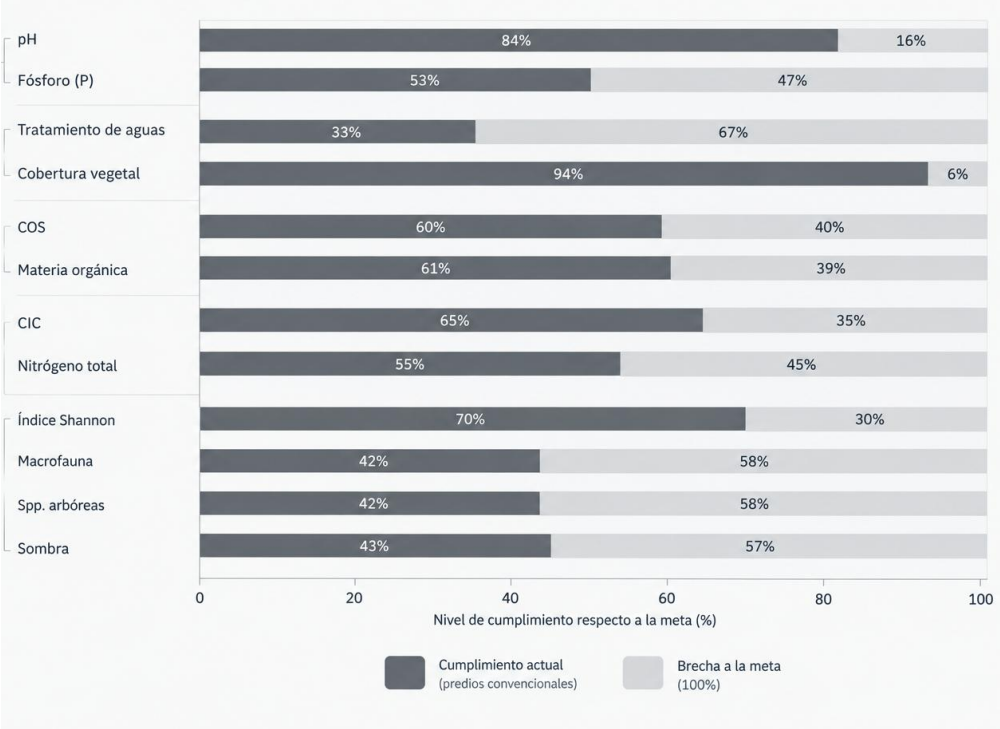
Nota. Elaboración propia con base en Soil Navigator (https://soil-navigator.com); Lucas EU Soil Survey (https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/lucas); Sadeghian & Lince-Salazar (2024); AGROSAVIA (2023). Referentes globales obtenidos de países cafeteros según base de datos LUCAS EU y Soil Navigator.

Estructura Agroforestal

La Figura 10, presenta la evaluación de cinco funciones del agroecosistema propuestas por el enfoque Soil Navigator, a partir de los resultados obtenidos para los indicadores edáficos asociados a cada función. Los resultados evidencian mayores brechas en el ciclaje de nutrientes (52%), la producción de alimentos (45%) y la biodiversidad funcional (41%), mientras que la regulación hídrica (63%) y el secuestro de carbono (60%) presentan un mejor desempeño. Estas diferencias reflejan el comportamiento conjunto de variables edáficas como el pH, la densidad aparente, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de aluminio y el carbono orgánico, entre otras, utilizadas para caracterizar las condiciones del suelo y su contribución al funcionamiento del agroecosistema.

Figura 10

Análisis de brechas edáficas: estado actual vs. metas según Soil Navigator (indicadores individuales).



Nota. Elaboración propia con base en Soil Navigator (https://soil-navigator.com); Sadeghian & Lince-Salazar (2024); AGROSAVIA (2023).

La Figura 10 presenta el detalle de los 12 indicadores edáficos, distribuidos en las cinco dimensiones del Soil Navigator (productividad, hídrica, carbono, nutrientes y biodiversidad), incluyendo el índice de diversidad de Shannon-Wiener calculado a partir de los datos taxonómicos del SIB Colombia (70% de cumplimiento frente al rango de referencia), que complementa así el indicador agregado de biodiversidad funcional. El gráfico compara el estado actual de los predios cafeteros convencionales de Anolaima frente a las metas establecidas por el referente internacional Soil Navigator (100%). En términos generales, se observa que ningún indicador alcanza la meta del 100%, y el promedio de cumplimiento ronda el 60%, evidenciando brechas estructurales en el manejo del suelo bajo sistemas convencionales; las brechas más amplias corresponden al tratamiento de aguas mieles (33%) y a la macrofauna edáfica y la riqueza de especies arbóreas (42% en ambos casos), mientras que la cobertura vegetal (94%) y el pH (84%) se aproximan más a la meta de referencia.

Los hallazgos del primer objetivo específico permiten integrar tres lecturas complementarias sobre el estado actual de los sistemas productivos cafeteros de Anolaima. Como fortalezas, se destaca que la totalidad de los caficultores encuestados realiza prácticas de preparación del terreno previas a la siembra y mantiene coberturas arbóreas que favorecen la regulación hídrica y el secuestro de carbono, con niveles de cumplimiento frente a las metas de Soil Navigator superiores al 60% en ambas funciones. Como prácticas actualmente implementadas, sobresalen la fertilización (73%) y el control de arvenses y el manejo de plagas (63%), evidenciando un manejo agronómico activo, aunque todavía centrado en insumos convencionales. Como barreras principales se identifican la elevada acidez y toxicidad por aluminio de los suelos (brecha del 80% frente al óptimo), la baja actividad de macrofauna edáfica (brecha del 53%) y los déficits en biodiversidad funcional (41%) y ciclaje de nutrientes (52%) frente a los referentes de Soil Navigator, factores que en conjunto constituyen las principales limitantes técnicas para avanzar hacia una caficultura regenerativa en el municipio.

Objetivo específico 2.

Introducción: se desarrolló un proceso metodológico orientado a comparar los enfoques de agricultura orgánica, agroecología y agricultura regenerativa, con el propósito de identificar los elementos comunes y diferenciadores que pudieran ser aplicables al contexto productivo del café en Anolaima. Para ello, se realizaron tres actividades principales: i) revisión del estado del arte sobre estrategias y prácticas asociadas a los tres modelos de agricultura; ii) comparación de sus principales criterios ambientales, sociales, económicos y de transformación sistémica y iii) integración y priorización de los criterios identificados mediante una matriz de priorización multicriterio. Este proceso permitió establecer los criterios que posteriormente fueron incorporados en el instrumento de evaluación de los sistemas cafeteros, considerando además el potencial de la agrotecnología como elemento transversal para apoyar su implementación y seguimiento. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de estas etapas.

Identificación de Criterios

Con el fin de identificar criterios que permitan la transición de un cultivo cafetero convencional a uno regenerativo, se realizó la identificación y el análisis de diferentes prácticas de agricultura sostenibles, entre ellas agroecología, agricultura orgánica, agricultura regenerativa de acuerdo con los criterios de estas, se establecieron criterios ambientales, sociales, económicos y de transformación sistémica, los cuales permitan promover los sistemas sostenibles y resilientes en el territorio; así mismo, se analizaron las opciones que brinda la agrotecnología, en donde se verificó la aplicabilidad en cada uno de los dominios evaluados.

Para la evaluación de estrategias metodológicas se realizó mediante una matriz multicriterio y de priorización (Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia, 2021) la cual será la base para la toma de decisiones con el fin de establecer criterios en el contexto productivo de café del municipio de Anolaima, Cundinamarca, lo anterior basados en modelos agrícolas sostenibles mediante el análisis de documentos que permiten visibilizar los principios de agricultura regenerativa, La Política de Agroecología (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024; Virginio et al., 2025), agroecología (Agricultura y Rural, 2024); (Ortega, 2009), agricultura orgánica (Bayón, n.d.), siendo referentes para la identificación y priorización de estrategias.

Los criterios de evaluación establecidos de acuerdo con el análisis bibliográfico y el lineamiento de evaluación considerado para verificar el desempeño de cada alternativa estos fueron establecidos las siguientes dimensiones: salud del suelo, abastecimiento de agua, diversificación productiva, uso de pesticidas, abono orgánico, resiliencia climática, economía circular, viabilidad económica, escalabilidad y gobernanza, analizadas desde los contextos ambiental, social, económico y de transformación sistémica, evaluando la aplicabilidad a cada uno de los modelos agrícolas.

Adicionalmente, se realizó la asignación de un peso porcentual, estableciendo el nivel de importancia de acuerdo con la caracterización de conceptos de agricultura regenerativa, teniendo en cuenta el impacto ambiental, la contribución de sostenibilidad, la relevancia en el territorio, la capacidad de implementación; la sumatoria porcentual equivale al 100%, reflejando la priorización relativa al análisis multicriterio (Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia, 2021).

La escala de calificación estableció valores de acuerdo con la relación de estos a cada modelo agrícola, evaluando el desempeño de las alternativas frente a cada dimensión, de acuerdo con los modelos de agricultura tanto convencionales como sostenibles, valorada en una escala entre 0 y 3 asignando el nivel de relevancia, establecido según se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.

Escala de Calificación

Valor numérico	Relación	Descripción
0	Sin Relevancia	Cuando el parámetro no tiene relevancia o no es contemplado en los principios de la práctica agrícola determinada
1	Poco Relevante	Cuando el parámetro se encuentra contemplado someramente y no es relevante dentro de la práctica
2	Relevante	Se refiere que dentro de las prácticas que son contempladas y relevantes de acuerdo con los principios del tipo de agricultura
3	Muy Relevante	Se encuentra contemplada y es muy relevante para el tipo de práctica evaluada

Nota. Adaptado de Manual: proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia, 2021). http://www.apc.lancis.ecologia.unam.mx/modulos/impacto/docs/build/html/_downloads/73b3745ed92d4949588f7d085d575059/ahp_manual_rua.pdf

A continuación, se presenta la tabla 4 de criterios valorados en la escala mencionada, permitiendo la comparación de los diferentes modelos de agricultura y estableciendo la identificación de criterios que permitan la aplicación en los cultivos cafeteros en el territorio, esta permitirá apoyar la identificación de indicadores, así como las prácticas recomendadas para la transición a la agricultura regenerativa.

