



**Aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón hacia una agricultura regenerativa, para ser implementado por la empresa Louis Dreyfus Company**

Diana Cardozo Hernández

Paola Zarate Gómez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Bogotá, Colombia

30/10/2024

**Aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón hacia una agricultura regenerativa, para ser implementado por la empresa Louis Dreyfus Company**

Diana Cardozo Hernández

Paola Zarate Gómez

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

Magister en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Director:

Julián Felipe Segura Contreras

Modalidad:

Trabajo dirigido

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible

Bogotá, Colombia

27/11/2024

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

Julián Felipe Segura Contreras

San Gil, 30/10/2024

## **Dedicatorias**

A mis hijas, por ser mi mayor motivación y fuente inagotable de inspiración, cada paso que doy es por y para ustedes. A mi compañero de vida, por su amor y apoyo incondicional, sin el cual este camino habría sido más difícil de transitar.

### **Diana Cardozo Hernández**

A Daniel Munévar, cuya mirada crítica y aporte técnico enriquecieron este trabajo, mil gracias por ser esa persona invaluable. A mi madre, lo más grande y valioso que tengo, tu amor incondicional ha sido mi mayor impulso para dar lo mejor de mí en cada momento. A quienes, aunque ya no están físicamente, siguen viviendo en mi corazón y a mi hijo, mi mayor inspiración para seguir adelante cada día.

### **Paola Zarate Gómez**

## **Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los y las docentes encargados de este proceso de aprendizaje en la Universidad EAN que con su guía y acompañamiento, nos brindaron el apoyo necesario para alcanzar este logro académico. A los productores cafeteros, nuestro más profundo reconocimiento por ser parte esencial de este proceso de mejora. Su esfuerzo constante y su trabajo incansable han sido fuente de inspiración y esperamos que este proyecto contribuya a generar beneficios y oportunidades que valoren y fortalezcan su trabajo, reconociendo la importancia de su trabajo en la sostenibilidad y en el desarrollo del sector cafetero, Asimismo, agradecemos a LDC por su compromiso constante en la búsqueda de soluciones que contribuyan a la construcción de un futuro más próspero y sostenible para el sector cafetero.

## **Resumen**

Este proyecto de grado analiza el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón y su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa. La investigación busca identificar oportunidades sostenibles en la gestión de los residuos generados por la poda de árboles de sombra y plantas de café, con el propósito de mejorar la fertilidad del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). El estudio se desarrolló en 25 fincas cafeteras del municipio de Confines, Santander, donde se evaluaron las prácticas tradicionales que generan mayores emisiones de GEI y afectan la productividad del cultivo. Mediante entrevistas y herramientas de análisis, se determinó que la transformación de la biomasa residual en biocarbón presenta beneficios significativos, como la retención de nutrientes en el suelo, el aumento de los rendimientos y la resiliencia ante sequías y la reducción de la dependencia de fertilizantes sintéticos.

La investigación resalta el potencial del biocarbón como estrategia clave para la transición hacia la agricultura regenerativa, favoreciendo la salud del suelo, la captura de carbono y la competitividad del café colombiano en mercados sostenibles. Se concluye que la implementación de esta práctica también contribuye a la reducción del impacto ambiental de la caficultura, sino que también representa una oportunidad para mejorar la productividad y la sostenibilidad del sector.

**Palabras claves:** biomasa residual, biocarbón, agricultura regenerativa, finca cafetera, emisiones de carbono, GEI, sostenibilidad.

**Abstract**

This thesis project analyzes the utilization of residual biomass on coffee farms for biochar production and its impact on the transition toward regenerative agriculture. The research aims to identify sustainable opportunities for managing waste generated from the pruning of shade trees and coffee plants to improve soil fertility and reduce greenhouse gas (GHG) emissions. The study was conducted on 25 coffee farms in the municipality of Confines, Santander, where traditional practices that generate higher GHG emissions and affect crop productivity were evaluated. Through interviews and analytical tools, the research determined that converting residual biomass into biochar offers significant benefits, such as nutrient retention in the soil, increased yields, improved drought resilience, and reduced dependence on synthetic fertilizers.

Additionally, the study highlights the potential of biochar as a key strategy for transitioning to regenerative agriculture, promoting soil health, carbon sequestration, and the competitiveness of Colombian coffee in sustainable markets. The findings conclude that implementing this practice not only reduces the environmental impact of coffee farming but also represents an opportunity to enhance productivity and the sector's overall sustainability.

**Keywords:** residual biomass, biochar, regenerative agriculture, coffee farm, carbon emissions, GHG, sustainability.

## Contenido

<b>1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>20</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>22</b>
	<i>2.1. Objetivo general.....</i>	<i>22</i>
	<i>2.2. Objetivos específicos .....</i>	<i>22</i>
<b>3.</b>	<b>Justificación.....</b>	<b>23</b>
<b>4.</b>	<b>Marco Institucional .....</b>	<b>24</b>
	<i>4.1 Presentación General de la Empresa.....</i>	<i>24</i>
	<i>4.2. Referentes Estratégicos.....</i>	<i>25</i>
	<i>4.2.1. Misión.....</i>	<i>25</i>
	<i>4.2.2. Visión.....</i>	<i>25</i>
	<i>4.2.3. Valores .....</i>	<i>26</i>
	<i>4.3. Estructura Organizacional.....</i>	<i>26</i>
	<i>4.4. Productos o servicios ofertados.....</i>	<i>27</i>
	<i>4.5. Análisis del Sector.....</i>	<i>28</i>
<b>5.</b>	<b>Marco de Referencia .....</b>	<b>29</b>
	<i>5.1 Principios Fundamentales de la Agricultura Regenerativa .....</i>	<i>29</i>
	<i>5.1.1 Salud del Suelo .....</i>	<i>30</i>
	<i>5.1.2 Diversificación de Cultivos.....</i>	<i>30</i>
	<i>5.1.3 Integración actividad pecuaria.....</i>	<i>30</i>

5.1.4 Reducción del Uso de Insumos Sintéticos .....	30
5.2 Beneficios de la Agricultura Regenerativa .....	31
5.2.1 Mejora del Suelo .....	31
5.2.2 Productividad y Rentabilidad .....	31
5.2.3 Biodiversidad.....	31
5.2.4 Calidad del Agua .....	31
5.2.5 Resiliencia Climática.....	32
5.3 Contexto de la caficultura de Santander .....	32
5.4 Principales variables de impacto ambiental en finca cafetera.....	36
5.4.1 Buenas Prácticas Agrícolas.....	36
5.4.2. Cero Deforestación.....	37
5.4.3. Gestión Sostenible del Recurso Hídrico y subproductos del café.....	37
5.4.4. Incremento de Rendimiento y Productividad en el cultivo del café.....	38
5.5 Biocarbón como Alternativa de Descarbonización.....	39
5.6 Huella de Carbono y Huella Hídrica en el Cultivo de Café .....	43
<b>6. Diseño metodológico.....</b>	<b>44</b>
6.1 Diagnóstico organizacional: análisis externo .....	48
6.2 Diagnóstico organizacional: análisis interno.....	49
6.2.1 Análisis de la herramienta encuesta propia.....	50
6.3 Procesamiento de datos.....	52
<b>7. Diagnóstico Organizacional .....</b>	<b>52</b>

7.1 Diagnóstico organizacional: análisis externo .....	53
7.1.1 Análisis PESTEL .....	53
7.1.2 Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter .....	56
7.1.3 Análisis DOFA .....	59
7.2 Análisis interno.....	61
7.2.1 Evaluación de la Encuesta: Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras.....	61
7.3 Análisis herramienta Solidaridad .....	74
<b>8. Plan de Intervención.....</b>	<b>81</b>
8.1 Metodología del Plan de Intervención .....	82
8.1.1 Direccionamiento Estratégico .....	82
8.1.2 Optimización de Procesos .....	82
8.1.3 Estrategias de Implementación.....	83
8.2 Diseño Experimental .....	89
8.2.1 Variables a medir .....	92
8.2.2 Material y métodos .....	93
8.2.3 Cronograma y Análisis estadístico .....	93
<b>9. Conclusiones .....</b>	<b>99</b>
<b>10. Recomendaciones .....</b>	<b>101</b>
<b>11. Referencias.....</b>	<b>103</b>
<b>12. Anexos .....</b>	<b>110</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Listado especies de sombrío en el cultivo de café.....	33
<b>Tabla 2.</b> Beneficios del Biocarbón .....	39
<b>Tabla 3.</b> Desafíos y Oportunidades en la gestión de carbono en fincas cafeteras .....	43
<b>Tabla 4.</b> Metodología alineada a los objetivos .....	45
<b>Tabla 5.</b> Expertos en Sostenibilidad Participantes en la Validación de la Encuesta .....	50
<b>Tabla 6.</b> Análisis PESTEL para el aprovechamiento de biomasa en Finca Cafetera .....	54
<b>Tabla 7.</b> Las Cinco Fuerzas de Porter .....	57
<b>Tabla 8.</b> Análisis DOFA para la Implementación de Biocarbón en una Finca Cafetera .....	59
<b>Tabla 9.</b> Análisis Encuesta Propia .....	62
<b>Tabla 10.</b> Estimación GEI finca los eucaliptos.....	76
<b>Tabla 11.</b> GEI monitoreo Finca Los Eucaliptos .....	79
<b>Tabla 12.</b> Etapas de Implementación del Plan de Intervención en la Finca Los Eucaliptos ....	86
<b>Tabla 13.</b> Unidades experimentales .....	90
<b>Tabla 14.</b> Cronograma de las prácticas implementadas en un ciclo productivo completo del cultivo de café .....	94
<b>Tabla 15.</b> Costos estimados del plan para el aprovechamiento de la biomasa en finca cafetera mediante biocarbón .....	96

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Estructura organizacional de la estrategia Organización Sostenibilidad Colombia LCD.....	27
<b>Figura 2.</b> Finca cafetera bajo sombrío en Santander .....	32
<b>Figura 3.</b> Disposición del producto de la zoca en café .....	34
<b>Figura 4.</b> Disposición de pulpa de café .....	35
<b>Figura 5.</b> Análisis Herramienta.....	51
<b>Figura 6.</b> Promedio encuestas.....	66
<b>Figura 7.</b> Diagrama de Buenas prácticas agronómicas.....	69
<b>Figura 8.</b> Diagrama Deforestación .....	70
<b>Figura 9.</b> Diagrama Gestión deficiente del recurso hídrico y subproductos del café.....	70
<b>Figura 10.</b> Diagrama Aumento de Rendimiento del cultivo del Café .....	71
<b>Figura 11.</b> Análisis de la encuesta desde los Expertos .....	73
<b>Figura 12.</b> Tablero de control de la huella de carbono de acuerdo café bosque y clima.....	75
<b>Figura 13.</b> Emisiones totales (kg CO <sub>2</sub> e) Finca Los Eucaliptos.....	78
<b>Figura 14.</b> Esquema Plan de intervención .....	81

**Anexos**

Anexo 1. Instrumento de evaluación sobre prácticas agrícolas sostenibles y gestión ambiental en fincas cafeteras ..... 110

## 1. Introducción

Louis Dreyfus Company (LDC) es una de las principales empresas exportadoras de café colombiano a nivel mundial. Desde 2007, ha establecido presencia en regiones clave como Antioquia, el Eje Cafetero, Huila, Cauca, Tolima y Santander, donde se enfoca principalmente en la certificación de fincas cafeteras bajo estándares de sostenibilidad como Rainforest Alliance, 4C y C.A.F.E Practices. A partir del año 2024, LDC lanzará su propio sello de café especial, con un enfoque en la preservación del medio ambiente, la implementación de buenas prácticas socioeconómicas y la trazabilidad del producto. Este esfuerzo busca alinearse con las nuevas exigencias del mercado, que demandan un mayor compromiso con la sostenibilidad ambiental y la conservación de los recursos naturales. En particular, Europa, como uno de los principales destinos del café certificado por LDC, ha establecido como prioridad la estrategia Un Pacto Verde Europeo para el período 2019-2024 (European Council, 2019).

En Colombia, el café es uno de los productos más valorados en el mercado global. Sin embargo, el sector agrícola enfrenta desafíos significativos, como la resistencia al cambio en las prácticas productivas y el impacto ambiental asociado a la gestión de residuos. Según Cenicafé (2023), muchas de las prácticas tradicionales contribuyen a la degradación del suelo y la contaminación del medio ambiente, lo que dificulta la transición hacia modelos agrícolas más sostenibles. Este es uno de los mayores retos para LDC, especialmente ante los nuevos lineamientos internacionales de comercialización y las regulaciones que prohíben la deforestación, las cuales entrarán en vigor en 2025. Para cumplir con estas normativas, es fundamental identificar las

prácticas que generan mayores emisiones de CO<sub>2</sub> y promover buenas prácticas agrícolas que permitan avanzar hacia una agricultura regenerativa. Entre las estrategias clave se incluyen la protección del suelo y de las fuentes hídricas, la reducción del uso de agroquímicos y el manejo adecuado de los residuos orgánicos y subproductos.