Tabla 4.

Matriz comparativa

Dominios	Salud del suelo	Gestión Hídrica	Diversificación productiva	Productos de síntesis química para control fitosanitario	Biopreparados para fertilización	Resiliencia climática	Viabilidad económica	Escalabilidad	Rentabilidad económica	Bienestar rural	Inclusión intergeneracional (Arraigo y permanencia territorial)	Soberanía Alimentaria	Apropiación y facilidad de adopción	Gobernanza	Capacidad Regenerativa	Total
	Refiere aspectos puntuales como materia orgánica, microbiota	Contempla aspectos como abastecimiento, uso, aprovechamiento	Contempla la implementación de cultivos bien sea rotación o policultivos	Contempla uso de fertilizantes orgánicos que protejan la salud del suelo y minimicen el uso químico	Contempla uso de compostaje o algun tipo de abono orgánico como principio rector	soporta sequías o plagas emergentes	Usa de insumos externos caros, o mejora en la rentabilidad	Aplicable tanto a pequeños como grandes caficultores	Las acciones tomadas permiten visibilizar rentabilidad económica	contempla acciones de fortalecimiento del territorio y los productores	Capacidad para integrar las diferentes generaciones, promoviendo el relevo intergeneracional	Establece un sistema alimentario equitativo, en la búsqueda de alimentos nutritivos y saludables	Las prácticas planteadas son de fácil adopción	Contempla interacción de diferentes actores que apoyen las prácticas y participen en las decisiones de implementación	potencial de restauración tanto de suelos, biodiversidad, agua, funciones ecosistémicas	
Convencional	0	0	0	0	1	0	3	3	2	1	0	0	3	0	0	**13**
Agroecología	3	2	3	3	2	3	1	1	3	3	3	3	1	3	3	**18**
Agricultura regenerativa	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	**40**
Agricultura Orgánica	2	1	1	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1	**29**
Agrotecnología	2	2	0	0	2	3	0	1	2	2	1	2	1	1	1	**20**
Total	**10**	**8**	**6**	**8**	**10**	**11**	**9**	**10**	**13**	**11**	**9**	**10**	**9**	**7**	**8**	**120**

Escala de valoración: 0 = No contempla; 1 = Bajo; 2 = Medio; 3 = Alto.

Nota. Adaptado de Manual: proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia, 2021).

http://www.apc.lancis.ecologia.unam.mx/modulos/impacto/docs/build/html/_downloads/73b3745ed92d4949588f7d085d575059/ahp_manual_rua.pdf

La evaluación de estrategias metodológicas se realizó mediante una matriz de priorización con base en el enfoque de Merino-Benítez & Bojórquez-Tapia (2021), con el fin de establecer criterios aplicables en el contexto productivo cafetero de Anolaima. Los criterios de evaluación se organizaron en cuatro dimensiones, ahora llamados dominios y estableciendo condiciones de cada uno de estos aspectos así:

- Ambiental: salud del suelo, gestión hídrica, diversificación productiva, Productos de síntesis química para control fitosanitario, biopreparados para fertilización, resiliencia climática.
- Económico: viabilidad, escalabilidad, rentabilidad.
- Social: bienestar rural, inclusión intergeneracional (arraigo y permanencia territorial), soberanía alimentaria.
- Transformación sistémica: apropiación y facilidad de adopción social, gobernanza, capacidad regenerativa.

A partir de la aplicación de la matriz de priorización se obtuvo que, si bien no existe un modelo con ponderación superior en todas las condiciones evaluadas, la agricultura regenerativa alcanzó la valoración más alta con 40 puntos, seguida por la agroecología, lo que evidencia un mayor equilibrio entre sostenibilidad y productividad agrícola en estos dos enfoques. Las condiciones con mayor representatividad para la agricultura regenerativa resultaron ser: salud del suelo, gestión hídrica, resiliencia climática, viabilidad económica, escalabilidad, rentabilidad, bienestar rural, inclusión intergeneracional, soberanía alimentaria y capacidad regenerativa.

En cuanto a aspectos como escalabilidad, apropiación y facilidad de adopción, se identificaron como factores fundamentales para la implementación de las prácticas en el territorio, dependiendo en gran medida del intercambio de conocimiento con la comunidad y de la adopción de una gobernanza que permita el fortalecimiento de la región, considerando factores críticos como cultura, costumbre, aprendizaje colaborativo y autonomía del agricultor.

Objetivo específico 3.

Introducción: para definir el instrumento de medición se elaboraron las siguientes actividades I) Identificación de variables de medición de implementación de prácticas de agricultura regenerativa. II) Matriz de caracterización de componentes ambiental, social, económico, y transformación sistémica. Mediante la elaboración de matrices que permitan cuantificar el nivel de implementación de prácticas regenerativas de los componentes establecidos desde los dominios y condiciones identificados, generándose un instrumento que permite al agricultor reconocer el nivel de implementación.

Estas cuentan con una escala de valoración entre 0 y 3 donde:

- 0 corresponde a: sin implementación, la práctica o estrategia no cuenta con un nivel de desarrollo, no se tienen registros de planificación, ejecución o seguimiento relacionados con la pregunta integradora.
- 1 corresponde a: implementación parcial, cuando cuenta con acciones enmarcadas en el desarrollo de la pregunta integradora; sin embargo, esta no cuenta con la totalidad de las acciones o son limitados los resultados obtenidos.
- 2 corresponde a: implementación consolidada, las acciones realizadas hacen parte de las prácticas habituales, cuenta con evidencias de implementación y tiene métodos estandarizados de clasificación y mejora continua.
- 3 corresponde a: implementación avanzada, las acciones se encuentran interiorizadas y se realizan de manera constante, mediante métodos de planificación y resultados verificables, estas se tienen establecidas durante mínimo 3 cosechas.

En la tabla 5 se puede evidenciar lo anteriormente descrito:

Tabla 5.

Nivel de Implementación

Nivel de Implementación	Valoración
Sin implementación	0
Implementación parcial	1
Implementación consolidada	2
Implementación avanzada	3

Nota. El nivel de implementación permitirá establecer las prácticas que sean asociadas a cultivos regenerativos, brindando el grado de consolidación del cafetal

Elaboración Propia

El instrumento propuesto para la identificación de estado de implementación (diagnóstico) del evaluador (bien sea agricultor, agremiación, o autoridad) identifica los dominios y condiciones, se diseñó en un formato Excel (Anexo suplementario 4) y es estructurado como un instrumento metódico organizado de manera secuencial, lo anterior permitirá identificar cada uno de dominios (ambiental, social, económico y de transformación sistémica) considerando cada uno condiciones identificados en la matriz de comparación, adicionalmente se plantearon 5 preguntas integradoras que permitirán evaluar el nivel de acciones regenerativas. Estas están calificadas permitiendo establecer el total de avance entre 0 y 25 en cada uno de los dominios.

Una vez evaluadas todas preguntas integradoras de cada dimensión permitirá realizar una valoración de cada uno de los dominios estimando así el estado regenerativo del cultivo, establecido por 4 niveles:

- **Incipiente** cuando la ponderación está establecida entre 0 y 20% indicando que el cultivo no cuenta con acciones regenerativas
- **Intermedio** evaluado en una ponderación entre el 30 y 50%, en donde se establece que el cultivo cuenta con acciones regenerativas en un grado inicial; sin embargo, deben tomarse acciones para fortalecimiento.
- **Alto** donde la ponderación se encuentra entre el 60 y 80**%** cuando las acciones realizadas tienen un nivel regenerativo implementado; sin embargo, pueden tomarse acciones de mejora.
- **Regenerativo** establecido en una ponderación entre el 90 y 100% mostrando que las prácticas han sido realizadas en su totalidad y presenta un nivel de avance regenerativo.

A continuación, se presenta la tabla 10 de estado regenerativo.

Tabla 6.

Estado Regenerativo

Estado Regenerativo	Ponderación
Incipiente	0 - 20%
Intermedio	30 - 50%
Alto	60 - 80%
Regenerativo	90 - 100%

Nota. En los rangos de alto y regenerativo permitirá una vez aplicado el instrumento por segunda o tercera vez si se ha avanzado hacia la transición
Elaboración propia.

Lo anterior, permite al agricultor realizar un análisis inicial, donde identifica el nivel de avance enmarcado en prácticas regenerativas; de igual manera, este instrumento brinda la posibilidad de realizar seguimiento posterior a la implementación de acciones establecidas en la hoja de ruta, facilitando la mejora continua y asegurando un nivel de implementación cíclico y verificando el nivel de avance obtenido.

Objetivo específico 4.

Introducción: se desarrollaron tres actividades principales: i) matriz de decisión, para la aplicación de las recomendaciones de acciones, se establece una matriz de decisión, que permitirá identificar los dominios y condiciones para implementar ii) identificación de prácticas regenerativas para mejora de los cultivos, mediante la elaboración de una hoja de ruta de prácticas de acuerdo con las debilidades identificadas iii) validación y ajustes finales.

Matriz de Decisión

Una vez se establece el nivel regenerativo del predio por cada uno de los dominios, aquellos que se encontraron con una ponderación menor de 60%, deberán ser identificados para la toma de decisiones, se evalúan mediante la identificación en la "*Matriz de Decisión*" en el formato de Excel (Anexo suplementario 4) se encuentra la matriz de decisión que permite valorar el impacto y la facilidad de ejecución, estableciendo aquellos dominios y condiciones que requieren ser abordados prioritariamente.

A continuación, se presentan los criterios de evaluación de la matriz:

- **Implementación:** una vez se evalúa el dominio correspondiente, este arrojará una valoración, la cual es el primer dato de la tabla de decisión.
- **Interés:** este criterio mide la relevancia que tiene cada práctica regenerativa para el caficultor, considerando su aporte al mejoramiento del sistema productivo. La valoración se realiza mediante una escala de cuatro niveles: según muestra la tabla 7 muy relevante (0), relevante (1), poco relevante (3).

Esta permite identificar el grado de importancia que el productor asigne a cada práctica de acuerdo con sus necesidades y prioridades. Los resultados obtenidos facilitan la priorización de aquellas prácticas que generan un mayor beneficio para la toma de decisiones para su implementación.

Tabla 7.

Interés

Interés	Escala
No es relevante	3
Poco relevante	2
Relevante	1
muy relevante	0

Nota. El grado de interés determinará las prácticas que sean mas interesantes para él y será la base para iniciar la transición

Elaboración propia

- **Facilidad:** este criterio evalúa el grado de facilidad con el que el caficultor percibe cada práctica regenerativa, considerando aspectos como la disponibilidad de recursos, capacidades técnicas, experiencia previa, tiempo requerido e interés del productor. La valoración se realiza mediante una escala de cuatro niveles, según muestra la tabla 8. muy difícil (0), difícil (1), fácil (2) y muy fácil (3). Esta clasificación permite identificar la viabilidad de implementar cada práctica en las condiciones actuales de los agricultores, considerando las limitaciones y fortalezas.

Tabla 8.

Facilidad

Facilidad	Escala
Muy difícil	0
Difícil	1
Fácil	2
Muy fácil	3

Nota. La facilidad determinará, de acuerdo con la percepción del agricultor si es aplicable la hoja de ruta de acuerdo con las condiciones específicas

Elaboración propia

Prioridad: una vez evaluada la matriz de decisión para cada uno de los dominios, se estableció el nivel de prioridad de cada acción, resultado de la sumatoria de los criterios de Impacto y Facilidad e Implementación. Es importante señalar que la escala de calificación de estos criterios es inversa, es decir, entre menor sea el puntaje obtenido, mayor será la relevancia y facilidad de la acción evaluada; por lo tanto, a menor sumatoria total, mayor es la prioridad de implementación, estableciendo así 3 niveles de priorización según se muestra en la tabla 9:

- **Alta:** cuando la sumatoria total se encuentra entre 0 y 7 puntos, indicando que la acción evaluada es de carácter muy relevante y de fácil implementación. Estas acciones deben ser las primeras en atenderse dentro del plan de acción, ya que corresponden a aquellas prácticas que aún no han sido implementadas en el cultivo y que, por lo tanto, no cuentan con ningún grado de avance regenerativo, siendo indispensables para dar inicio al proceso de transición.
- **Media:** cuando la sumatoria total se encuentra entre 8 y 14 puntos, indicando que la acción evaluada presenta una relevancia y/o facilidad de implementación de tipo intermedio. Estas acciones pueden ser consideradas en una segunda fase de ejecución, una vez atendidas las prácticas de prioridad alta, dado que ya cuentan con grado inicial de implementación que puede fortalecerse.
- **Baja:** cuando la sumatoria total se encuentra entre 15 y 21 puntos, indicando que la acción evaluada es poco relevante y de mayor dificultad de implementación. Estas acciones pueden postergarse dentro del plan de acción, ya que corresponden a prácticas que cuentan con un grado de avance regenerativo consolidado, por lo que su atención inmediata no resulta prioritaria.

Tabla 9.

Prioridad

Prioridad	Escala
Alta	0 - 7
Media	8 - 14
Baja	15 - 21

Nota. En esta fase se establecerá el punto de giro de practicas de acuerdo con las condiciones de los agricultores

Elaboración propia

Hoja de Ruta

Para la aplicación de la hoja de ruta, es necesario tener en cuenta que el resultado de la priorización sea alto y se definirán cuáles son los dominios y condiciones valorados como incipiente e intermedio, determinando así las acciones recomendadas para la implementación.

En el instrumento diseñado permite identificar las acciones determinantes que permitirán fortalecer las prácticas regenerativas establecidas en el formato de Excel (Anexo suplementario 4).

Salud del suelo

Para esta dimensión se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas por los caficultores, orientadas al fortalecimiento y recuperación de la salud del suelo como base fundamental del sistema productivo. Estas acciones inician con la realización de análisis de suelo que permitan conocer las condiciones de pH, materia orgánica y textura, información indispensable para la toma de decisiones. De igual forma, se contempla el establecimiento de coberturas vivas o arvenses nobles que prevengan procesos de erosión, así como la incorporación de especies de sombra de gran altura que regulen las condiciones del cultivo. Adicionalmente, se promueve la observación periódica de organismos benéficos como lombrices, hormigas, termitas y hongos, indicadores de la actividad biológica del suelo, junto con recorridos visuales que permitan identificar cárcavas, surcos o pérdida de suelo. La implementación conjunta de estas prácticas permitirá a los productores avanzar progresivamente hacia un manejo más regenerativo de este recurso.

Gestión hídrica

Para esta dimensión se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas al uso eficiente y sostenible del recurso hídrico dentro del sistema productivo. Estas acciones contemplan la implementación de sistemas de recolección de agua lluvia, como jagüeyes o reservorios, que permitan abastecer las labores de beneficio y riego del cultivo. Asimismo, se propone la instalación de sistemas

de riego por goteo o microaspersión que optimicen el consumo de agua, junto con el registro diario o semanal de dicho consumo para identificar oportunidades de ahorro. También se incluye la construcción de sistemas básicos de tratamiento de aguas mieles, como trampas de grasas y fosas de infiltración, así como la adopción de medidas para evitar el tránsito de maquinaria y animales cuando el suelo se encuentra saturado. Con estas prácticas se busca fortalecer la resiliencia hídrica de la finca frente a periodos de escasez.

Diversificación productiva

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas por los caficultores, orientadas a fortalecer la diversidad de especies dentro del sistema productivo cafetero. Estas acciones inician con la introducción de cultivos asociados de ciclo corto en los espacios entre calles del cultivo, aprovechando de manera eficiente el área disponible. Se propone también la utilización de una amplia diversidad de especies que cumplan funciones múltiples como la provisión de frutos, especias, medicinas, forraje y madera, así como la incorporación de frutales y cultivos de autoconsumo como maíz, frijol y arveja. Adicionalmente, se contempla la siembra de árboles maderables de sombrío permanente que regulen el microclima y aporten madera a largo plazo, junto con el establecimiento de huertas familiares con verduras y plantas aromáticas. Estas prácticas fortalecen tanto la seguridad alimentaria como la generación de ingresos adicionales.

Productos de síntesis química para control fitosanitario

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a la reducción progresiva del uso de productos de síntesis química en el manejo del cultivo. Estas acciones parten de la realización de monitoreos periódicos de plagas y enfermedades antes de aplicar cualquier tipo de control, garantizando intervenciones oportunas y pertinentes. Se propone también el control manual de arvenses mediante herramientas como el machete, así como el registro visual que permita evidenciar la incidencia y severidad de plagas o enfermedades presentes en el cultivo. De igual manera, se establecen estrategias para el uso combinado de productos orgánicos que apoyen la reducción de agroquímicos, junto con la adopción de

métodos preventivos, biológicos y culturales que disminuyan progresivamente su uso. Estas prácticas contribuyen a un manejo fitosanitario más limpio y regenerativo.

Biopreparados para fertilización

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas por los caficultores, orientadas a la producción y uso de biopreparados como estrategia de fertilización del cultivo. Estas acciones inician con la construcción de equipamientos para la elaboración de compostaje, lombricultivos u otros métodos que permitan el aprovechamiento de subproductos generados en la finca. Se propone también la adición de abonos orgánicos líquidos o sólidos que incrementen la materia orgánica del suelo, así como el registro del uso, cantidades y frecuencia de productos tanto químicos como orgánicos aplicados. Adicionalmente, se establece un cronograma para la realización de análisis de suelo que permita verificar los efectos del uso de fertilizantes orgánicos, junto con jornadas de capacitación práctica entre productores vecinos. Estas prácticas fortalecen la autonomía de los caficultores en la producción de sus propios insumos.

Resiliencia climática

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a fortalecer la capacidad de respuesta del sistema productivo frente a eventos climáticos. Estas acciones inician con el registro de variables como precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa y radiación solar, información clave para la toma de decisiones. Se propone también la definición de acciones antes, durante y después de eventos climáticos como sequías o fuertes precipitaciones, de acuerdo con el comportamiento histórico de la zona. Adicionalmente, se establece la siembra de especies que protejan el suelo y aumenten la biodiversidad, como maní forrajero, canavalia y botón de oro, junto con la construcción de reservorios de agua que permitan el abastecimiento en épocas secas. Estas prácticas fortalecen la capacidad adaptativa del cultivo frente al cambio climático.

Viabilidad

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a evaluar y fortalecer la viabilidad económica del proceso de

transición regenerativa. Estas acciones inician con la elaboración de un presupuesto anual simple que compare los costos actuales frente a los costos de implementar prácticas regenerativas, realizando análisis trimestrales de pertinencia. Se propone también la identificación y priorización de prácticas que reduzcan costos, como el uso de biopreparados y la mano de obra familiar, así como el cálculo del ahorro obtenido por la reducción de plaguicidas y pérdidas en producción. Adicionalmente, se contempla la identificación de oportunidades de cofinanciación mediante proyectos productivos o de cooperación, junto con la definición de un plan financiero de mediano plazo que distribuya la inversión en varios ciclos productivos.

Escalabilidad

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas por los caficultores, orientadas a facilitar la expansión progresiva de las acciones regenerativas dentro del predio. Estas acciones inician con la identificación de prácticas de bajo costo y alto impacto que puedan implementarse antes de realizar inversiones mayores. Se propone también escalar las prácticas por lotes o etapas, comenzando por las áreas más críticas del predio, así como adaptar el tamaño y diseño de las prácticas según el área cultivada, la disponibilidad de mano de obra y los intereses del productor. Adicionalmente, se contempla la realización de un diagnóstico integral de las condiciones del predio, junto con el establecimiento de indicadores simples de seguimiento que permitan medir el avance y la expansión de las prácticas implementadas.

Rentabilidad

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a mejorar la rentabilidad del sistema productivo cafetero. Estas acciones inician con la optimización del uso de agua, fertilizantes y mano de obra mediante la planificación de labores por lote y el aprovechamiento de agua lluvia. Se propone también la diversificación de fuentes de ingreso a través de productos complementarios como frutales, miel o turismo agroecológico, así como el registro de pérdidas asociadas a eventos climáticos que permitan evaluar el efecto de las prácticas regenerativas. Adicionalmente, se contempla la reinversión de excedentes económicos

en el fortalecimiento de dichas prácticas, junto con el registro básico de ingresos, costos y utilidades por ciclo productivo.