En el municipio de Confines, Santander, el cultivo de café se desarrolla bajo sistemas de sombrío, una práctica esencial debido a las condiciones climáticas locales, que ofrecen entre 9 y 10 horas de luz solar al día. Este sombrío, compuesto principalmente por árboles forestales nativos, regula la exposición directa al sol y crea un microclima favorable para el cultivo. Sin embargo, una de las problemáticas ambientales más relevantes en la caficultura es la acumulación de residuos generados por la poda de estos árboles y de las mismas plantas de café. Su degradación natural es lenta y su eliminación mediante quemas al aire libre libera grandes cantidades de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes, aparte de representar un riesgo de incendios incontrolados (Pérez & Ramírez, 2023).

En este contexto, este estudio analiza el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón y su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa. Se estudió el caso de 25 fincas cafeteras en Confines, Santander, con el propósito de identificar las principales prácticas agrícolas que contribuyen a la emisión de GEI y evaluar el potencial del biocarbón como una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la resiliencia del cultivo y reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos.

Para este análisis, se aplicó una encuesta validada por expertos en sostenibilidad, centrada en las principales prácticas agrícolas en fincas cafeteras, incluyendo deforestación, manejo del

agua, biodiversidad y uso de subproductos. También, se utilizaron herramientas como Cool Farm Tool, que permitió estimar las emisiones de GEI y evaluar el impacto de las prácticas productivas en las fincas cafeteras. Con base en los resultados obtenidos, se diseñó una estrategia para el manejo sostenible de la biomasa residual, alineada con los principios de sostenibilidad, economía circular y agricultura regenerativa (García & López, 2023).

La pregunta de investigación que guía este estudio es ¿Cómo aprovechar la biomasa residual en fincas cafeteras para producir biocarbón y contribuir a la transición hacia una agricultura regenerativa?

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón y su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa, como diagnóstico de necesidades para la empresa Louis Dreyfus Company (LDC).

### **2.2. Objetivos específicos**

1. Identificar en la literatura los referentes teóricos y técnicos necesarios para analizar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras, su transformación en biocarbón y su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa.
2. Identificar oportunidades y limitaciones para la implementación del biocarbón a partir del diagnóstico de la gestión de la biomasa residual realizada por los caficultores.

3. Diseñar un plan de intervención para el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras, para ser implementado por LDC mediante su transformación en biocarbón

### **3. Justificación**

La sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático son retos crecientes en los mercados internacionales, los cuales exigen prácticas agrícolas responsables para garantizar la conservación de los ecosistemas y la reducción de la huella de carbono. Louis Dreyfus Company (LDC), como uno de los principales actores en la comercialización de café colombiano, enfrenta el desafío de mantenerse competitivo mientras impulsa estrategias sostenibles. Para ello, ha adoptado certificaciones como Rainforest Alliance y C.A.F.E Practices, además de desarrollar iniciativas orientadas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la protección del suelo y los recursos hídricos. (Louis Dreyfus Company, 2023).

Uno de los problemas más recurrentes en las fincas cafeteras de Santander es la gestión inadecuada de la biomasa residual, generada por las podas del cultivo y de los árboles de sombrero (Cenicafé, 2019). Cuando estos residuos no se manejan correctamente, pueden convertirse en focos de contaminación, proliferación de plagas y enfermedades, afectando la salud del suelo y el equilibrio ambiental (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2020). En este contexto, el aprovechamiento de la biomasa residual para la producción de biocarbón surge como una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad de la caficultura (Joseph et al., 2021).

La conversión de biomasa en biocarbón mediante pirólisis, un proceso de quema controlada en ausencia de oxígeno, permite transformar los residuos en un material de alto valor agrícola. Este producto mejora la fertilidad del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes y contribuye a la restauración de suelos degradados (Lehmann & Joseph, 2015; Woolf et al., 2010). Además, al almacenar carbono de manera estable, el biocarbón reduce la emisión de GEI, promoviendo la transición hacia una agricultura regenerativa (Lehmann et al., 2011).

Desde una perspectiva económica, el uso de biocarbón representa una oportunidad para los caficultores, ya que reduce costos de producción, disminuye la dependencia de insumos externos y abre puertas a mercados más exigentes, donde la sostenibilidad es un criterio clave (FAO, 2019). Asimismo, su capacidad para secuestrar carbono refuerza el posicionamiento del café colombiano como un producto de alta calidad y bajo impacto ambiental (IPCC, 2021). Por estas razones, este estudio busca evaluar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón, analizando su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa y su viabilidad como estrategia sostenible para LDC.

## **4. Marco Institucional**

### **4.1 Presentación General de la Empresa**

La organización LDC ha obtenido productos agrícolas por más de 170 años, como aceite de palma, algodón, cereales y oleaginosas, arroz, jugo, proteínas vegetales, azúcar, café entre otros, teniendo contacto directo con el productor, obteniendo productos desde donde se cultivan y distribuidos desde pequeños agricultores hasta organizaciones globales tanto para clientes y consumidores finales en todo el mundo. LDC cuenta con una plataforma de sostenibilidad que

confirma su compromiso con la conservación de los recursos naturales y promueve la implementación de una producción sostenible de café garantizando que el consumidor final reciba un producto que cumple con los parámetros sociales económicos y ambientales. Es así como se está implementando la norma C.A.F.E Practices y Rainforest que se centran en los componentes de calidad del producto, responsabilidad económica, responsabilidad social y liderazgo ambiental. (LDC, 2022).

## **4.2. Referentes Estratégicos**

LDC ha hecho posible la presencia de productos y sustento a una gran parte de la población mundial que cada día es más exigente, abasteciendo cada año a más de 500 millones de personas con productos además de buena calidad, cumpliendo con los parámetros de sostenibilidad y de comercialización, estableciendo así altos estándares de compromiso con la gente y el medio ambiente.

### **4.2.1. Misión**

Su Misión es seguir sumando esfuerzos para brindar sustento a una población que sigue creciendo con una demanda cada vez más amplia en empresas que cuidan al medio ambiente y con productos sostenibles (LDC, 2022).

### **4.2.2. Visión**

Su Visión es utilizar todos los conocimientos y toda la experiencia a su alcance para lograr llevar un producto al lugar correcto, en el momento correcto, siendo su propósito crear un valor justo y sustentable para todas las generaciones que así lo requieren (LDC, 2022).

### **4.2.3. Valores**

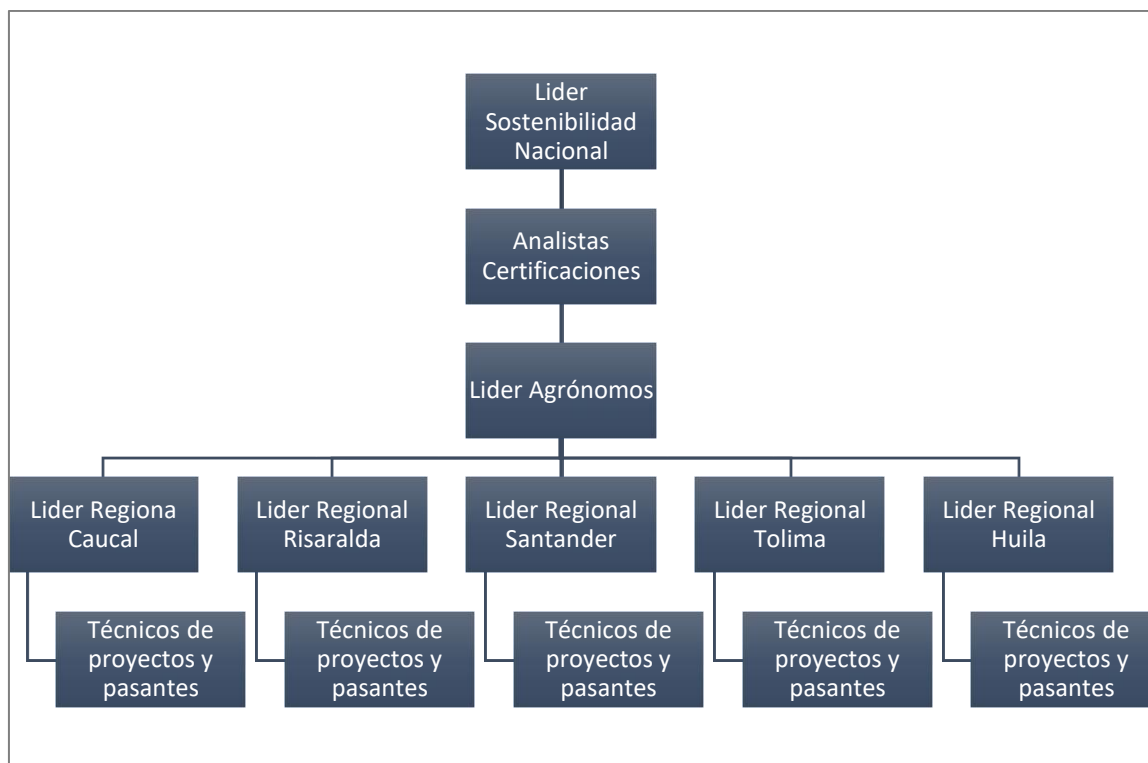
Sus Valores son la humildad, el compromiso, la diversidad y el emprendimiento, pensando siempre en crecer a largo plazo con integridad y aprendiendo directamente de los productores y de los desafíos que salen con el día a día, siendo el compromiso con todos los actores como lo son productores, clientes, socios y el respeto a los recursos naturales respetando la diversidad en todas sus formas para que las comunidades crezcan impulsando a la gente a innovar y construir (LDC, 2022).

### **4.3. Estructura Organizacional**

Sostenibilidad Colombia está liderado por un coordinador a nivel nacional junto a analistas que tienen como principal función establecer los parámetros que tiene que ver con las certificaciones de cafés especiales como lo son Rainforest y CAFE Practices (Ver Figura 1). Se encarga de construir relaciones con diferentes organizaciones para proporcionar proyectos de inversión distribuidos en las diferentes regiones del país presentes en los Departamentos específicamente en Cauca, Huila, Tolima, Risaralda, Antioquia y Santander, donde cada región está liderada por un Agrónomo que a su vez tiene a su cargo un grupo de apoyo compuesto por técnicos de proyectos y pasantes del SENA quienes son los encargados de las visitas a las fincas para dar cumplimiento a las diferentes normas de certificación y ejecutar los proyectos que están destinados principalmente a trabajo con las comunidades cafeteras, así como de entrega de insumos y materiales, todo esto articulado y con seguimiento por parte de un coordinador Nacional de Agrónomos encargado de hacer los respectivos informes de cumplimiento y de prestar apoyo cuando se le requiera en las Regiones.

**Figura 1.** Estructura organizacional de la estrategia Organización Sostenibilidad Colombia

LCD



**Fuente:** elaboración propia adaptada de la página principal de LCD

#### 4.4. Productos o servicios ofertados

LDC ha tenido una presencia permanente en Colombia desde 2007. Esta activa en las líneas de negocio del café y de los cereales y oleaginosas, y se cuenta con activos e instalaciones estratégicas, como bodegas, puntos de acopio Trilladores y lugares en puerto que añaden valor al trabajo que realiza, además es uno de los principales actores en el procesamiento y comercialización de productos agrícolas de Colombia con un sólido conocimiento del mercado nacional y una fuerte red de comercialización internacional tanto de café como de aceites vegetales. En cuanto a Café, se trabaja de la mano con caficultores de las principales zonas productivas brindando soluciones a

toda la cadena de valor y poner el café principalmente a EE.UU., Europa y Asia. LDC es también un jugador clave en la comercialización de aceites vegetales importando aceite y aceite de palma colombiano a nivel local e internacional. (LDC,2022).

#### **4.5. Análisis del Sector**

El sector cafetero colombiano constituye un pilar fundamental de la economía nacional, aportando aproximadamente el 0,8% del PIB total y más del 15% del PIB agrícola, según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Federación Nacional de Cafeteros (FNC, 2023). Además, este sector genera empleo directo para más de 730,000 familias rurales, distribuidas en 23 departamentos, consolidándose como uno de los principales generadores de ingresos y estabilidad económica. La exportación de café, que superó los 13 millones de sacos de 60 kg en 2023, posiciona a Colombia como el tercer productor de café a nivel mundial (FNC, 2023). En el contexto internacional, la sostenibilidad ha adquirido un papel central en los mercados, impulsada por normativas como el Reglamento (UE) 2023/2251 del Parlamento Europeo, conocido como la Ley de Deforestación Cero. Esta legislación exige que los productos comercializados en la Unión Europea no estén asociados con deforestación ni degradación forestal posterior al 31 de diciembre de 2020, y requiere trazabilidad completa a través de tecnologías digitales. Estas disposiciones obligan a las empresas a redefinir sus estrategias, adoptando prácticas agrícolas sostenibles para garantizar el acceso a mercados internacionales (Damasio & Hiba, 2023).