Bienestar rural

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a fortalecer el bienestar de los productores, sus familias y colaboradores. Estas acciones inician con la gestión de acompañamiento técnico periódico con cooperativas, comités de cafeteros u otras entidades locales, así como la transmisión de saberes ancestrales y de la cultura cafetera. Se propone también el establecimiento de medidas de protección en el marco de la seguridad y salud en el trabajo, incluyendo el uso de elementos de protección personal y la prevención de enfermedades laborales. Adicionalmente, se contempla la creación de espacios de diálogo familiar y comunitario para la toma de decisiones, junto con la generación de espacios de interacción entre productores que fortalezcan el arraigo territorial y el bien común.

Inclusión intergeneracional (Arraigo y permanencia territorial)

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a promover el relevo generacional y la permanencia de los jóvenes en el territorio cafetero. Estas acciones inician con la capacitación y certificación de conocimientos en manejo de cultivos, uso de fertilizantes y cuidado del suelo, vinculando a los jóvenes con cooperativas y asociaciones. Se propone también documentar y transmitir el conocimiento tradicional del manejo del café entre generaciones, mediante registros y acompañamiento en campo. Adicionalmente, se contempla la exploración de programas institucionales de relevo generacional, así como líneas de negocio complementarias como el café especial, el turismo o el barismo, junto con el fortalecimiento de espacios de participación y arraigo familiar dentro de la cultura cafetera.

Soberanía Alimentaria

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a fortalecer la producción de alimentos propios dentro del sistema cafetero. Estas acciones inician con la ampliación de policultivos de plátano, frutales y especies comestibles de sombrío dentro del cafetal, verificando su beneficio

para el suelo y la comercialización. Se propone también la generación de espacios como mercados campesinos y fiestas patronales para la adquisición de semillas y especies nativas adaptadas al territorio. Adicionalmente, se contempla la reducción de la compra de alimentos externos priorizando la producción propia, la planificación de cultivos de ciclo corto que garanticen alimento en épocas de menor ingreso cafetero, y la recuperación del conocimiento tradicional sobre plantas alimenticias y medicinales.

Apropiación y facilidad de adopción social

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a facilitar la apropiación y adopción social de las prácticas regenerativas en el territorio. Estas acciones inician con el establecimiento de espacios de capacitación técnica y tecnológica por parte de entidades locales, dirigidos a productores, familias y colaboradores. Se propone también la generación de espacios de concientización que permitan incluir prácticas regenerativas en las actividades diarias del predio, como la labranza mínima y el uso adecuado del agua. Adicionalmente, se contempla la realización de talleres, PROCEDAS y cursos de participación, junto con la identificación de debilidades en la adquisición de saberes y la construcción de espacios de demostración como parcelas y composteras participativas.

Gobernanza

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a fortalecer los mecanismos de participación y articulación institucional en torno al proceso regenerativo. Estas acciones inician con la creación de mesas de trabajo donde participen agremiaciones, alcaldías, gobernaciones, la Federación Nacional de Cafeteros, universidades y productores, entre otros actores. Se propone también el establecimiento de mecanismos de participación como laboratorios vivos y escuelas de campo que garanticen la continuidad de los procesos formativos. Adicionalmente, se contempla la realización de seguimientos semestrales mediante comités de monitoreo, el establecimiento de sistemas de registro y documentación institucional, y la generación de espacios de capacitación continua que permitan identificar temáticas y su periodicidad.

Capacidad Regenerativa

Se establecieron 5 prácticas regenerativas que podrán ser adoptadas e implementadas, orientadas a consolidar la capacidad regenerativa integral del sistema productivo cafetero. Estas acciones inician con la priorización de prácticas que restauren la estructura y fertilidad del suelo, como coberturas, biopreparados y manejo de sombra. Se propone también la implementación de estrategias que recuperen la biodiversidad, como el manejo de árboles nativos, cercas vivas y corredores biológicos que favorezcan la fauna benéfica. Adicionalmente, se contempla el fortalecimiento de la resiliencia productiva mediante la diversificación de cultivos e ingresos, la promoción de espacios de interacción como escuelas de campo y ferias agronómicas, y el incremento de la diversidad funcional del cafetal mediante especies arbóreas y plantas nectaríferas.

Discusión

La discusión se estructuró siguiendo el mismo orden en que fueron presentados los resultados. En primer lugar, se analiza el panorama general obtenido a partir de la encuesta. Posteriormente, se abordan las variables agroclimáticas y edáficas, seguidas de la comparación de los modelos agrícolas sostenibles correspondiente al segundo objetivo específico. Finalmente, se discute el instrumento de autoevaluación regenerativa, la matriz de decisión y la hoja de ruta, desarrollados en el marco de los objetivos específicos tercero y cuarto.

La caracterización multidimensional de los sistemas productivos cafeteros de Anolaima evidenció que los caficultores participantes se encontraban en una etapa de transición, en la que aún persisten algunas limitaciones asociadas al uso de insumos de síntesis química y al escaso relevo generacional, factores que restringen la autonomía y la resiliencia de los agroecosistemas. Estos resultados reflejan la influencia del modelo productivo derivado de la Revolución Verde, basado en la intensificación agrícola, el cual ha contribuido al deterioro progresivo de las propiedades del suelo y ha olvidado una visión integral de la sostenibilidad, en concordancia con lo señalado por Rueda et al. (2024) y Arias et al. (2022).

Asimismo, la caracterización edáfica permitió identificar brechas importantes relacionadas con la fertilidad del suelo, destacándose las limitaciones en la disponibilidad de nutrientes y la elevada toxicidad por aluminio, condiciones que afectan la productividad y aumentan la vulnerabilidad de los sistemas cafeteros. Estos hallazgos evidencian la necesidad de implementar estrategias orientadas a la restauración de la funcionalidad del suelo y al fortalecimiento de la resiliencia de los agroecosistemas frente a las condiciones ambientales.

En este contexto, la Matriz Comparativa permitió establecer que la agricultura regenerativa obtuvo la mayor valoración entre los enfoques analizados, al integrar criterios ambientales, sociales y transformación sistémica. Este resultado respalda su potencial como marco metodológico para orientar la transición de los sistemas cafeteros hacia modelos más sostenibles, en concordancia con los planteamientos de Pulleman et al. (2024) y Schreefel et al. (2020), quienes destacan la importancia de recuperar la salud del suelo, optimizar las condiciones edáficas y fortalecer la capacidad de adaptación frente a la variabilidad climática.

Asimismo, las matrices de caracterización y de decisión constituyeron herramientas que permitieron transformar el diagnóstico en un proceso de planificación para la toma de decisiones. Su aplicación facilitó la priorización de prácticas regenerativas considerando tanto su impacto sobre la sostenibilidad del sistema como su factibilidad técnica y económica para pequeños productores. En este sentido, los resultados sugieren que una de las principales limitantes para la adopción de prácticas regenerativas no corresponde únicamente a la disposición de los caficultores, sino también a la falta de herramientas que orienten la implementación de alternativas viables y de bajo riesgo.

Finalmente, la Hoja de Ruta propuesta ofrece un instrumento para planificar de manera gradual la transición hacia sistemas productivos regenerativos, priorizando acciones que pueden implementarse de forma progresiva sin comprometer la estabilidad económica de las unidades productivas. Más allá de la recuperación de la calidad del suelo, este enfoque contribuye al fortalecimiento de la seguridad alimentaria, la permanencia de las familias en el territorio y la participación de nuevas generaciones en la caficultura, aspectos que coinciden con las propuestas de Fróna et al. (2025) y Wright et al. (2024) sobre la necesidad de promover una sostenibilidad que integre las dimensiones ambiental, social y económica.

Es importante reconocer las limitaciones de este estudio. En primer lugar, el tamaño de la muestra encuestada (11 de 472 caficultores registrados) corresponde a un muestreo no probabilístico por conveniencia, por lo que los hallazgos tienen un carácter exploratorio y no son estadísticamente generalizables al conjunto de la población cafetera de Anolaima, aunque sí permiten identificar tendencias y prioridades válidas para orientar el diseño del instrumento. En segundo lugar, la información edafológica, climática y de biodiversidad utilizada proviene de fuentes secundarias (IGAC, NASA POWER, IDEAM, SIB Colombia) y de un número reducido de predios muestreados directamente, por lo que no captura la variabilidad completa de microambientes presente en el territorio. Finalmente, el instrumento de autodiagnóstico y la hoja de ruta propuestos no fueron validados en campo con caficultores durante el desarrollo de este trabajo, por lo que se recomienda como línea de investigación futura: (i) ampliar la muestra mediante un diseño probabilístico que permita generalizar los hallazgos; (ii) validar el instrumento de autoevaluación con caficultores de distintas condiciones socioeconómicas y agroecológicas del municipio, evaluando su usabilidad y comprensibilidad; y (iii) realizar seguimiento longitudinal a los predios que implementen la hoja de ruta, con el fin de medir el impacto real de las prácticas regenerativas sobre los indicadores edáficos, productivos y sociales identificados.

Conclusiones:

En relación con el primer objetivo específico, la investigación logró desarrollar y aplicar una herramienta de diagnóstico estructurada y replicable que permite a las agremiaciones cafeteras, cooperativas y entidades de acompañamiento técnico identificar, con base en evidencia y no de manera intuitiva, las prácticas efectivamente implementadas por los caficultores en sus predios. La caracterización realizada evidenció fortalezas consolidadas la totalidad de los caficultores participantes realiza preparación del terreno previa a la siembra y mantiene coberturas arbóreas, con niveles de cumplimiento frente a las metas de Soil Navigator superiores al 60% en regulación hídrica y secuestro de carbono junto con un manejo agronómico todavía centrado en insumos convencionales (fertilización química en el 73% de los predios; control de arvenses y manejo de plagas en el 63% de los casos), estableciendo así una línea base cuantificable que trasciende el diagnóstico intuitivo tradicionalmente empleado en el

acompañamiento técnico del territorio y que habilita la medición sistemática de avances futuros.

La caracterización edáfica evidenció, además, que la principal limitante para la transición regenerativa en los sistemas cafeteros de Anolaima corresponde al deterioro de la salud del suelo, los Inceptisoles de ladera analizados presentan una acidez marcada (pH 4,5-5,2), con una brecha del 80% en aluminio intercambiable y del 53% en macrofauna edáfica frente a los óptimos de referencia, a lo que se suman déficits en biodiversidad funcional (41%) y ciclaje de nutrientes (52%). Estos resultados indican que la recuperación de las condiciones edáficas y no únicamente la incorporación de nuevas prácticas productivas debe constituir el eje prioritario de cualquier estrategia de manejo regenerativo en el municipio.

Con respecto al segundo objetivo específico, la comparación entre agricultura convencional, agroecología, agricultura orgánica, agrotecnología y agricultura regenerativa, realizada mediante una matriz de priorización de criterios (Proceso Analítico Jerárquico), permitió establecer que la agricultura regenerativa obtuvo la mayor valoración global (40 de 45 puntos posibles), seguida por la agricultura orgánica (29 puntos) y la agrotecnología (20 puntos), mientras que la agroecología (18 puntos) y el sistema convencional (13 puntos) obtuvieron las valoraciones más bajas al integrar de manera menos equilibrada los criterios ambientales, sociales económicos y de transformación sistémica evaluados. Este resultado no solo sustentó la selección de la agricultura regenerativa como enfoque orientador del instrumento de diagnóstico y de la hoja de ruta propuestos, sino que evidenció que su ventaja frente a los demás modelos radica precisamente en abordar de manera simultánea las dimensiones de la sostenibilidad, en lugar de priorizar una sola de ellas.

Acerca del tercer objetivo específico, las matrices de calificación diseñadas organizadas en los dominios ambiental, económico, social y de transformación sistémica, con cinco preguntas integradoras por condición evaluada permitieron transformar el concepto de agricultura regenerativa en un instrumento práctico de evaluación, estableciendo criterios objetivos y verificables para determinar el nivel de implementación de cada práctica (escala de cuatro niveles, de 0 a 3) y clasificar el estado regenerativo de cada unidad productiva en una escala porcentual (incipiente, intermedio, alto o regenerativo). De este modo, el diagnóstico deja de depender de apreciaciones

subjetivas y se convierte en un ejercicio de medición estandarizado y replicable en el tiempo.

En cuanto al cuarto objetivo específico, la hoja de ruta desarrollada permite tener un plan de acción concreto, mediante la Matriz de Decisión, cada práctica pendiente de implementar se valora según su nivel de avance (Implementación), su relevancia (Interés) y su facilidad de ejecución (Facilidad), combinados en un puntaje único que permite ordenar las acciones en niveles de prioridad alta, media o baja. Esta estrategia busca que la transición hacia modelos de producción regenerativos responda a las capacidades y condiciones reales de los pequeños productores, priorizando acciones viables y de mayor impacto. De esta manera, se evita plantear la adopción simultánea de todas las prácticas, lo que podría representar una carga económica, técnica y operativa difícil de asumir para los caficultores de Anolaima. En su lugar, la hoja de ruta propone un proceso gradual que facilite la adopción progresiva de prácticas regenerativas y favorezca su sostenibilidad en el tiempo.

Dentro de un contexto de continuidad de la presente investigación, se recomienda profundizar componentes como viabilidad económica de las prácticas regenerativas, estableciendo una herramienta y parametrización específica de estimación de costos asociados para la inversión inicial, costos operativos, de mantenimiento, mano de obra, insumos. La herramienta también podrá incluirse beneficios económicos de la adopción, permitiendo identificar al agricultor aspectos positivos de los cambios implementados; lo anterior, favorecerá la selección para la valoración de criterios de decisión, con un análisis exhaustivo y riguroso facilitando la aplicabilidad de la hoja de ruta propuesta.

Referencias

Acta Agronomica, 74(1), 25–33. https://doi.org/10.15446/acag.v74n1.121147

Agricultura, M. D. E., & Rural, Y. D. (2024). *Política pública de agroecología*. 1–68.

Aguiar Novillo, S., Enríquez Estrella, M., & Uvidia Cabadiana, H. (2022). Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento. AXIOMA, 1(27), 5–11. https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803

Arias, M. A., Torres, J. E., & Sanjuán, M. R. (2022). Vulnerabilidad edáfica y degradación de suelos de ladera bajo sistemas agropecuarios convencionales en Cundinamarca. Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas, 14(2), 115–132.

Artunduaga, K. S. M., & Morales, O. F. G. (2026). Evaluation of coffee (Coffea arabica L.) production systems and quality using sustainability indicators in Pitalito (Huila, Colombia). *Acta Agronomica*, *74*(1), 25–33. https://doi.org/10.15446/acag.v74n1.121147

Awoke, M. D., & Brück, T. (2026). Climate, conflict, and food security: a systematic review of household-level evidence (2020–2025). *Journal of Health, Population and Nutrition*, *45*(1). https://doi.org/10.1186/S41043-026-01267-0

Bayón, R. G. (n.d.). *Manual de Agricultura Orgánica Sostenible*.

Capataz Jaraba, I. R., Sánchez Bustos, E. F., & Carrillo Dávila, V. C. (2025). *Indicadores de sostenibilidad en procesos de agricultura regenerativa: una propuesta para su implementación en contextos rurales colombianos*. *6*(6), 6. https://repository.universidadean.edu.co/entities/publication/58d3e280-249a-4b6b-9dcd-b3db4ec2156c

Çelik, H., Aytekin, İ., & Kızılkaya, S. (2026). The role of institutional quality, energy consumption, and trade openness in food production in major 19 agricultural economies. *Scientific Reports*, *16*(1), 1–13. https://doi.org/10.1038/s41598-026-41797-5

Centeno-Alvarado, D., Lopes, A. V., & Arnan, X. (2024). Shaping pollinator diversity through coffee agroforestry management: A meta-analytical approach. *Insect Conservation and Diversity*, *17*(5), 729–742. https://doi.org/10.1111/icad.12755

Concejo Municipal. (2024). *Anolaima_Acuerdo_005-2024.pdf*.

Crespo, C. M. G., Piscoya, V. C., de Melo, R. C. P., Pereira, L. M., Santos, L. D. V., Holanda, F. S. R., Pedrotti, A., da Silva, S. A. B., Filho, M. C., & de Araújo Filho, R. N. (2026). Topographic modulation of soil functional indicators in shaded coffee agroforestry systems: a multivariate and network-based approach. *Scientific Reports*, *16*(1), 1–16. https://doi.org/10.1038/s41598-026-37724-3

Debeljak, M., Trajanov, A., Kuzmanovski, V., Schröder, J., Sandén, T., Spiegel, H., Wall, D. P., Van de Broek, M., Rutgers, M., Bampa, F., Creamer, R. E., & Henriksen, C. B. (2019). A field-scale decision support system for assessment and management of soil functions. *Frontiers in Environmental Science, 7*, Artículo 115. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00115

Delgado-Vargas, I. A., & Benavides Franco, N. (2024). Soil organic carbon storage in different agroforestry systems associated with coffee in Nariño, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, *36*, Artículo 59765.

Durroh, B., Darsono, Irianto, H., & Riptanti, E. W. (2025). Integrated Model for the Sustainable Development of the Arabica Java Ijen Raung Specialty Coffee Agroindustry: A Two-Stage Approach. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *20*(12), 5271–5288. https://doi.org/10.18280/ijsdp.201220

Enríquez-Estrella, M., Arboleda-Alvarez, L., Ricaurte-Órtiz, P., El Salous, A., & Andrade-Alban, M. J. (2026). Sustainable utilization of agro-industrial fruit and vegetable waste as potential sources of bioactive compounds and biomaterials: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, *39*.

Fróna, D., Mihály-Karnai, L., & Rákos, M. (2026). Impact of food waste reduction on food security and sustainability in the European union. *Discover Sustainability*, *7*(1). https://doi.org/10.1007/s43621-025-02383-3

Ghatode, J., & Nimbarte, G. (2026). Performance analysis and science mapping of agricultural research within the sustainable livelihoods framework: A bibliometric analysis using the Scopus database. *Journal of Population and Social Studies, 35*, 307–333. https://doi.org/10.25133/JPSSv352027.016.

Giller, K. E., Hijbeek, R., Andersson, J. A., & Sumberg, J. (2021). Regenerative agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture, 50*(1), 13–25. https://doi.org/10.1177/0030727021998063

Guevara-Fernandez, F., & Oliva-Cruz, M. (2025). Determinants of adoption of sustainable

agricultural practices by small-scale coffee farmers in Amazonas, Peru. Asian Journal of Agriculture and Rural Development, 15(1), 11–29. https://doi.org/10.55493/5005.v15i1.5276.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación. In *McGRAW-Hill Interamericana editores* (Vol. 6). http://repositoriobibliotecas.uv.cl/handle/uvscl/1385

Hersch-González, E., & Riojas-Rodríguez, H. (2025). The planetary health impacts of coffee farming systems in Latin America: A review. *Challenges, 16*(4), Artículo 57. https://doi.org/10.3390/challe16040057

https://doi.org/10.17533/udea.rccp.e359059

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2024). *Series históricas de precipitación 2000–2023* [Conjunto de datos]. IDEAM.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca*. IGAC.

Jones, K., Njeru, E. M., Garnett, K., & Girkin, N. T. (2025). Organic management in coffee: a systematic review of the environmental, economic and social benefits and trade-offs for farmers. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *49*(8), 1368–1402. https://doi.org/10.1080/21683565.2025.2510361

Lince Salazar, L. A., & Sadeghian Khalajabadi, S. (2021). *Taxonomía de suelos: Consideraciones para la zona cafetera de Colombia* (Boletín Técnico No. 45). Cenicafé. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/bot/issue/view/981

Magurran, A. E. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing.