A nivel nacional, actores clave como la Federación Nacional de Cafeteros, ECOM, CARCAFE, RACAFE y SKN lideran la comercialización de café, además de fomentar la sostenibilidad a través de certificaciones como Rainforest Alliance y C.A.F.E Practices. Estas certificaciones aseguran el cumplimiento de estándares económicos, sociales y ambientales, promoviendo prácticas que

restauren ecosistemas y mitiguen el impacto ambiental. Así, estas empresas desempeñan un papel crucial en la transición hacia una caficultura más responsable (FNC, 2023; LDC, 2022). LDC ha integrado la sostenibilidad ambiental como núcleo de su estrategia. Su enfoque incluye la promoción de prácticas agrícolas regenerativas y la implementación de metodologías claras para la gestión de carbono en fincas cafeteras. Estas acciones buscan cumplir con las nuevas normativas internacionales y el aprovechamiento de oportunidades en el mercado de créditos de carbono, consolidando su competitividad en los mercados internacionales. Este esfuerzo refuerza el compromiso ambiental y agrega valor económico, alineándose con las demandas del mercado actual (LDC, 2022).

## **5. Marco de Referencia**

La caficultura en Colombia representa un papel vital en la economía global y en la sostenibilidad ambiental. Con el creciente reconocimiento de los impactos negativos del cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo, es indispensable adoptar prácticas agrícolas más sostenibles (FAO, 2019). La agricultura regenerativa surge como una alternativa prometedora para abordar estos desafíos, ofreciendo un enfoque holístico que restaura la salud del suelo, mejora la productividad y promueve la biodiversidad (Lehmann et al., 2015). Este capítulo se enfocará en los principios y beneficios de la agricultura regenerativa.

### **5.1 Principios Fundamentales de la Agricultura Regenerativa**

La agricultura regenerativa se centra en imitar los procesos naturales para restaurar los ecosistemas agrícolas. Los principios fundamentales de este enfoque incluyen:

### **5.1.1 Salud del Suelo**

El suelo es el componente más importante en la agricultura regenerativa. Mantener un suelo saludable implica minimizar las alteraciones mediante la reducción de la labranza, preservar la estructura del suelo y fomentar la actividad biológica (Pulleman, Rahn, & Valle, 2024), crucial para mantener el suelo cubierto con vegetación para evitar la erosión, regular la temperatura y la humedad, y estimular la actividad biológica (Cenicafé, 2023).

### **5.1.2 Diversificación de Cultivos**

La diversificación de cultivos, incluyendo la rotación de especies y la inclusión de leguminosas y prácticas de agroforestería, contribuye a aumentar la biodiversidad, mejorar la nutrición del suelo y controlar plagas y enfermedades (Rainforest Alliance, 2023). En Santander, esto se lleva a cabo a través del cultivo bajo sombrío, utilizando especies como plátano, banano y árboles nativos (Cenicafé, 2021).

### **5.1.3 Integración actividad pecuaria**

La integración de distintas especies pecuarias, como ganado o animales de pastoreo, promueve el ciclo de nutrientes, mejora la fertilidad del suelo y ayuda en el control de malezas (FAO, 2020). Esto contribuye a aumentar la biodiversidad dentro del sistema agrícola.

### **5.1.4 Reducción del Uso de Insumos Sintéticos**

Un principio clave de la agricultura regenerativa es minimizar el uso de insumos sintéticos, como fertilizantes químicos, pesticidas y herbicidas, para proteger la salud del suelo, el agua y los ecosistemas circundantes (Lehmann et al., 2015). Esto se logra a través del uso de alternativas orgánicas y la promoción de la actividad biológica en el suelo.

## **5.2 Beneficios de la Agricultura Regenerativa**

La agricultura regenerativa ofrece beneficios significativos que van más allá de la salud del suelo y el secuestro de carbono. Estos beneficios se pueden categorizar en los siguientes ámbitos:

### **5.2.1 Mejora del Suelo**

El manejo regenerativo aumenta la materia orgánica del suelo, mejorando su estructura, actividad biológica y capacidad de retención de agua y nutrientes (Lehmann et al., 2015). Esto se traduce en un aumento de la fertilidad del suelo y en una mayor resiliencia frente a eventos climáticos extremos.

### **5.2.2 Productividad y Rentabilidad**

Al optimizar el uso de recursos naturales y crear condiciones favorables para el crecimiento de las plantas, la agricultura regenerativa incrementa la productividad agrícola y reduce la dependencia de insumos (Bunn et al., 2019). Esto es especialmente relevante para los caficultores de Santander, quienes pueden beneficiarse al maximizar la eficiencia de sus fincas.

### **5.2.3 Biodiversidad**

Promover la biodiversidad es uno de los objetivos clave de la agricultura regenerativa. La presencia de una gran variedad de organismos, como polinizadores y controladores biológicos de plagas, contribuye al equilibrio ecológico del agroecosistema y mejora la sostenibilidad a largo plazo (IPBES, 2023).

### **5.2.4 Calidad del Agua**

La reducción de la lixiviación de nutrientes y la contaminación por agroquímicos protege las fuentes de agua y mejora la calidad del agua disponible para las comunidades locales y los ecosistemas acuáticos (Cenicafé, 2023).

### 5.2.5 Resiliencia Climática

El aumento de la capacidad del suelo para absorber carbono y la implementación de prácticas sostenibles ayudan a mitigar el cambio climático y adaptarse a eventos climáticos extremos, fortaleciendo la resiliencia de los cafetales frente a las variaciones del clima (IPCC, 2019).

### 5.3 Contexto de la caficultura de Santander

En Santander, la caficultura ha evolucionado para convertirse en la principal fuente de ingresos, ocupando tierras que anteriormente eran praderas, cañaverales y cultivos de fique (Cenicafé, 2021). El café se cultiva bajo sombrío con un 30 a 45% de cobertura (Ver figura 2), utilizando especies nativas (Ver Tabla 1) como el amarrabollo, balsa y guayacán amarillo, entre otras (Cenicafé, 2023). Este sistema de cultivo bajo sombra además de mantener la biodiversidad local, y contribuye al secuestro de carbono y a la protección del suelo frente a la erosión y la radiación solar intensa.

**Figura 2.** Finca cafetera bajo sombrío en Santander



**Fuente:** Elaboración propia, 2024.

**Tabla 1.** Listado especies de sombrío en el cultivo de café

<b>NOMBRE COMÚN</b>	<b>NOMBRE CUENTÍFICO</b>
Amarrabollo	<i>(Meriana nobilis)</i>
Balso	<i>(Ochroma pyramidale)</i>
Cámbulo	<i>(Erythrina poeppigiana)</i>
Guayacán amarillo	<i>(Handroanthus chrysanthus)</i>
Caoba	<i>(Swietenia macrophylla)</i>
Carbonero	<i>(Cojoba arborea)</i>
Cedro de altura	<i>(Cedrella spp)</i>
Cedro Negro	<i>(Juglans neotropica)</i>
Cedro Rosado	<i>(Acrocarpus fraxinifolius)</i>
Chachafruto	<i>(Erythrina edulis)</i>
Guadua	<i>(Bambusoidae)</i>
Guamos	<i>(Inga spp)</i>
Leucaena	<i>(Leucaena leucocephala)</i>
Matarratón	<i>(Gliricidia sepium)</i>
Nogal cafetero	<i>(Cordia alliodora)</i>
Roble	<i>(Quercus robur)</i>

**Fuente:** elaboración propia adaptado de Cenicafé, 2021.

Sin embargo, la gestión de los residuos generados por la poda de árboles de sombra y la renovación de cafetales representa un desafío significativo para los productores de café. La acumulación de ramas y troncos producto de estas actividades ocupa un espacio considerable en

las fincas y puede convertirse en un problema ambiental (Ver Figura 3). A pesar de ser utilizado este material como leña, la cantidad generada, especialmente en regiones como el norte del país donde las renovaciones de cafetales son frecuentes, supera la demanda doméstica y existe una percepción errónea de que los residuos de poda se descomponen rápidamente, lo que impide aprovechar su potencial como materia prima para la producción de biocarbón. Esta situación genera problemas logísticos y representa una pérdida de una valiosa fuente de biomasa que podría ser utilizada para mejorar la fertilidad del suelo y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

**Figura 3.** Disposición del producto de la zoca en café



**Fuente:** Elaboración propia.

De manera similar, los residuos como la pulpa de café generan contaminación por lixiviados (Ver Figura 4) cuando no se manejan adecuadamente. Sin embargo, en lugar de ser considerados desechos, estos residuos representan un subproducto valioso que, bajo condiciones apropiadas, puede integrarse con el biocarbón. Esto, constituye una fuente importante de nutrientes que contribuye a reducir los costos de fertilización y mejorar el rendimiento y en términos generales,

la producción de café genera una cantidad significativa de subproductos orgánicos, como hojas, ramas, pulpa y cascarilla, los cuales, si no se gestionan correctamente, pueden impactar negativamente el medio ambiente. Según Rodríguez Valencia et al. (2013), menos del 5% de la materia vegetal utilizada en la producción de café se transforma en bebida, mientras que el resto se convierte en residuos. No obstante, estos subproductos representan una oportunidad para promover procesos de producción más limpios y sostenibles. Investigaciones realizadas por Cenicafé han explorado diversas estrategias para su manejo y valorización, con el objetivo de minimizar su impacto ambiental y agregar valor a la producción.

**Figura 4.** Disposición de pulpa de café



**Fuente:** Elaboración propia.

## **5.4 Principales variables de impacto ambiental en finca cafetera**

La caficultura, al igual que otras actividades agrícolas, ejerce una notable presión sobre el medio ambiente debido a la gestión inadecuada de recursos y residuos. La producción de café genera una huella de carbono considerable, derivada principalmente del uso de fertilizantes nitrogenados, la quema de combustibles fósiles en maquinaria agrícola y la descomposición de residuos orgánicos. Estos procesos liberan gases de efecto invernadero como el óxido nitroso ( $N_2O$ ), metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático (FAO, 2019; FNC, 2020). Para mitigar estos impactos, es fundamental adoptar prácticas de manejo sostenible que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero, promuevan la captura de carbono y optimicen el uso de recursos naturales. Para esto se describe a continuación las principales variables de impacto ambiental.

### **5.4.1 Buenas Prácticas Agrícolas.**

Las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) representan un enfoque integral para la producción de café que busca minimizar los impactos ambientales y maximizar la sostenibilidad ya que la adopción de prácticas como la diversificación de cultivos, la conservación del suelo y el uso eficiente del agua contribuye a la salud de los ecosistemas y a la resiliencia de los sistemas agrícolas. La incorporación de biocarbón en los suelos agrícolas, por su parte, mejora la fertilidad y la estructura del suelo, lo que a su vez favorece la captura de carbono y la mitigación del cambio climático (Lehmann et al., 2015).

La reducción del uso de fertilizantes sintéticos y la promoción de prácticas agroecológicas son fundamentales para disminuir la contaminación de las fuentes hídricas y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso ( $N_2O$ ). Estudios han demostrado que la aplicación de fertilizantes orgánicos y el uso de coberturas vegetales pueden mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de insumos externos (Rainforest Alliance, 2023).

Es importante destacar que la implementación de las BPA requiere de un enfoque holístico que considere tanto los aspectos agronómicos como los socioeconómicos. La capacitación de los productores, el acceso a tecnologías limpias y el apoyo de políticas públicas son factores clave para el éxito de estas iniciativas.

#### **5.4.2. Cero Deforestación**

Actualmente existen herramientas como GRASS y Satelligense que permiten monitorear las prácticas de deforestación y localizarlas en mapas de riesgo. Es crucial evitar la comercialización de café producido en áreas con malas prácticas de deforestación y, en su lugar, promover la siembra de árboles nativos y medir el carbono capturado antes y después de estas prácticas. Los sistemas agroforestales, como los cafetales bajo sombra, tienen el potencial de ser integrados en la venta de créditos de captura de CO<sub>2</sub>, ofreciendo un papel similar al de los bosques en términos de mitigación ambiental (Pineda-López, 2005). La certificación de Rainforest Alliance prohíbe la caza en las fincas certificadas y promueve la protección de la biodiversidad, incluida la fauna y flora nativas (Rainforest Alliance, 2023). Es por esto que debe ser incrementadas las prácticas como la Agrosilvicultura que es cultivar café bajo sombra, integrando árboles nativos en el sistema productivo, ayudando a capturar carbono y a promover la biodiversidad, actuando como un sumidero de carbono (Pineda-López, 2005).

#### **5.4.3. Gestión Sostenible del Recurso Hídrico y subproductos del café**

La protección de las fuentes hídricas es esencial, ya que el proceso de lavado del café genera una alta contaminación debido a los lixiviados. La implementación de prácticas como el uso eficiente del agua y el tratamiento adecuado de aguas residuales es fundamental para proteger los recursos hídricos en la producción de café (Cenicafé, 2023; CIAT, 2022). Lo que nos lleva a un

adecuado manejo de Subproductos y residuos ya que la industria del café los genera en grandes cantidades que, de no ser manejados adecuadamente, pueden contaminar el agua y el suelo y es esta la razón por la que estos subproductos deben ser vistos como un gran potencial para ser utilizados de diversas maneras, generando beneficios económicos y ambientales. La valorización de estos subproductos contribuye a la sostenibilidad de la industria del café y al desarrollo de comunidades rurales (Cenicafé, 2020).