Mamabolo, E., Pryke, J. S., & Gaigher, R. (2024). Soil macrofauna are important bioindicators of soil quality in agroecosystems under different management. Ecological Indicators, 167, 112723. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112723

Merino-Benítez, E., & Bojórquez-Tapia, L. (2021). Manual: Proceso Analítico Jerárquico (AHP). *Unam*, 1–21. http://www.apc.lancis.ecologia.unam.mx/modulos/impacto/docs/build/html/_downloads/73b3745ed92d4949588f7d085d575059/ahp_manual_rua.pdf

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). RESOLUCION_No._000331_de_2024_15_12_2024.pdf. https://www.minagricultura.gov.co/fileadmin/normatividad/resoluciones/RESOLUCION_No._000331_de_2024_15_12_2024.pdf

NASA Langley Research Center. (2025). *POWER Data Access Viewer: Monthly & annual climatologies, January 2010–December 2024* [Conjunto de datos]. https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Ocampo Lopez, O. L., & Alvarez-Herrera, L. M. (2017). Tendencia de la producción y el consumo del café en Colombia. Apuntes Del Cenes, 36(64), 139–165. https://doi.org/10.19053/01203053.v36.n64.2017.5419

Ortega, G. (2009). Agroecología vs. Agricultura Convencional. *Base Investigaciones Sociales*, 24. http://www.baseis.org.py/wp-content/uploads/2014/03/1395155082.pdf

Pavan, M. A., Bingham, F. T., & Pratt, P. F. (1982). Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO3, MgCO3 and CaSO4·2H2O. Soil Science Society of America Journal, 46(6), 1201–1207. https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600060017x

Poncet, V., Asten, P. Van, Millet, C. P., Vaast, P., & Allinne, C. (2024). Which diversification trajectories make coffee farming more sustainable ? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *68*(February), 101432. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2024.101432

Pulleman, M. M., Rahn, E., & Valle, J. F. (2023). *Regenerative agriculture for low-carbon and resilient coffee farms: A practical guidebook. Version 1.0*. https://cgspace.cgiar.org/items/b5862bfa-9799-4167-b1cf-76f0f4ea1e18

Rahn, E., Pulleman, M., Moinet, G. Y. K., Cardinael, R., Brus, D., Hauser, S., Six, J., Valle Pilia, J. F., Nieto, E., & Otero, I. (2026). *Knowledge gaps, research strategies and robust assessment methods for soil organic carbon storage in coffee production systems* [Preprint]. EGUsphere. https://doi.org/10.5194/egusphere-2026-1479

Rai, P., Godfrey, S. S., Storer, C. E., Behrendt, K., Ip, R. H. L., & Nordblom, T. L. (2025). Unravelling regenerative agriculture's sustainability benefits and outcomes: A scoping review. *Sustainability, 17*(3), Artículo 981. https://doi.org/10.3390/su17030981

Rueda Rodríguez, H. F., Perafán Cabrera, A., & Hernández Rodríguez, A. (2024). Strategic analysis and sustainability prospects of coffee farming in Trujillo, Valle del Cauca, Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia*, *29*(11 Spl), 411–425. https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.e11.24

Sadeghian, S., & Lince-Salazar, L. A. (2024). Diagnóstico de la acidez del suelo en la zona cafetera de Colombia. *Revista Cenicafé, 75*(2), e75204. https://doi.org/10.38141/10778/75204

Samka, F. K., Ren, Y., & Mekie, T. M. (2026). The effects of climate change mitigation and adaptation practices on food security in sub-Saharan Africa. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, *18*(1), 390–415. https://doi.org/10.1108/IJCCSM-07-2025-0218

Sarmento dos Muchangos, L., Mejía, C., Gupta, R., Sadreghazi, S., & Kajikawa, Y. (2025). A systematic review of life cycle assessment and environmental footprint for the global coffee value chain. *Environmental Impact Assessment Review, 111*, 107740. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107740

Schreefel, L., Schulte, R. P. O., de Boer, I. J. M., Schrijver, A. P., & van Zanten, H. H. E. (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, *26*(June), 100404. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404

She, Z., Chen, Z., & Sun, L. (2026). Impact of agricultural insurance on farmers' adoption of green production technologies: evidence from vegetable growers in China. *Scientific Reports*, *16*(1), 1–14. https://doi.org/10.1038/s41598-026-44981-9

Teixeira, H. M., Bianchi, F. J. J. A., Cardoso, I. M., Tittonell, P., & Peña-Claros, M. (2021). Impact of agroecological management on plant diversity and soil-based ecosystem services in pasture and coffee systems in the Atlantic forest of Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 305*, Artículo 107171. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107171

Turbay, S., Nates, B., Jaramillo, F., Vélez, J. J., & Ocampo, O. L. (2014). Adaptation to climate variability among the coffee farmers of the watersheds of the rivers Porce and Chinchiná, Colombia. Investigaciones Geograficas, 85(85), 95–112. https://doi.org/10.14350/rig.42298

Van Kollenburg, G., & van Weert, P. (2024). Coffee, climate, community: A holistic examination of specialty coffee supply chains in Rwanda. Sustainable Development, 32(6), 5948–5965. https://doi.org/10.1002/sd.3000

Van, L. N., Quang, D. N., Herrmann, L., Enez, A., Brau, L., Van, C. N., Katz, M., & Lesueur, D. (2025). Restoring soil health from long-term intensive Robusta coffee cultivation in Vietnam: A review. Agronomy for Sustainable Development, 45(3), Artículo 31. https://doi.org/10.1007/s13593-025-01023-4

Velasco Palacios, H., Sexsmith, K., Matheu, M., & Reiche Gonzalez, A. (2023). Gendered adaptations to climate change in the Honduran coffee sector. *Women's Studies International Forum, 98*, 102720. https://doi.org/10.1016/j.wsif.2023.102720.

Virginio, E., Cervantes, M., & Garita, C. (2025). *Guía práctica de caficultura sostenible y regenerativa*. 118. https://transformainnova.org/biblioteca/informes/guia-practica-de-caficultura-sostenible-y-regenerativa

Voisin, R., Horwitz, P., Godrich, S., Sambell, R., Cullerton, K., & Devine, A. (2024). What goes in and what comes out: A scoping review of regenerative agricultural practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems, 48*(1), 124–158. https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2270441

Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development, 40*(6), Artículo 40. https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z

Wright, D. R., Bekessy, S. A., Lentini, P. E., Garrard, G. E., Gordon, A., Rodewald, A. D., Bennett, R. E., & Selinske, M. J. (2024). Sustainable coffee: A review of the diverse initiatives and governance dimensions of global coffee supply chains. *Ambio*, *53*(7), 984–1001. https://doi.org/10.1007/s13280-024-02003-w

Wright, D. R., Gordon, A., Bennett, R. E., Selinske, M. J., Lentini, P. E., Garrard, G. E., Rodewald, A. D., & Bekessy, S. A. (2024). *Biodiverse coffee plantations provide co-benefits without.pdf*.



Objetivo: Recopilar información sobre las prácticas de manejo agrícola, condiciones socioeconómicas y perspectivas de los productores de café.

Anexo 1. Formato Encuesta

Nombre

_____

Edad

- ☐ Entre 18-28
- ☐ Entre 29-44
- ☐ Entre 45-59
- ☐ Entre 60 años o más

Nivel de Escolaridad

Marca solo un óvalo.

- ☐ Primaria
- ☐ Secundaria
- ☐ Técnico
- ☐ Universitario
- ☐ Especializado (especialización, maestría, doctorado)
- ☐ Ninguno

Según su la pregunta anterior, su estado de escolaridad es

Marca solo un óvalo

- ☐ Culminado
- ☐ En curso
- ☐ No culminado

¿Cuántos años lleva en la caficultura

- ☐ 0-5 años
- ☐ 6-15 años
- ☐ 16-25 años

☐ 26 años o más

¿Usted es propietario del predio?

☐ Si

☐ No

¿Qué tal frecuente es el apoyo en las labores específicas en el cafetal por parte de las siguientes personas?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Pareja/Conyugue	☐	☐	☐	☐	☐
Hijos	☐	☐	☐	☐	☐
Encargado	☐	☐	☐	☐	☐
Trabajadores	☐	☐	☐	☐	☐

Área aproximada de la finca (hectáreas)

☐ 0 a 7 hectáreas

☐ 7 a 28 hectáreas

☐ 28 a 140 hectáreas

☐ Mayor a 140 hectáreas

Área sembrada en café (hectáreas)

☐ 2,1 hectáreas

☐ 2,11 a 6,89 hectáreas

☐ Más de 7 hectáreas

¿Qué variedades de café cultiva principalmente?

- ☐ Caturra
- ☐ Castillo
- ☐ Colombia
- ☐ Bourbon
- ☐ Tabi
- ☐ Arábica
- ☐ Típica
- ☐ Maragogipe
- ☐ Otro_____

Valore la presencia de diferentes clases de café en sus lotes

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Variedad única (Todo el predio tiene es la misma clase de café)	☐	☐	☐	☐	☐
Mezcla variedades (varios en el mismo lote)	☐	☐	☐	☐	☐
Lotes separados	☐	☐	☐	☐	☐

¿Cuál es la edad promedio de sus cafetales?

- ☐ 0-4 años
- ☐ 5 - 7 años
- ☐ 8 años o más

¿Indique con qué frecuencia realiza las siguientes actividades previos a la etapa de pre-siembra?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Construcción del germinador	☐	☐	☐	☐	☐
Construcción del almácigo	☐	☐	☐	☐	☐
Preparación del terreno y trazado	☐	☐	☐	☐	☐
Fertilización inicial	☐	☐	☐	☐	☐
Control de arvenses (maleza)	☐	☐	☐	☐	☐
Manejo de plagas y enfermedades	☐	☐	☐	☐	☐
Quema de arvenses	☐	☐	☐	☐	☐

Para los siguientes cultivos indique ¿Qué tan presente se encuentran en sus cafetales?