#### **5.4.4. Incremento de Rendimiento y Productividad en el cultivo del café**

La implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la caficultura es fundamental para garantizar la sostenibilidad del sector y mejorar la calidad de vida de los productores. Al optimizar los procesos de cultivo, se logra un aumento significativo en el rendimiento y la productividad de las fincas cafetaleras. Esto se traduce en mayores ingresos para los productores, lo que les permite invertir en mejoras en sus fincas y en la calidad de vida de sus familias. Además, una mayor productividad contribuye a fortalecer la economía local y nacional. Paralelamente, las BPA ayudan a preservar los recursos naturales, como el suelo y el agua, y a reducir el impacto ambiental de la actividad agrícola. Es así que el incremento del rendimiento y la productividad a través de las BPA es un objetivo clave para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la caficultura y mejorar la calidad de vida de las comunidades caficultoras. La adopción de buenas prácticas agrícolas y el aprovechamiento de los subproductos del café permiten que las fincas alcancen un equilibrio productivo y sostenible. Mejorar la calidad del suelo mediante la reducción del uso de fertilizantes y la implementación de prácticas agroecológicas contribuye a un mayor rendimiento y productividad del cultivo (Rainforest Alliance, 2024).

## 5.5 Biocarbón como Alternativa de Descarbonización

El biocarbón, obtenido mediante pirólisis de biomasa, se presenta como una alternativa prometedora para la descarbonización en la caficultura (Ver Tabla 2). Este material puede almacenar carbono durante cientos de años, mejorar la retención de agua del suelo y favorecer el crecimiento de microorganismos beneficiosos (Lehmann et al., 2015; International Biochar Initiative, 2019). Del mismo modo, el biocarbón puede aprovecharse para gestionar los residuos de poda del café, fomentando la economía circular (Boletín Técnico No. 41, 2024). Sus propiedades mejoran la estructura del suelo, aumentan su capacidad de retención de agua y nutrientes, y favorecen el crecimiento de las plantas. Estudios en cultivos como el rábano han evidenciado los beneficios del biocarbón en la mejora de la productividad agrícola. Así mismo, el biocarbón contribuye a la mitigación del cambio climático al secuestrar carbono en el suelo. Según la Agencia de Noticias UNAL (2023), el biocarbón de residuos de palma mejora la calidad de los suelos. Sin embargo, para aprovechar al máximo el potencial del biocarbón, es necesario continuar investigando y desarrollando modelos matemáticos que permitan predecir su comportamiento en diferentes tipos de suelos y cultivos. Esto permitirá optimizar su aplicación y maximizar sus beneficios ambientales y económicos. La investigadora Nevis Alejandra Ruiz Márquez ha desarrollado un modelo matemático que permite predecir los efectos del biocarbón en diferentes tipos de suelos y cultivos. El biocarbón, un material carbonizado obtenido de la combustión de biomasa como el cuesco de palma, ha demostrado mejorar la calidad del suelo al aumentar su permeabilidad, regular el pH y aportar nutrientes esenciales. (Agencia de Noticias UNAL, 2023)

### **Tabla 2.** Beneficios del Biocarbón

Categoría de Beneficio	Beneficio Específico	Descripción	Impacto en la Caficultura
Mejora de las propiedades físicas del suelo	Aumento de la porosidad y aireación	La estructura porosa del biocarbón mejora la aireación radicular y la respiración del suelo, facilitando el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera (Lehmann & Joseph, 2015).	Favorece el desarrollo de las raíces del cafeto, previniendo enfermedades radiculares.
	Mejora de la retención de agua	El biocarbón aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, lo que es crucial en periodos de sequía (Major et al., 2010).	Reduce el estrés hídrico en las plantas de café, mejorando su crecimiento y producción.
	Disminución de la densidad aparente	El biocarbón reduce la compactación del suelo, facilitando la penetración de las raíces (FNC, 2020).	Permite un mejor desarrollo del sistema radicular del cafeto, mejorando la absorción de nutrientes y agua.
Mejora de las propiedades químicas del suelo	Aumento del pH	El biocarbón, especialmente el producido a partir de materiales alcalinos, puede elevar el pH de suelos ácidos,	Aumenta la disponibilidad de nutrientes como el

comunes en zonas cafeteras fósforo, esenciales para el crecimiento del café. (Glaser et al., 2002).

Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) El biocarbón incrementa la capacidad del suelo para retener nutrientes como calcio, magnesio y potasio (Liang et al., 2006). Mejora la disponibilidad de nutrientes para el café y reduce las pérdidas por lixiviación.

Mejora la disponibilidad de nutrientes El biocarbón puede contener nutrientes y mejora la disponibilidad de los nutrientes presentes en el suelo (Major et al., 2010). Favorece el crecimiento y desarrollo del café, mejorando la producción de frutos.

Mejora de las propiedades biológicas del suelo Aumento de la actividad microbiana La estructura porosa del biocarbón proporciona un hábitat ideal para microorganismos beneficiosos (Lehmann et al., 2011). Mejora la descomposición de la materia orgánica, el ciclo de nutrientes y la supresión de enfermedades del suelo.

Aumento de la diversidad microbiana El biocarbón puede aumentar la diversidad de microorganismos en el suelo mejorando la salud del café. Contribuye a un suelo más sano y resiliente, (Thies & Rillig, 2009).

Beneficios específicos para el café	<p>Reducción del estrés por metales pesados (en suelos contaminados)</p> <p>El biocarbón puede adsorber metales pesados, reduciendo su toxicidad por metales pesados (en suelos absorción por las plantas de café (Beesley et al., 2011).</p>	<p>Protege al café de la calidad del grano.</p>
Mejora del rendimiento y la calidad del café	<p>En algunos estudios, se ha observado un aumento en el rendimiento y la calidad del café con la aplicación de biocarbón (FNC, 2020; Major et al., 2010).</p>	<p>Aumenta la productividad y la rentabilidad del cultivo de café.</p>
Beneficios ambientales	<p>Secuestro de carbono</p> <p>El biocarbón secuestra de carbono en el suelo a largo plazo, mitigando el cambio climático (Lehmann, 2007).</p>	<p>Contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la caficultura.</p>
Reducción de la necesidad de fertilizantes químicos	<p>Al mejorar la disponibilidad de nutrientes, se puede reducir la necesidad de fertilizantes sintéticos (Major et al., 2010).</p>	<p>Disminuye el impacto ambiental de la fertilización química y reduce los costos de producción.</p>

**Fuente:** Elaboración propia con datos de Beesley et al. (2011), Federación Nacional de Cafeteros (2020), Glaser et al. (2002), Lehmann y Joseph (2015), Major et al. (2010).

## 5.6 Huella de Carbono y Huella Hídrica en el Cultivo de Café

La huella de carbono en la caficultura mide la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos durante todo el ciclo de producción, desde la preparación del terreno hasta el procesamiento del grano (FNC, 2020). Reducir la huella de carbono implica adoptar prácticas que minimicen las emisiones (Ver Tabla 3), como la aplicación de biocarbón, la optimización del uso de fertilizantes y la eficiencia energética en el uso de maquinaria agrícola.

La huella hídrica se refiere al volumen total de agua utilizado durante el cultivo y procesamiento del café. En particular, el proceso de lavado del grano es un factor clave que contribuye a una huella hídrica elevada (Cenicafé, 2023). La implementación de prácticas como el riego eficiente y la reutilización del agua en los procesos de beneficio son esenciales para reducir la huella hídrica en la producción cafetera (Boletín Técnico No. 41, 2024).

**Tabla 3.** Desafíos y Oportunidades en la gestión de carbono en fincas cafeteras

Beneficios para los Caficultores	Desafíos y Oportunidades
Ingresos adicionales: La venta de créditos genera ingresos extra.	Costos iniciales: Implementar prácticas sostenibles puede requerir inversión inicial.
Mejora de la imagen de marca: La certificación de carbono mejora la reputación normativa y los procedimientos pueden ser del producto.	Complejidad de los mercados de carbono: La complejidad de los mercados de carbono y los procedimientos pueden ser complejos.
Acceso a financiamiento: Algunos programas ofrecen financiamiento	Necesidad de capacitación: Los caficultores necesitan capacitación para comprender los

productores que participan en proyectos de conceptos y los beneficios de la gestión de mitigación. carbono.

Fortalecimiento de las comunidades: Los Investigación de mercados y formación de proyectos generan beneficios sociales y alianzas: Identificar los mercados de carbono más ambientales. adecuados.

*Fuente: Elaboración propia basada en datos de la Federación Nacional de Cafeteros, 2020.*

## **6. Diseño metodológico**

Este estudio metodológico estableció un marco para evaluar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de biocarbón. La investigación adoptó un enfoque aplicado y descriptivo, lo que permitió analizar la situación actual de las fincas cafeteras y los procesos empleados en el cultivo dentro del contexto de la empresa (LDC).

En consecuencia, y para garantizar la alineación con los objetivos de la investigación, se diseñó un marco metodológico estructurado que permite abordar cada una de las etapas clave del estudio. A través de una revisión de literatura, se establecieron las bases teóricas sobre la agricultura regenerativa y la gestión de la biomasa en la caficultura. Posteriormente, se llevó a cabo un diagnóstico organizacional para identificar oportunidades y limitaciones en la implementación del biocarbón, utilizando herramientas estratégicas y encuestas validadas. Finalmente, con base en estos hallazgos, se formuló un plan de intervención para su aplicación en la finca modelo de LDC, asegurando un enfoque integral para evaluar la viabilidad del biocarbón en la producción cafetera sostenible (Ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Metodología alineada a los objetivos

Objetivo específico	Técnica o método utilizado
<p>Identificar en la literatura los referentes teóricos y técnicos necesarios para analizar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras, su transformación en biocarbón y su impacto en la transición hacia una agricultura regenerativa.</p>	<p>El objetivo principal de esta revisión de literatura es identificar los conceptos básicos de Agricultura regenerativa, sus principios básicos y beneficios. Comprender más acerca de la caficultura, especialmente en el Departamento de Santander y las razones por las que el sistema de cultivo bajo sombra lo convierte en foco de estudio para el aprovechamiento de la biomasa y los subproductos. De igual forma la identificación de las principales variables de impacto ambiental en finca cafetera fundamental para adoptar prácticas de manejo sostenible como lo son BPA, Deforestación, Gestión de Recursos Hídricos y subproductos del café y Aumento de rendimiento y productividad en el cultivo del café. Así mismo conocer acerca del aprovechamiento de la biomasa en finca cafetera mediante la implementación del biocarbón en los procesos de la caficultura como una alternativa de manejo de biomasa y alternativa de descarbonización y comprender como podemos aportar a la huella de carbono e hídrica buscando ser más sostenibles.</p>
<p>Identificar oportunidades y</p>	<p>Para identificar oportunidades y limitaciones en la implementación del biocarbón, se realizó un diagnóstico</p>

<p>limitaciones para la implementación del biocarbón a partir del diagnóstico de la gestión de la biomasa residual realizada por los caficultores</p>	<p>organizacional mediante el análisis PESTEL, las cinco fuerzas de Porter y el análisis DOFA. Además, se aplicó la encuesta validada por los expertos Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras a 25 caficultores, contrastando los resultados con la herramienta Acuerdo Café Bosque y Clima de Solidaridad, lo que permitió evaluar la viabilidad del biocarbón en la caficultura sostenible.</p>
<p>Diseñar un plan de intervención para el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras, para ser implementado por LDC mediante su transformación en biocarbón</p>	<p>Se propone un Plan para ser implementado por LDC en la Finca Los Eucaliptos para evaluar la efectividad de la gestión de la biomasa y la implementación de biocarbón en la producción de café. A través de un diseño experimental, se analizará el impacto de diferentes dosis de biocarbón en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café. Los resultados de este estudio permitirán desarrollar un modelo de producción de café más sostenible y replicable en otras fincas.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Se emplearon fuentes de datos cuantitativas, a través de encuestas y herramientas específicas como Cool Farm Tool COFFEE, que permite evaluar las prácticas agrícolas y su impacto en la sostenibilidad. Para el análisis del contexto externo e interno, se utilizaron modelos estratégicos como el análisis PESTEL, las cinco fuerzas de Porter y el análisis DOFA. Estos permitieron identificar oportunidades y amenazas clave para el desarrollo del modelo de aprovechamiento de biomasa residual en fincas cafeteras.

La primera fase de la investigación consistió en una revisión de literatura sobre la gestión de biomasa residual en la caficultura, el uso de biocarbón y las prácticas sostenibles en la producción agrícola. Se consultaron fuentes científicas y técnicas para establecer una base teórica sólida sobre el impacto del biocarbón en la fertilidad del suelo y su potencial como estrategia de mitigación del cambio climático, posteriormente, se realizó un diagnóstico organizacional que incluyó un análisis externo e interno. Para el análisis externo, se aplicó el modelo PESTEL, que permitió evaluar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que influyen en la implementación del biocarbón en la caficultura. En cuanto al análisis de las cinco fuerzas de Porter, se examinaron las dinámicas competitivas del sector cafetero, incluyendo la rivalidad entre competidores, la amenaza de nuevos entrantes, el poder de negociación de proveedores y compradores, así como la amenaza de productos sustitutos.

A partir de la revisión de literatura y el análisis externo, se diseñó una encuesta semiestructurada sobre prácticas agrícolas sostenibles y gestión ambiental en fincas cafeteras. Esta encuesta fue validada por expertos en sostenibilidad de entidades como la Universidad EAN, CENIPALMA, Proforest Latinoamérica, LDC y Palmas y Extractora Monterrey S.A.S. Se evaluaron cuatro dimensiones clave: Buenas Prácticas Agrícolas, Deforestación, Gestión de recursos hídricos y subproductos del café, y Aumento del rendimiento del cultivo de café. La encuesta se aplicó a 25

caficultores con el fin de conocer las prácticas empleadas, su intención de adopción y su percepción sobre la viabilidad del uso de biocarbón. Para la recolección de datos, se utilizó la escala Likert, lo que permitió obtener información cuantificable y comparable sobre la sostenibilidad en las fincas cafeteras.

Los resultados obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y se generaron diagramas radiales con el objetivo de identificar variables clave. Posteriormente, se realizó una segmentación de caficultores en función de su nivel de implementación de prácticas sostenibles, clasificándolos en tres categorías: bajo, intermedio y avanzado. Esta segmentación facilitó la identificación de brechas y oportunidades de mejora en la gestión de biomasa residual en las fincas cafeteras. A partir del análisis de la encuesta y la segmentación de caficultores, se diseñó un modelo de aprovechamiento de biomasa residual basado en la utilización de biocarbón como alternativa para mejorar la fertilidad del suelo y la sostenibilidad del cultivo de café. De igual forma, se empleó la herramienta Cool Farm Tool COFFEE para evaluar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y su impacto en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El plan de intervención fue diseñado para ser implementado por (LDC) en sus procesos de mejora de sostenibilidad en la producción cafetera, alineándose con estándares de sostenibilidad y con las exigencias del mercado global.

### **6.1 Diagnóstico organizacional: análisis externo**

El diagnóstico organizacional permitió identificar las condiciones del contexto externo e interno para la implementación del biocarbón en la caficultura. Para ello, se realizaron análisis estratégicos utilizando el modelo PESTEL, las cinco fuerzas de Porter y el análisis DOFA. Estos modelos

facilitaron la identificación de oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades en el sector cafetero, con el fin de desarrollar estrategias alineadas con la sostenibilidad. La metodología empleada para este diagnóstico ha sido detallada en la sección 6 del diseño metodológico.

## **6.2 Diagnóstico organizacional: análisis interno**

Para evaluar el estado de la sostenibilidad en las fincas cafeteras, se aplicó la herramienta Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras mediante una encuesta estructurada dirigida a 25 caficultores. Esta encuesta permitió recopilar información clave sobre prácticas agrícolas. Las dimensiones evaluadas en la encuesta incluyeron:

- **Buenas Prácticas Agrícola:** manejo de suelos y fertilización, conservación de la biodiversidad y agricultura regenerativa
- **Deforestación:** estrategias de conservación, prevención
- **Gestión de Recursos Hídricos y Subproductos del Café:** protección de fuentes de agua, manejo de lixiviados y reutilización de residuos
- **Aumento de Rendimiento y Productividad en el Cultivo de Café:** adopción de tecnologías, eficiencia en el uso de recursos y estrategias frente al cambio climático. Para asegurar la validez y confiabilidad del instrumento, la encuesta fue revisada y aprobada por cinco expertos en sostenibilidad, quienes verificaron la pertinencia y claridad de los indicadores evaluados (Ver Tabla 5), se presentan los expertos participantes en la validación del instrumento:

**Tabla 5.** Expertos en Sostenibilidad Participantes en la Validación de la Encuesta

<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>	<b>Entidad donde labora</b>
Marcela Delgado	Docente Asociado	Universidad EAN
Roxelys Cáceres Quiñones	Extensionista de Sostenibilidad	Corporación Centro de investigación de palma de aceite CENIPALMA
Diana Beltrán	Líder del Área de Sostenibilidad y Mejora Continua	Palmas y Extractora Monterrey S.A.S
Nicolás de Jesús Andrade Reyes	Extensionista de Sostenibilidad	Proforest Latinoamérica
Leonardo Peña Barajas	Profesional de apoyo	LDC

**Fuente:** elaboración propia.

### **6.2.1 Análisis de la herramienta encuesta propia**

El análisis de la encuesta permitió evaluar las respuestas de los caficultores en relación con la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. Se emplearon diagramas radiales para representar visualmente las tendencias y diferencias en la implementación de dichas prácticas. Para garantizar la coherencia en los análisis, todos los resultados se presentan en porcentajes, se estableció Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras para cada finca, lo que permitió su segmentación en tres categorías: bajo, intermedio y avanzado. En la

Figura 5, se muestra la fórmula utilizada para el cálculo del Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras.

**Figura 5.** Análisis Herramienta

$$\begin{aligned}
 DPSAB = & \left( (ASF * 0.2) + (AR * 0.8) \right) \backslash MPBPA * 0.20 \\
 & + \left( (CPD * 0.5) + (UBGC * 0.5) \right) \backslash MPD * 0.20 \\
 & + \left( (GDRH * 0.5) + (GDSC * 0.5) \right) \backslash MPNGS * 0.30 \\
 & + \left( (SCC * 0.5) + (PET * 0.5) \right) \backslash MPARCC * 0.30
 \end{aligned}$$

Nomenclatura asociada:

DPSAB: Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras.

ASF: Manejo de Suelos y Fertilización.

AR: Resultados Obtenido de Agricultura Regenerativa.

MPBPA: Máxima puntuación Buenas Prácticas Agrícolas.

CPD: Resultado Obtenido de Conservación y Prevención de la Deforestación.

UBGC: Resultado Obtenido del Uso de Biocarbón y Gestión Del Carbono.

MPD: Máxima puntuación Deforestación.

GDRH: Resultado Obtenido en la Gestión Deficiente del Recurso Hídrico.

GDSC: Resultado Obtenido de la Gestión Deficiente de Subproductos del Café.

MPNGS: Máxima puntuación de la No Gestión Sostenible De Recursos Hídricos y Subproductos del Café.

SCC: Resultado Obtenido de la Sostenibilidad y Cambio Climático.

PET: Resultado Obtenido de Productividad, Eficiencia y Tecnología.

MPARCC: Máxima puntuación del Aumento de Rendimiento en el Cultivo de Café.

Este análisis permitió identificar patrones en la adopción de prácticas sostenibles y las principales áreas de oportunidad en las fincas cafeteras evaluadas

### **6.3 Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos consistió en el análisis cuantitativo de los resultados obtenidos en la encuesta, utilizando estadística descriptiva y representaciones gráficas en porcentajes, los datos fueron contrastados con el Dashboard Huella de Carbono del programa *Acuerdo Café Bosque y Clima* de Solidaridad, el cual consolida indicadores de 506 fincas cafeteras ubicadas en Antioquia, Caldas, Huila, Nariño, Risaralda, Santander y Tolima. La información utilizada corresponde al año 0 (línea base), de acuerdo con Solidaridad (2024). Del mismo modo, se realizó una segmentación de productores, permitiendo clasificar a los caficultores en tres niveles (bajo, intermedio y avanzado) en función de su desempeño en prácticas sostenibles, en esta finca modelo se aplicó la herramienta Cool Farm Tool COFFEE, con el objetivo de evaluar la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y su impacto en la reducción de gases de efecto invernadero (GEI). Esta evaluación proporcionó información clave para diseñar estrategias de mitigación del cambio climático en la producción cafetera.

## **7. Diagnóstico Organizacional**

El diagnóstico organizacional realizado en esta investigación tiene como objetivo principal evaluar el aprovechamiento de la biomasa residual en fincas cafeteras para la producción de

biocarbón y su potencial aplicación en la gestión de prácticas sostenibles en la empresa Louis Dreyfus Company (LDC). A través de un análisis exhaustivo de las prácticas agrícolas, los procesos productivos y la gestión ambiental de las fincas, se identificaron las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Además, se evaluaron los factores internos y externos que influyen en la capacidad de las fincas para reducir sus emisiones, tales como la disponibilidad de recursos financieros, el acceso a tecnologías limpias, las políticas gubernamentales y las demandas del mercado (FAO, 2021; Rainforest Alliance, 2022).

## **7.1 Diagnóstico organizacional: análisis externo**

### **7.1.1 Análisis PESTEL**

Se realizó un análisis descriptivo utilizando el modelo PESTEL (ver Tabla 6) para evaluar los factores políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ecológicos y legales que influyen en la gestión de carbono en fincas cafeteras y su relación con el aprovechamiento de biomasa residual y biocarbón. Este análisis se basó en una validación documental y entrevistas con expertos del sector, identificando las principales oportunidades y amenazas en el entorno de la finca cafetera (International Coffee Organization, 2023). La información obtenida complementó el diagnóstico de emisiones de carbono y permitió definir estrategias de mejora en el marco del plan de intervención para Louis Dreyfus Company (LDC).

A nivel político, las regulaciones ambientales cada vez más estrictas y los incentivos para la adopción de prácticas sostenibles representan tanto oportunidades como desafíos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023). Económicamente, la volatilidad de los precios del café y la creciente demanda de productos sostenibles por parte de los consumidores influyen en las decisiones de inversión en tecnologías limpias (Fairtrade International, 2022).

**Tabla 6.** Análisis PESTEL para el aprovechamiento de biomasa en Finca Cafetera

Tipología de Factores del Macroentorno	de Tipología de Tendencias	de Descripción de la Tendencia del Sector	Impacto
Políticos & legales	& Políticas Ambientales y de Cambio Climático	Aumento de regulaciones y normativas ambientales que promueven la sostenibilidad en la producción cafetera (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).	Alto
	Estabilidad Política y Gobernanza	Factores de gobernanza que pueden influir en el acceso a incentivos para prácticas sostenibles (FAO, 2021).	Medio
de Desarrollo Rural	Políticas Agrícolas y	Los programas de apoyo a la agricultura climáticamente inteligente pueden promover el uso del biocarbón (International Coffee Organization, 2023).	Alto

	Reducción de aranceles y barreras comerciales para el café sostenible	Incentivos para la adopción de prácticas sostenibles como el biocarbón (Fairtrade International, 2022).	Alto
Económicos	Creciente Demanda de Café Sostenible	Tendencia de los mercados internacionales hacia productos con certificación ambiental (Rainforest Alliance, 2022).	Alto
	Adopción de Prácticas Sostenibles	Financiamiento para la implementación de prácticas agrícolas de bajo impacto ambiental (Banco Mundial, 2022).	Alto
Sociales	Colaboración entre Actores de la Cadena de Valor del Café	Alianzas estratégicas entre caficultores, empresas y gobiernos para impulsar la sostenibilidad (WWF, 2023).	Alto
Tecnológicos	Investigación y Desarrollo en Biocarbón para el Café	Desarrollo de nuevos métodos de producción y aplicación de biocarbón para mejorar la productividad (Cenicafé, 2022).	Medio

	Capacitación y Asistencia Técnica para Productores de Café Sostenible	Mayor acceso a formación en buenas prácticas agrícolas (FAO, 2021).	Alto
Ecológicos	Medición de la huella de carbono	Uso de herramientas para evaluar y reducir la huella ambiental del café (CIAT, 2021).	Medio
	Desarrollo de Certificaciones de Sostenibilidad	Crecimiento del mercado de certificaciones ambientales en el sector cafetero (Rainforest Alliance, 2022).	Alto
	Fomento de Prácticas Agrícolas Sostenibles	Mayor adopción de técnicas que reducen el impacto ambiental del cultivo de café (FAO, 2021).	Medio

**Fuente:** Adaptado de *International Coffee Organization (2023)*, *FAO (2021)*, *Rainforest Alliance (2022)*, *Banco Mundial (2022)*, *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023)*.

### 7.1.2 Análisis de las Cinco Fuerzas de Porter

El análisis de las Cinco Fuerzas de Porter (Ver Tabla 7), se fundamenta en estudios previos sobre competitividad en el sector agrícola y en los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a

caficultores. Según Porter (2008), estas fuerzas determinan el nivel de competencia y rentabilidad de un sector, influyendo en la toma de decisiones estratégicas. En el caso del aprovechamiento del biocarbón en fincas cafeteras, los datos recopilados fueron contrastados con estudios sobre prácticas sostenibles en la agroindustria (FAO, 2021; International Coffee Organization, 2023).

Para complementar el diagnóstico organizacional, se llevó a cabo un análisis de las Cinco Fuerzas de Porter para evaluar la competitividad del sector cafetero en relación con la adopción de biocarbón y prácticas sostenibles. Se identificó que la presión de los consumidores y la tendencia hacia certificaciones sostenibles representan un incentivo para que las empresas, incluida LDC, fomenten la implementación del biocarbón en las fincas productoras con las que trabajan. Sin embargo, este estudio no incluye la implementación práctica del biocarbón en finca cafetera.