Opción	No lo tiene	Muy poca presencia	Presencia Moderada	Mucha presencia	Principal asociado
Plátano	☐	☐	☐	☐	☐
Cítricos	☐	☐	☐	☐	☐
Aguacate	☐	☐	☐	☐	☐
Guamo (sombreado)	☐	☐	☐	☐	☐
Maderables	☐	☐	☐	☐	☐

Para cada opción escoja el que más usted comercializa en su finca

Opción	No lo comercializa	Contribución mínima	contribución Moderada	Alta contribución	Uso doméstico
Plátano	☐	☐	☐	☐	☐

Cítricos	☐	☐	☐	☐	☐
Aguacate	☐	☐	☐	☐	☐
Cacao	☐	☐	☐	☐	☐
Maderables	☐	☐	☐	☐	☐
Ganadería	☐	☐	☐	☐	☐

¿Con qué frecuencia usa los siguientes sistemas de riego?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Goteo	☐	☐	☐	☐	☐
Subterráneo	☐	☐	☐	☐	☐
Gravedad o superficial	☐	☐	☐	☐	☐
Aspersión	☐	☐	☐	☐	☐
Microaspersión	☐	☐	☐	☐	☐
Localizado	☐	☐	☐	☐	☐

¿Cuál de las siguientes fuentes de agua, usa principalmente para riego en su cultivo?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Agua superficial	☐	☐	☐	☐	☐
Agua Subterránea	☐	☐	☐	☐	☐
Agua Lluvia	☐	☐	☐	☐	☐
Recirculación	☐	☐	☐	☐	☐

¿Qué tanto usa los siguientes arreglos de siembra en los lotes de su finca?

Opción	No lo usa	Usa en pocos lotes	Usa en la mitad de su finca	Lo usa en la mayoría de los lotes	Único arreglo en su finca
Hileras o surcos	☐	☐	☐	☐	☐
Curvas de nivel	☐	☐	☐	☐	☐
En tresbolillo	☐	☐	☐	☐	☐
Asociación con otros cultivos)	☐	☐	☐	☐	☐

¿Indique el nivel de sol que predomina en sus predios?

Opción	Ninguna (sol directo)	Sobra ligera	Sombra moderada	Sombra densa (mucha cobertura)	Sombra total
Nivel de sombra	☐	☐	☐	☐	☐

¿para cada método, indique la frecuencia de uso para control de arvenses (maleza) en su finca?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Herbicida generalizado (en todo el lote)	☐	☐	☐	☐	☐
Herbicida localizado	☐	☐	☐	☐	☐
Control mecánico	☐	☐	☐	☐	☐
Control Manual (machete o azadón)	☐	☐	☐	☐	☐

Coberturas nobles (malezas bajas)	☐	☐	☐	☐	☐

Para los siguientes herbicidas ¿Con qué frecuencia aplica en sus lotes?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Glifosato	☐	☐	☐	☐	☐
Paraquat (Gramoxone)	☐	☐	☐	☐	☐
2,4 D/ Hierbamina	☐	☐	☐	☐	☐
Herbicidas selectivos	☐	☐	☐	☐	☐
Mezclas físicas (combina varios)	☐	☐	☐	☐	☐

¿Cuál es la frecuencia de su aplicación?

Opción	anual	semestral	trimestral	Cuatrimestral	Mas de cuatro veces al año
Aplicación en suelo	☐	☐	☐	☐	☐
Aplicación foliar	☐	☐	☐	☐	☐

Para cada tipo de fertilizante, ¿identifique cuál es el más usado por usted en la nutrición de su predio?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre

Uso abono orgánico artesanal	☐	☐	☐	☐	☐
Uso de abono orgánico comercial	☐	☐	☐	☐	☐
Usa abono no orgánico (triple 8, Urea)	☐	☐	☐	☐	☐
Usa Abono líquido	☐	☐	☐	☐	☐

¿Si utiliza abono orgánico indique la frecuencia de su uso?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Compost de pulpa de café	☐	☐	☐	☐	☐
Lombricultura	☐	☐	☐	☐	☐
Estiércol de animales	☐	☐	☐	☐	☐
Cascara sin ningún proceso	☐	☐	☐	☐	☐
Bioles o biofertilizantes (fermentados)	☐	☐	☐	☐	☐

Indique con qué frecuencia realiza análisis de suelos para planificar la nutrición de su cafetal

Opción	Nunca	Cada 5 años	Cada 2 o 3 años	Anual	Antes de cada fertilización
Análisis del suelo	☐	☐	☐	☐	☐

Indique la frecuencia de las siguientes actividades de gestión agrícola y agronómica aplicadas en su cultivo

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Bioabonos/bioinsumos	☐	☐	☐	☐	☐
Abonos verdes	☐	☐	☐	☐	☐
Conservación de suelos (curvas de nivel o barreras vivas)	☐	☐	☐	☐	☐
Sistemas agroforestales (árboles y sombra)	☐	☐	☐	☐	☐
Biofábricas (preparación de bioinsumos)	☐	☐	☐	☐	☐
Reutilización de residuos del café (pulpa, mucílago)	☐	☐	☐	☐	☐
Labranza mecanizada	☐	☐	☐	☐	☐
Labranza manual	☐	☐	☐	☐	☐
Rotación o diversificación de cultivos	☐	☐	☐	☐	☐

Indique el área total de su finca destinada a la conservación de bosque y vegetación nativa

Opción	No tiene	Menos del 10%	Entre el 10 y 30%	Entre 30 y 50%	Mas del 50%
Cobertura de bosque nativo	☐	☐	☐	☐	☐

Indique el nivel de tratamiento que aplica a aguas mieles resultantes del beneficio de café

Opción	Ninguno	Pozo séptico	Filtros o trampas	Sistemas modulares	Reuso
Tratamiento de aguas mieles	☐	☐	☐	☐	☐

¿Durante los últimos 5 años ha tenido presencia de plagas que requieran intervención?

Opción	Nunca	Rara vez (ante clima extremo)	A veces (una vez al año)	Frecuentemente (en cada cosecha)	Siempre (Problema constante)
Frecuencia	☐	☐	☐	☐	☐

Indique que plagas ha tenido presencia en su predio

_____

En los últimos 5 años ¿Qué tan complejo han sido los daños causados por la presencia de plagas?

Opción	Ninguno	Leve (daños mínimos)	Moderado (afectó algunos lotes)	Alto (pérdidas económicas)	Crítico (pérdida de cosecha)
Nivel de afectación	☐	☐	☐	☐	☐

¿Cuál es la participación de los jóvenes de su familia en la actividad cafetera?

Opción	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

Las nuevas generaciones están interesadas en continuar cultivando café	☐	☐	☐	☐	☐
Las nuevas generaciones proponen ideas o tecnología para mejorar cultivos	☐	☐	☐	☐	☐

¿Ha tenido algún tipo de afectación en su predio causado por los predios aledaños?

Opción	Nunca	Rara vez	A veces	frecuentemente	Siempre
Abandono	☐	☐	☐	☐	☐
Dispersión de esporas	☐	☐	☐	☐	☐
Contaminación por aguas mieles	☐	☐	☐	☐	☐
Plagas	☐	☐	☐	☐	☐
Arrastre de sedimentos	☐	☐	☐	☐	☐

Instrucciones: Esta sección busca conocer su percepción sobre los riesgos que afectan la caficultura, así como su interés y disposición para implementar prácticas agrícolas sostenibles y regenerativas en su finca.

Pregunta	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
La variabilidad del clima (lluvias y	☐	☐	☐	☐	☐

sequías) ha afectado negativamente mi producción de café en los últimos cinco años.					
La volatilidad de los precios del café es el principal riesgo para la rentabilidad de su finca.	☐	☐	☐	☐	☐
vConsidero que la salud del suelo es fundamental para tener una buena cosecha.	☐	☐	☐	☐	☐
Estoy interesado(a) en aprender a implementar nuevas prácticas agrícolas más sostenibles.	☐	☐	☐	☐	☐
La principal barrera para adoptar nuevas prácticas es la falta de recursos económicos	☐	☐	☐	☐	☐
La falta de conocimiento técnico es una barrera importante para cambiar mis prácticas actuales	☐	☐	☐	☒	☐
La falta de mano de obra disponible es un problema para implementar nuevas prácticas	☐	☐	☐	☐	☐

Confidencialidad y protección de datos: De manera voluntaria, explicita, informada e inequívoca, autoriza a la Universidad EAN para tratar mis datos personales, de acuerdo con lo dispuesto en los artículos 15 y 20 de la Constitución Política; de los artículos 17 literal k) y 18 literal f) de la Ley Estatutaria 1581 de 2012 (por la cual se dictan disposiciones generales para la Protección de Datos Personales) (en adelante LEPD); y del artículo 13 del Decreto 1377 de 2013 (Hoy compilado en el Decreto 1074 del 2015), por el cual se reglamenta parcialmente la Ley anterior. Así mismo, en lo referente a datos de carácter financiero y crediticio estará sujeta a la Ley 1266 de 2008 y demás disposiciones legales referentes al tema

Para mayor información acerca del manejo de tus datos personales, puedes revisar nuestro aviso de privacidad y nuestra política de tratamientos de datos personales: https://universidadean.edu.co/sites/default/files/institucion/acuerdos/politica-tratamiento-de-dato…

De acuerdo con la Ley Estatutaria 1581 de 2012 de Protección de Datos Personales, al Decreto 1377 de 2013, y a las demás normas concordantes; **AUTORIZO** el uso de mis datos biométricos y en particular de mi imagen, retrato y nombre, para que las imágenes enviadas por mí a LA **UNIVERSIDAD EAN** o las que sean tomadas en video y/o fotografía por esta institución y/o sus contratistas, representantes y/o aliados en virtud de las actividades propias de RUBA, para que sean incorporados en una base de datos de responsabilidad de **LA UNIVERSIDAD EAN**, así como también, puedan ser utilizados para las publicaciones en las cuentas oficiales de la universidad, en redes sociales, tales como, pero sin limitarse a : TikTok®, Facebook®, Twitter®, Instagram®, LinkedIn®, entre otras, así como también, sus sus canales oficiales. Lo anterior, con la finalidad de realizar publicidad y difusión de **LA UNIVERSIDAD EAN** y del proyecto RUBA a través de sus redes sociales y canales oficiales.