**Tabla 7.** Las Cinco Fuerzas de Porter

Fuerza de Porter	Análisis
Poder	<p>Según la encuesta, los caficultores perciben que el acceso a tecnología para de la producción de biocarbón en sus fincas es limitado, debido a la falta de negociación de los equipos adecuados y conocimientos técnicos. Esto los hace depender de proveedores externos para la obtención de insumos especializados y asesoría técnica (FAO, 2021; International Coffee Organization, 2023).</p>
<p>Poder de negociación de los compradores</p>	<p>Existen estudios que indican un interés creciente por parte de compradores en café producido bajo prácticas sostenibles (Fairtrade International, 2022; WWF, 2023), sin embargo, la encuesta reveló que el desconocimiento sobre biocarbón limita su adopción en el mercado.</p>

Porter (2008) menciona que los costos iniciales son una barrera clave para  
 Amenaza de nuevos productores. En la encuesta se evidenció que la falta de capacitación  
 nuevos entrantes técnica y el desconocimiento del proceso de producción de biocarbón  
 dificultan la entrada de nuevos actores al sector (Cenicafé, 2022).

Amenaza de  
 productos  
 sustitutos Existen estrategias sostenibles como la agroforestería y el uso de  
 biofertilizantes que son opciones viables y más conocidas (CIAT, 2021; FAO,  
 2021). La encuesta mostró que los caficultores consideran estas alternativas  
 más accesibles en comparación con el biocarbón.

Rivalidad entre  
 competidores Los productores con certificaciones sostenibles tienen ventaja competitiva,  
 aunque la implementación de biocarbón aún no se considera un diferenciador  
 clave en el mercado (Rainforest Alliance, 2022; International Coffee  
 Organization, 2023). La encuesta refleja que varios caficultores no ven aún  
 un valor comercial claro en el biocarbón.

**Fuente:** Adaptado de Porter (2008) y datos obtenidos de la encuesta aplicada a caficultores, con  
 apoyo en FAO (2021), International Coffee Organization (2023), Fairtrade International (2022),  
 WWF (2023), Cenicafé (2022), CIAT (2021).

Tras el análisis de las Cinco Fuerzas de Porter, se pudo establecer que la rivalidad entre  
 competidores es alta debido a la creciente diversificación de productores que buscan diferenciarse  
 mediante certificaciones sostenibles y prácticas agrícolas responsables (International Coffee  
 Organization, 2023). La amenaza de nuevos entrantes es moderada, ya que la inversión inicial en  
 tecnologías sostenibles y la falta de acceso a capacitación técnica representan barreras de acceso  
 significativas (Cenicafé, 2022; Porter, 2008). En cuanto al poder de negociación de los

proveedores, la dependencia de insumos agrícolas y tecnología especializada incrementa los costos de producción, lo que afecta la capacidad de adopción del biocarbón en las fincas cafeteras (FAO, 2021).

Por otro lado, el poder de negociación de los compradores ha crecido debido a la mayor demanda por productos con valor agregado y estándares ambientales certificados, lo que presiona a los caficultores a adoptar prácticas más sostenibles (Fairtrade International, 2022). Finalmente, la amenaza de productos sustitutos está presente en mercados donde alternativas como el té y las bebidas energéticas compiten con el café, lo que incentiva la diferenciación mediante estrategias de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono (CIAT, 2021; FAO, 2021).

### 7.1.3 Análisis DOFA

El análisis DOFA (Ver Tabla 8), reveló fortalezas y oportunidades clave que apoyan la implementación del biocarbón en fincas cafeteras, pero también identificó debilidades y amenazas que deben abordarse para garantizar su adopción exitosa. Se destaca que, si bien los caficultores reconocen el potencial del biocarbón, en la encuesta se evidenciaron dificultades en el acceso a información y tecnologías, lo que contrasta con las tendencias globales sobre la disponibilidad de financiamiento y apoyo institucional (Cenicafé, 2022).

**Tabla 8.** Análisis DOFA para la Implementación de Biocarbón en una Finca Cafetera

<b>OPORTUNIDADES</b>	<b>AMENAZAS</b>
O1. Apoyo gubernamental para la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, como el	A1. El cambio climático podría generar eventos climáticos extremos que dificulten el uso efectivo del biocarbón (CIAT, 2021).

biocarbón (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023).

O2. Creciente demanda del mercado de productos de café sostenibles (Fairtrade International, 2022).

A2. Las fluctuaciones en los precios del café pueden afectar la viabilidad de la inversión en biocarbón (International Coffee Organization, 2023).

O3. Alianzas estratégicas con organizaciones que promueven el uso de biocarbón en la producción sostenible, como la agroforestería y producción de café (WWF, 2023).

A3. Competencia de otros métodos de los biofertilizantes (FAO, 2021).

### **FORTALEZAS**

F1. El biocarbón puede contribuir a la mitigación del cambio climático al mejorar la captura de carbono en el suelo (Cenicafé, 2022).

D1. Alto costo inicial para la implementación de biocarbón debido a la necesidad de equipos especializados (Banco Mundial, 2022).

F2. Mejora la fertilidad y retención de agua en el suelo, favoreciendo el rendimiento del cultivo (Rainforest Alliance, 2022).

D2. Falta de capacitación técnica sobre el uso de biocarbón en la caficultura (FAO, 2021).

F3. Puede reducir el uso de fertilizantes químicos y mejorar la calidad del café (Fairtrade International, 2022).

D3. Necesidad de más estudios sobre los efectos a largo plazo del biocarbón en el suelo (Cenicafé, 2022).

**Fuente:** adaptado de *International Coffee Organization (2023)*, *FAO (2021)*, *Rainforest Alliance (2022)*, *Banco Mundial (2022)*, *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023)*.

## **7.2 Análisis interno**

Se realizó un análisis interno del modelo mediante una encuesta. Las variables consideradas en este análisis se basaron en las prácticas agrícolas empleadas en 25 fincas, la deforestación, la biodiversidad y los suelos, la conservación del agua, el comportamiento en el rendimiento del cultivo y la optimización y gestión de recursos como los subproductos del beneficio del café. La recolección de datos se llevó a cabo utilizando la escala Likert, idónea para medir percepciones, actitudes y niveles de preocupación en relación con las variables definidas en el marco teórico y su disposición en la adopción de prácticas para el manejo de subproductos de café. Esto permitió obtener una visión completa de la situación actual y así identificar oportunidades para el aprovechamiento de la biomasa de manera efectiva, alineado con la producción de biocarbón y sus posibles beneficios en la agricultura regenerativa, sin que su impacto haya sido medido directamente en este estudio. Esta encuesta y la pertinencia de las preguntas fueron validadas por cinco expertos del área de sostenibilidad.

### **7.2.1 Evaluación de la Encuesta: Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras.**

Para el análisis estadístico de la encuesta (ver Tabla 9), se evaluaron diversas preguntas sobre prácticas agrícolas sostenibles, conservación de la biodiversidad, protección de fuentes de agua y gestión de residuos, con un enfoque particular en el uso de biocarbón como herramienta clave para mitigar el cambio climático y mejorar la fertilidad del suelo. A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos.

**Tabla 9.** Análisis Encuesta Propia

DIAGNÓSTICO DE PRÁCTICAS SOSTENIBLES Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA EN FINCAS CAFETERAS	78%
1. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS	77%
1.1 MANEJO DE SUELOS Y FERTILIZACIÓN	64%
Prácticas agrícolas intensivas no causan impactos negativos	45%
Importancia de técnicas de conservación de suelos	70%
Importancia del análisis de suelos	61%
Implementación de MIPE	56%
Percepción de complejidad en la labor de fertilización	90%
1.2 AGRICULTURA REGENERATIVA Y BIODIVERSIDAD	80%
Implementación de técnicas para la salud del suelo	62%
Implementación de técnicas para la conservación de la biodiversidad	78%
Disposición a adoptar la agricultura regenerativa	90%
Impacto del cambio climático en los rendimientos	90%
2. DEFORESTACIÓN	76%
2.1 CONSERVACIÓN Y PREVENCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN	72%
Implementación de agricultura. Regenerativa para restauración de la biodiversidad	58%

Disposición al apoyo económico de iniciativas	62%
Percepción de responsabilidad frente a la deforestación	74%
Implementación de prácticas para la protección de los bosques	82%
Conocimiento sobre consecuencias de la deforestación	85%
2.2 USO DE BIOCARBON Y GESTIÓN DEL CARBONO	80%
Biocarbón y la conservación de bosques	80%
Percepción de relación entre sombrero y captura de carbono	78%
Disposición a adoptar prácticas de biocarbón y/o sombrero	81%
3. GESTIÓN DEFICIENTE DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ	84%
3.1 GESTIÓN DEFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO	80%
Uso responsable de agroquímicos	42%
No implementación de prácticas para la preservación de fuentes de agua	70%
Percepción de importancia de la protección de fuentes hídricas	86%
Conocimiento sobre la contaminación de fuentes de agua	90%
Uso de barreras vivas y técnicas de amortiguamiento	92%
Ausencia de tratamiento de lixiviados	90%
3.2 GESTIÓN DEFICIENTE DE SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ	87%
Disposición a usar el biocarbón para mejorar la fertilización suelo	80%
Prácticas de reutilización de subproductos	80%
Desconocimiento de técnicas de manejo de subproductos	87%
Percepción de dificultad en el manejo de lixiviados	90%
Gestión ineficiente para la reducción de emisiones de carbono	90%

Desconocimiento del uso del biocarbón para el manejo de lixiviados	90%
4. AUMENTO DE RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN EL CULTIVO DE CAFÉ	73%
4.1 SOSTENIBILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO	69%
Implementación de estrategias para abordar el cambio climático	50%
Percepción de relación entre cambio climático y problemas fitosanitarios	72%
Implementación de prácticas agrícolas sostenibles	74%
Percepción de importancia del sombrero y manejo de residuos en el aumento de los rendimientos	80%
4.2 PRODUCTIVIDAD, EFICIENCIA Y TECNOLOGÍA	78%
Valoración de la importancia del uso eficiente de insumos	49%
Valoración de la importancia de mejorar la estructura del suelo	60%
Valoración de la importancia de la influencia de fertilizantes en los rendimientos	73%
Disposición a la adopción de nuevas tecnologías	78%
Percepción de importancia de la protección de fuentes hídricas	94%
Percepción de utilidad económica de la diversificación de cultivos	95%
Disposición a adoptar tecnologías para el uso eficiente del agua	98%

**Fuente:** elaboración propia.

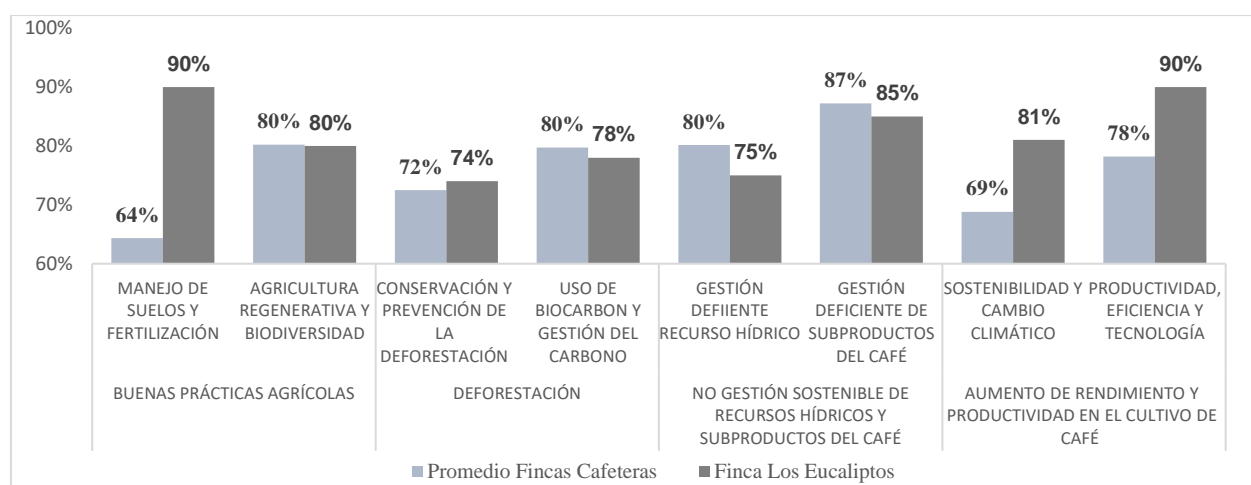
Este análisis comparativo (Ver Figura 6) presenta los porcentajes obtenidos en diferentes aspectos clave de la gestión sostenible y productiva en fincas cafeteras. En el eje vertical se reflejan los porcentajes de desempeño en cada dimensión evaluada, mientras que en el eje horizontal se agrupan las categorías analizadas, como Buenas Prácticas Agrícolas, Deforestación, Gestión de Recursos Hídricos y Subproductos del Café, y Productividad. Los resultados más relevantes muestran que la categoría "Gestión Deficiente de Subproductos del Café" alcanzó un 87%, lo que indica una necesidad urgente de mejorar la gestión y reutilización de residuos agrícolas. De igual forma, la "Gestión Deficiente del Recurso Hídrico" obtuvo un 80%, evidenciando desafíos en la conservación del agua, el uso responsable de agroquímicos y la implementación de barreras vivas y técnicas de amortiguamiento.

En cuanto a la "Productividad, Eficiencia y Tecnología" (78%), los caficultores mostraron alta disposición para adoptar nuevas tecnologías, especialmente aquellas enfocadas en el uso eficiente del agua (98%) y la diversificación de cultivos (95%), lo que sugiere un interés creciente en mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de sus cultivos. Sin embargo, aún persisten brechas en la valoración de la importancia del uso eficiente de insumos (49%) y la estructura del suelo (60%). El "Uso de Biocarbón" también obtuvo un 80%, reflejando una disposición favorable hacia su adopción como estrategia de conservación de bosques y mitigación de carbono. No obstante, se identificaron oportunidades de mejora en el conocimiento sobre su aplicación en el manejo de lixiviados (90%) y su potencial en la fertilización de suelos (80%).

Por otro lado, la percepción sobre el impacto del cambio climático en la producción de café es alta (90%), aunque la implementación de estrategias para su abordaje sigue siendo baja (50%). Así mismo se encontró que el 74% de los caficultores han adoptado prácticas agrícolas sostenibles, aunque la implementación de un Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) sigue siendo un desafío (56%). Estos resultados evidencian que, si bien hay avances en la adopción de

tecnologías y prácticas agrícolas sostenibles, aún persisten limitaciones en la gestión eficiente del agua, la reutilización de subproductos y la implementación de estrategias efectivas para la adaptación al cambio climático. La información recopilada sugiere que fortalecer la capacitación y el acceso a incentivos económicos podría acelerar la transición hacia una agricultura regenerativa basada en la optimización de la biomasa residual y el biocarbón.

**Figura 6.** Promedio encuestas



**Fuente:** elaboración propia.

### Buenas prácticas agrícolas

El manejo de suelos y fertilización presenta una implementación moderada (64%), con una percepción positiva sobre la fertilización (90%), lo que indica interés en mejorar la calidad del suelo. Sin embargo, el manejo integrado de plagas y enfermedades (56%) sigue siendo un desafío, evidenciando la necesidad de fortalecer estrategias de control. La importancia de las técnicas de conservación de suelos es reconocida por el 70% de los caficultores, aunque su aplicación aún es limitada. La disposición a adoptar la agricultura regenerativa es alta (90%), destacando su potencial

como estrategia para mejorar la biodiversidad y la resiliencia del sistema productivo. Asimismo, el 90% de los productores percibe el cambio climático como un factor crítico en los rendimientos, lo que refuerza la necesidad de estrategias de mitigación y adaptación.

### **Deforestación**

Existe una alta conciencia sobre las consecuencias de la deforestación (85%) y una percepción de responsabilidad significativa (74%). No obstante, el apoyo económico a iniciativas ambientales sigue siendo limitado (62%). Se evidencia una buena disposición a adoptar prácticas de biocarbón y/o sombrío (81%) como estrategia de conservación, reflejando interés en enfoques de mitigación del cambio climático. La percepción sobre la relación entre el sombrío y la captura de carbono es alta (78%), lo que respalda el uso del biocarbón en la conservación de bosques (80%). Sin embargo, la implementación de prácticas de restauración de biodiversidad mediante agricultura regenerativa aún es baja (58%), lo que resalta la necesidad de incentivos y capacitación para mejorar su adopción.

### **Gestión Deficiente de Recursos Hídricos y Subproductos del Café**

La gestión de recursos hídricos y subproductos del café presenta deficiencias significativas (84%). La ausencia de tratamiento de lixiviados (90%) y la dificultad en su manejo (90%) evidencian la necesidad de soluciones efectivas para reducir su impacto ambiental. A pesar de una alta conciencia sobre la contaminación del agua (90%) y la importancia de su protección (86%), la implementación de prácticas de preservación de fuentes hídricas es baja (70%). Además, el uso responsable de agroquímicos (42%) sigue siendo un área crítica de mejora. No obstante, se observa una buena disposición a reutilizar subproductos (80%) ya emplear biocarbón para mejorar la fertilización del suelo (80%). Sin embargo, el desconocimiento sobre su aplicación en lixiviados (90%) destaca la necesidad de mayor capacitación en su manejo. El uso de barreras vivas y técnicas

de amortiguamiento (92%) se consolida como una estrategia clave para mitigar los impactos ambientales en la caficultura.

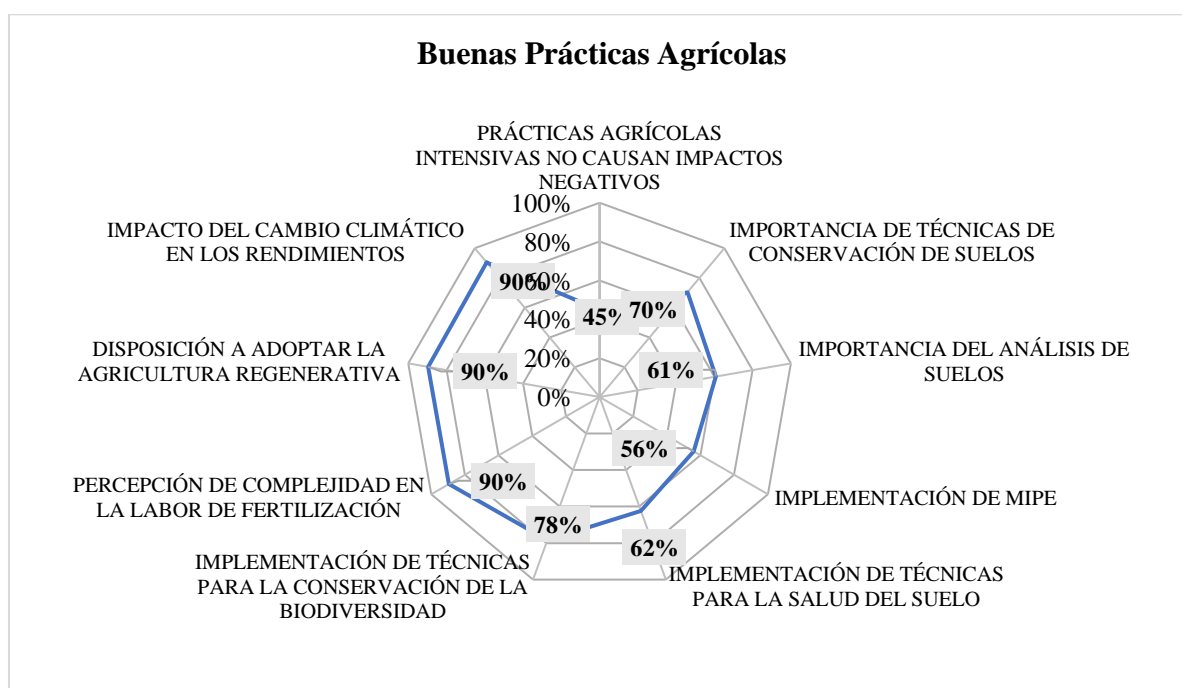
### **Aumento de Rendimiento y Productividad en el Cultivo de Café**

El rendimiento del café enfrenta desafíos en la implementación de estrategias para abordar el cambio climático (50%) y en el uso eficiente de insumos (49%), lo que evidencia la necesidad de fortalecer estas áreas. Sin embargo, la percepción sobre la influencia de los fertilizantes en la productividad es positiva (73%), al igual que la importancia de mejorar la estructura del suelo (60%). La adopción de prácticas agrícolas sostenibles (74%) y nuevas tecnologías (78%) reflejan apertura a la innovación y la mejora continua. Destacan como estrategias clave para la sostenibilidad y productividad la diversificación de cultivos (95%), la adopción de tecnologías para el uso eficiente del agua (98%) y la protección de fuentes hídricas (94%), lo que reafirma el papel de la gestión sostenible en la caficultura.

Se realizaron cuatro gráficos radiales acerca de los resultados de Buenas prácticas Agrícolas (Ver Figura 7), Diagrama Deforestación (Ver Figura 8), diagrama Gestión deficiente del recurso hídrico y subproductos del café (Ver Figura 9), diagrama Aumento de Rendimiento del cultivo del Café (Ver Figura 10), para analizar la distribución de los resultados de la encuesta, permitiendo identificar fortalezas, oportunidades y desafíos en la gestión de lixiviados del café, el uso eficiente de recursos y la adopción de prácticas sostenibles. Estos gráficos facilitaron la visualización de las relaciones entre las diferentes dimensiones evaluadas, destacando la necesidad de optimizar la gestión de subproductos y la conservación de fuentes hídricas. Si bien la fertilización no emergió como un factor crítico en estos análisis, la percepción de su complejidad y la alta dependencia de insumos agrícolas evidencian la oportunidad de reducir costos y mejorar la eficiencia mediante el aprovechamiento de biomasa residual para la producción de biocarbón. Esto permitiría fomentar el uso de materiales orgánicos estabilizados y subproductos del café en la elaboración de enmiendas

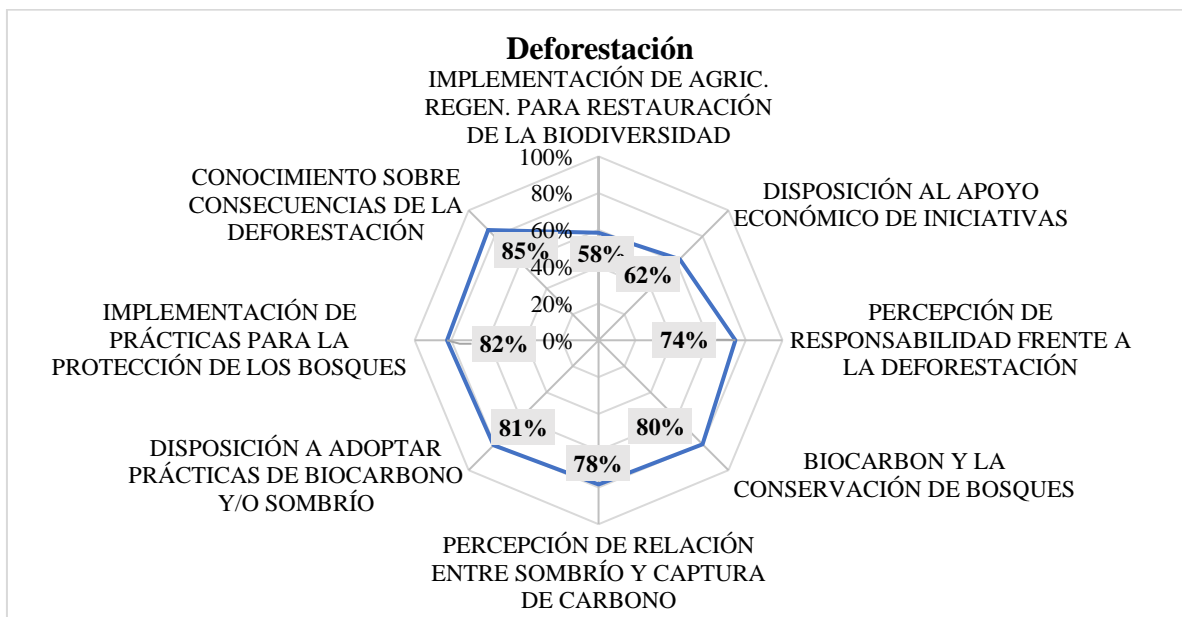
sostenibles, promoviendo un enfoque de economía circular en la caficultura. Estos hallazgos refuerzan la importancia de la transición hacia una agricultura regenerativa y la implementación de estrategias para la gestión de carbono, enmarcadas dentro del diagnóstico de necesidades para la empresa LDC. A continuación, se presentan los diagramas por cada eje evaluado.