Asimismo, autorizo de forma voluntaria a **LA UNIVERSIDAD EAN**, para que utilice mis derechos de imagen, derechos de autor y/o derechos conexos que ostente sobre las fotografías y cualquier tipo de producción audiovisual (videos, cortos, etc.) que realice **LA UNIVERSIDAD EAN**, sus contratistas, aliados y/o representante; en virtud del presente documento y de las finalidades previamente expuestas.

Por tanto, la utilización por parte de **LA UNIVERSIDAD EAN** de mi nombre e imagen, así como de cualquier obra, creación, interpretación o ejecución de la cual yo sea titular relacionada con mi participación en el proyecto RUBA, la efectuará conforme a los siguientes actos, incluyendo entre otros, pero sin limitarse: 1. La divulgación a través de su reproducción bajo cualquier manera o forma, permanente o temporal, mediante cualquier procedimiento, incluyendo el almacenamiento y fijación en forma electrónica, en medios impresos, digitales, televisivos y radiofónicos; 2. La comunicación, emisión y divulgación pública, a través de cual

quier tipo de medio análogo, digital u otro entorno tecnológico, incluyendo la puesta a disposición del público; 3. La traducción, adaptación u otra forma de transformación; 4. La transmisión, retransmisión; 5. La interpretación pública, radiodifusión, arreglo, mercadeo, paródico.

En consecuencia, manifiesto que esta autorización se otorga a título gratuito, por lo cual entiendo que no recibiré ni solicitaré ningún tipo de remuneración monetaria o por especie, ni bonificación extra de ninguna naturaleza. Además, reconozco que no tengo ninguna expectativa sobre el tipo de

campaña publicitaria que pueda realizar **LA UNIVERSIDAD EAN** o quien esta designe, ni su regularidad; y que renuncio a cualquier derecho patrimonial que se pueda generar por el uso de este material audiovisual. Asimismo, la vigencia de esta autorización será a perpetuidad.

Los datos de la presente encuesta serán utilizados netamente para la elaboración del documento requisito para el grado de las estudiantes Carmen Luisa Reyes y Valentina Criado Fernández de la Maestría en Gerencia de la Sostenibilidad y Transformación Regenerativa de la universidad EAN.

Acepta

☐ Si

☐ No

Anexo 2. Respuestas encuesta:

Apoyo en las Labores

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Pareja / Cónyuge	3 (27.3%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	4 (36.4%)
Hijos	5 (45.5%)	2 (18.2%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)
Encargado	5 (45.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	5 (45.5%)
Trabajadores	0 (0.0%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	6 (54.5%)

Presencia y manejo de variedades de café

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Variedad única (Todo el predio)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	4 (36.4%)
Mezcla de variedades en el mismo lote	8 (72.7%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)
Lotes separados por variedad	3 (27.3%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	5 (45.5%)

Actividades de Pre-siembra

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Construcción del germinador	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	5 (45.5%)
Construcción del almácigo	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	5 (45.5%)
Preparación del terreno y trazado	1 (9.1%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	6 (54.5%)
Fertilización inicial	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	8 (72.7%)
Control de arvenses (maleza)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	4 (36.4%)	7 (63.6%)
Manejo de plagas y enfermedades	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	7 (63.6%)
Quema de arvenses	6 (54.5%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)

Presencia de otros cultivos

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Plátano	0 (0.0%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	6 (54.5%)
Cítricos	0 (0.0%)	4 (36.4%)	4 (36.4%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)
Aguacate	4 (36.4%)	2 (18.2%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	2 (18.2%)
Guamo (sombreado)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	7 (63.6%)
Maderables	2 (18.2%)	4 (36.4%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)

Control de Arvenses (malezas)

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Herbicida generalizado (todo el lote)	6 (54.5%)	0 (0.0%)	4 (36.4%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)
Herbicida localizado	6 (54.5%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)
Control mecánico	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	4 (36.4%)	3 (27.3%)
Control manual (machete/azadón)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	4 (36.4%)	4 (36.4%)
Coberturas nobles (malezas bajas)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	4 (36.4%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)

Tipo de Fertilizantes

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Abono orgánico artesanal	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	4 (36.4%)	3 (27.3%)
Abono orgánico comercial	4 (36.4%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)
Abono no orgánico (Triple 8, Urea)	4 (36.4%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)
Abono líquido	5 (45.5%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)

Fuentes de Agua para Riego

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre

Agua superficial	5 (45.5%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)
Agua subterránea	11 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Agua lluvia	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	6 (54.5%)
Recirculación	9 (81.8%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

Gestión Agrícola y Agronómica

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Bio abonos / bio insumos	4 (36.4%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)
Abonos verdes	5 (45.5%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)
Conservación de suelos	2 (18.2%)	2 (18.2%)	3 (27.3%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)
Sistemas agroforestales	1 (9.1%)	2 (18.2%)	0 (0.0%)	4 (36.4%)	4 (36.4%)
Biofábricas	4 (36.4%)	1 (9.1%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)
Reutilización de residuos (pulpa/mucílago)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	3 (27.3%)	3 (27.3%)
Labranza mecanizada	9 (81.8%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Labranza manual	2 (18.2%)	1 (9.1%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	5 (45.5%)
Rotación de cultivos	4 (36.4%)	4 (36.4%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

Afectación por Predios Aledaños

Ítem / Subactividad	Nunca	Rara vez	A veces	Frecuentemente	Siempre
Abandono	7 (63.6%)	3 (27.3%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)
Dispersión de esporas	6 (54.5%)	3 (27.3%)	1 (9.1%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)

Contaminación por aguas mieles	10 (90.9%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Plagas	5 (45.5%)	5 (45.5%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)
Arrastre de sedimentos	5 (45.5%)	4 (36.4%)	1 (9.1%)	0 (0.0%)	1 (9.1%)

Anexo 3. Validación de la Encuesta

Resumen comparativo: validación de la encuesta (Esta tabla consolida y compara los métodos de validación aplicados en el cuestionario)

Aspecto	Alfa de Cronbach	Simulación Monte Carlo (Bootstrap)
Objetivo	Evaluar la confiabilidad y consistencia interna del cuestionario, determinando si los ítems miden de forma coherente un mismo constructo.	Evaluar la incertidumbre y estabilidad de los resultados mediante remuestreo aleatorio, estimando la variabilidad de los estadísticos obtenidos.
Fundamento estadístico	Basado en la correlación promedio entre los ítems y la varianza total del instrumento.	Basado en simulaciones repetidas que generan múltiples muestras aleatorias para aproximar la distribución de un estadístico.
Fórmula	$\alpha = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_T^2}\right)$	$\bar{X}^* = \frac{1}{B}\sum_{b=1}^{B} X_b$.
Donde	• k: Número de ítems de la encuesta ($k = 86$). • σ_i^2: Varianza de cada ítem individual. • σ_T^2: Varianza total de la puntuación del cuestionario.	(X_b)= estadístico obtenido en cada simulación; (B)= número de iteraciones (2.000 en este análisis).
Tipo de análisis	Fiabilidad del instrumento.	Análisis probabilístico y de incertidumbre.
Número de observaciones	11 productores.	11 productores (remuestreados 2.000 veces).
Número de variables	86 ítems tipo Likert.	86 ítems tipo Likert.
Resultado obtenido	**α = 0,845**	**Media = 2,51**
Intervalo de confianza	No aplica directamente.	**IC95% = 2,31 – 2,70**

Interpretación del resultado	El instrumento presenta una **consistencia interna alta**, indicando que los ítems mantienen coherencia entre sí y miden adecuadamente el fenómeno de estudio.	La simulación evidencia una adecuada estabilidad de la media estimada, aunque el tamaño muestral aún es reducido.
Ventajas	Fácil interpretación; ampliamente aceptado; recomendado para validar escalas Likert.	Permite cuantificar incertidumbre sin requerir supuestos estrictos de normalidad; muy útil en estudios ambientales y agrícolas.
Limitaciones	No garantiza unidimensionalidad; puede aumentar artificialmente cuando existen muchos ítems.	Depende de la representatividad de la muestra inicial; con muestras pequeñas la precisión disminuye.
Aplicación en este estudio	Verificar la confiabilidad del instrumento sobre prácticas agrícolas, sociales, ambientales y regenerativas en caficultura.	Estimar la robustez de los indicadores obtenidos y evaluar la estabilidad de las respuestas mediante remuestreo.
Conclusión	El cuestionario presenta **alta confiabilidad** para continuar con análisis multivariados.	Los resultados muestran una estabilidad aceptable para un estudio exploratorio, aunque es recomendable ampliar el tamaño muestral.

Nota. Muestra $n = 11$ caficultores. Escala de medición de 86 ítems evaluados

Estadísticos generales de Escala y confiabilidad (Alpha de Cronbach)

Parámetro Estadístico	Símbolo / Notación	Valor Obtenido
Número de Ítems Evaluados	k	86
Suma de Varianzas de los Ítems	$\sum \sigma_i^2$	140.76
Varianza Total de la Escala	σ_T^2	853.67
Coeficiente Alfa de Cronbach	α	0.845

Criterio de Interpretación (Regla de George & Mallery)

- $\alpha \geq 0.90$: Excelente
- $0.80 \leq \alpha < 0.90$: Bueno / Alto *(Ubicación actual del estudio: 0.845)*
- $0.70 \leq \alpha < 0.80$: Aceptable
- $0.60 \leq \alpha < 0.70$: Cuestionable
- $\alpha < 0.60$: Inaceptable

Análisis de Estabilidad e incertidumbre (Montecarlo)

Para reportar la simulación Montecarlo basada en las 1000 iteraciones / reproyecciones de las respuestas

Estadísticos Descriptivos de la Simulación ($B = 1.000$)

Parámetro Estadístico	Valor Estimado
Muestras Simuladas (B)	1.000
Media Global Simulación	215.34 puntos *(equivale a* ≈ 2.51 *por ítem)*
Desviación Estándar (σ)	8.69
Mínimo Obtenido	187.18
Percentil 25% (Q_1)	209.17
Mediana (Percentil 50%)	215.24
Percentil 75% (Q_3)	221.55
Máximo Obtenido	247.12
Intervalo de Confianza (IC 95%)	[198.85 – 231.48]

Anexo suplementario 4. Instrumento de aplicación