**Figura 7.** Diagrama de Buenas prácticas agronómicas



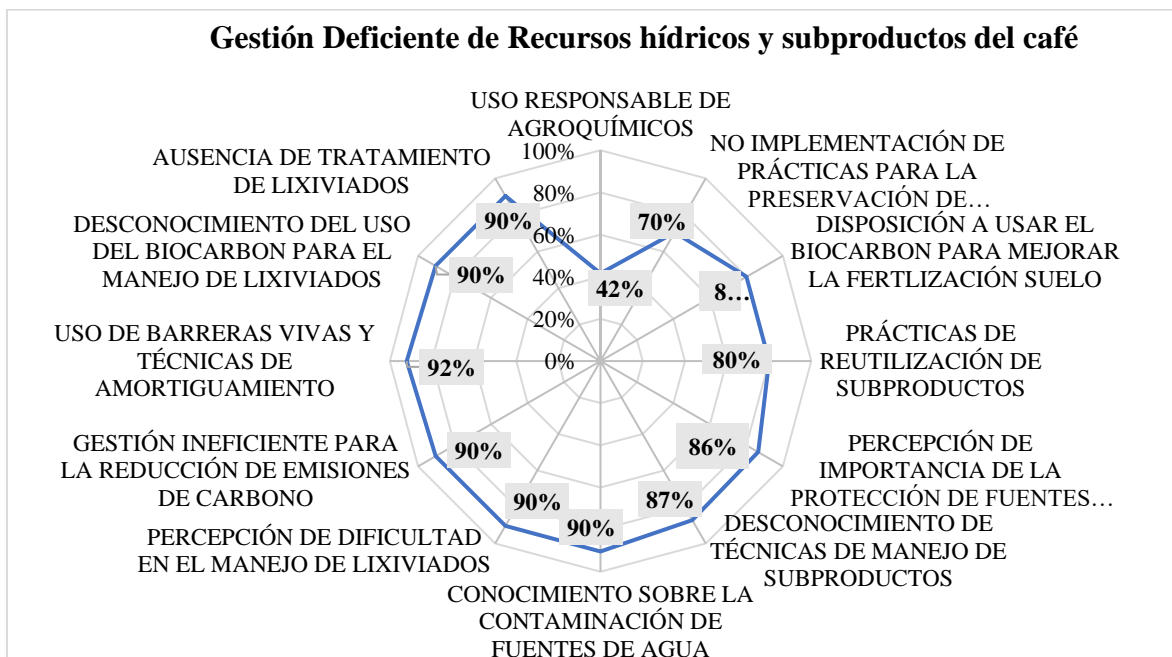
**Fuente:** elaboración propia.

**Figura 8.** Diagrama Deforestación



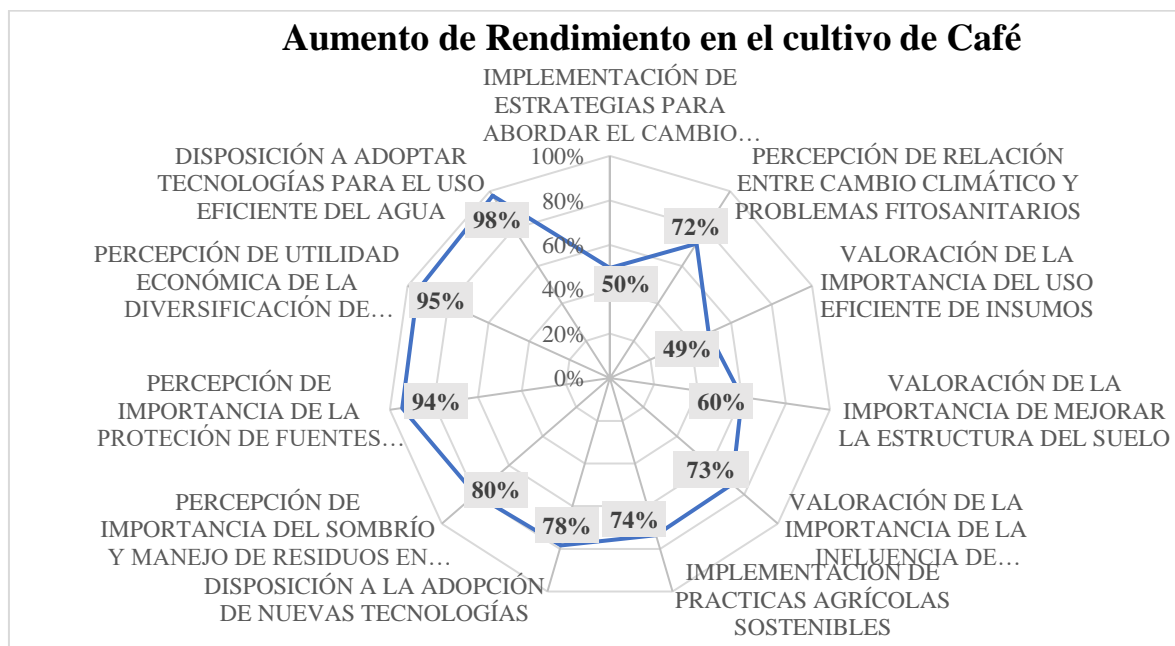
**Fuente:** elaboración propia.

**Figura 9.** Diagrama Gestión deficiente del recurso hídrico y subproductos del café



**Fuente:** elaboración propia.

**Figura 10.** Diagrama Aumento de Rendimiento del cultivo del Café



**Fuente:** elaboración propia.

El análisis de las gráficas 7 al 10 resalta que las variables con valores superiores a 3,5 representan áreas prioritarias para intervenciones estratégicas en las fincas cafeteras. Entre las fortalezas clave se destacan:

**Buenas Prácticas Agrícolas:** La percepción de importancia del manejo de suelos y fertilización (64%) refleja un compromiso con la sostenibilidad. Sin embargo, aún existen desafíos en la implementación de análisis de suelos (61%) y en la adopción de técnicas de conservación del suelo (70%). La disposición a adoptar la agricultura regenerativa (90%) y la preocupación por el impacto del cambio climático en los rendimientos (90%) refuerzan la necesidad de estrategias resilientes.

**Deforestación y Biodiversidad:** La protección de los bosques (82%) y el conocimiento sobre las consecuencias de la deforestación (85%) evidencian una conciencia ambiental creciente entre los caficultores. No obstante, la implementación de agricultura regenerativa para la restauración de la biodiversidad (58%) sigue siendo una oportunidad de mejora. Además, la disposición a adoptar prácticas de biocarbón y/o sombrío (81%) sugiere interés en estrategias de mitigación ambiental

**Protección de Fuentes de Agua:** La percepción de importancia de la protección de fuentes hídricas (86%) y el uso de barreras vivas y técnicas de amortiguamiento (92%) resaltan la necesidad de fortalecer estrategias de conservación del agua. No obstante, la ausencia de tratamiento de lixiviados (90%) y el desconocimiento sobre su manejo eficiente (90%) representan áreas críticas que requieren intervención.

**Optimización y Gestión de Residuos:** La gestión deficiente de subproductos del café (87%) sigue siendo un reto, pero la disposición a reutilizarlos (80%) y a utilizar biocarbón para mejorar la fertilización del suelo (80%) abren oportunidades para el desarrollo de soluciones innovadoras. Sin embargo, el desconocimiento del uso del biocarbón para el manejo de lixiviados (90%) indica la necesidad de mayor capacitación y acceso a tecnología.

Finalmente, se realizó una pregunta para identificar los principales temas de interés (Ver Figura 11) de los expertos en sostenibilidad, sobre los cuales la empresa LDC debería enfocarse para fortalecer su compromiso con la sostenibilidad. Siendo esto un insumo para priorizar las acciones tras los resultados del diagnóstico. Desde los expertos se resaltan la innovación en técnicas y tecnologías de biocarbón y gestión de residuos. Es fundamental que LDC busque constantemente

nuevas formas de mejorar sus procesos de gestión de residuos y una alternativa como lo es el biocarbón. Esto fortalecerá la labor de recuperación del suelo y la productividad, además de agregar valor a los subproductos del proceso de beneficio.

**Figura 11.** Análisis de la encuesta desde los Expertos



**Fuente:** elaboración propia.

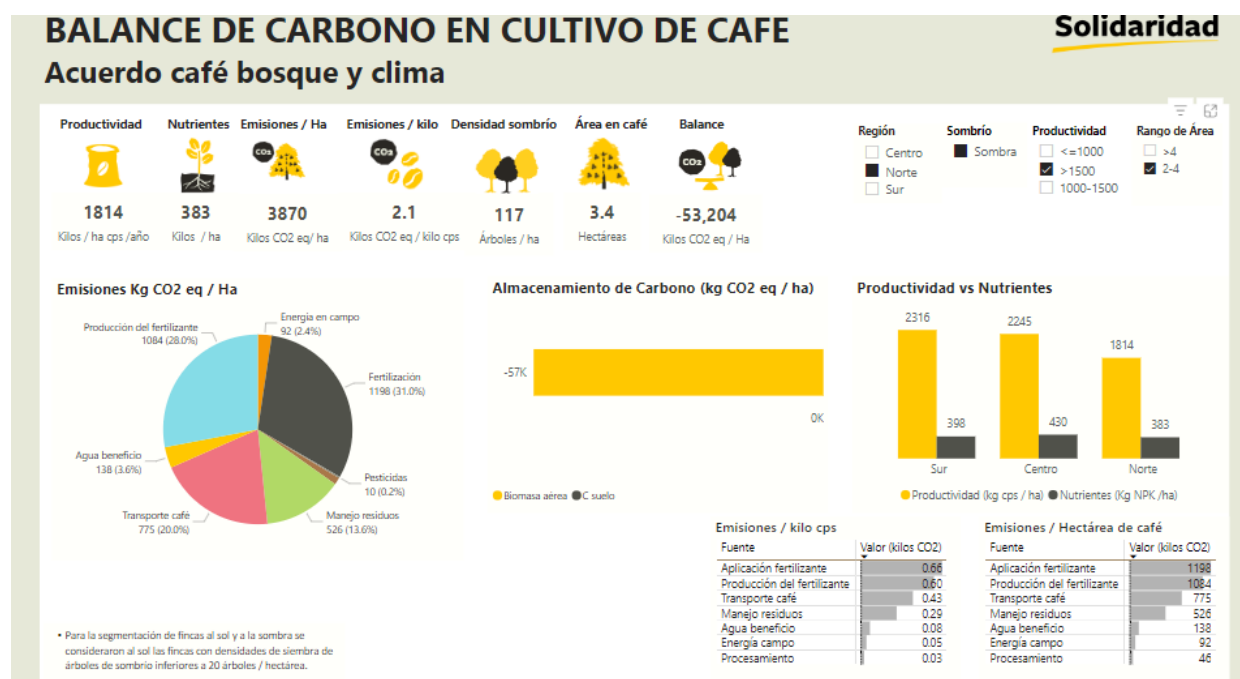
Este análisis permite encontrar que el impulso al fortalecimiento de la industria de los subproductos del café es importante generar alianzas, acuerdos e incidencia a nivel local y nacional para fortalecer y generar valor a estos disminuyendo el uso de abonos químicos y minimizando GEI. Fomento de la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia de la gestión de residuos para que sea una fortaleza y no una debilidad. A través de programas educativos y de sensibilización, es esencial involucrar a todos los participantes de la cadena de valor, desde la comunidad general, que actúa como fuente, hasta las grandes industrias, que son los clientes finales. Esto debe realizarse con una visión sistémica de la cadena de valor y esencial en la transición hacia una agricultura regenerativa.

### **7.3 Análisis herramienta Solidaridad**

Una vez obtenidos los resultados de la encuesta y realizado el análisis, se utilizó la herramienta de Solidaridad mediante el Dashboard Huella de Carbono de Acuerdo (Ver Figura 12), en el marco de la iniciativa Café Bosque y Clima (Solidaridad, 2024), para evaluar la problemática ambiental en la región Norte del país. Este análisis reveló que, del 100% de las emisiones de gases de efecto invernadero medidas en kilogramos de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea (Kg CO<sub>2</sub> eq/Ha), un 27,4% corresponde a la producción de fertilizantes químicos y un 36,7% a su aplicación en el campo, sumando un total del 64,1% de las emisiones generadas por el manejo de fertilizantes químicos.

Los fertilizantes químicos, aunque aumentan la productividad de los cultivos a corto plazo, contribuyen a la degradación del suelo, la contaminación del agua y las emisiones de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso, que tiene un impacto 300 veces mayor en el calentamiento global que el dióxido de carbono (MIT Climate Portal, 2021; Singh y Tripathi, 2020). Según Pérez y Gómez (2022), el biocarbón es crucial para la descarbonización de las fincas cafeteras, actuando como un secuestrador de carbono a largo plazo y mejorando las propiedades del suelo, lo que incrementa su capacidad de retención de agua y nutrientes. La combinación de fertilizantes orgánicos y biocarbón es una estrategia integral para la sostenibilidad de estas fincas. Sin embargo, destacan que el manejo inadecuado de los residuos del proceso de beneficio del café, como la pulpa y las aguas residuales, puede provocar contaminación y otros problemas ambientales, agravados por la falta de infraestructura y conciencia ambiental.

**Figura 12.** Tablero de control de la huella de carbono de acuerdo café bosque y clima



**Fuente:** Solidaridad, 2024.

De igual forma el procesamiento de los datos obtenidos mediante Cool Farm Tool COFFEE (Ver Tabla 10), practicada a la finca Los Eucaliptos permitió evaluar la estimación de las emisiones de carbono por fuente, analizando las prácticas agrícolas en la finca, centrándose en la sostenibilidad y la reducción de emisiones de GEI. La encuesta propia abordó temas como agricultura regenerativa, biocarbón, deforestación, y protección de fuentes de agua, mientras que la Cool Farm Tool COFFEE cuantificó las emisiones de GEI. Este análisis identificó áreas clave para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental, permitiendo que los datos recopilados identifiquen las principales fuentes de emisión.

**Tabla 10.** Estimación GEI finca los eucaliptos

<b>Fuente</b>	<b>Emisiones anuales (Toneladas de CO<sub>2</sub>e)</b>
Fertilización nitrogenada	20.5
Consumo de energía eléctrica	15.2
Consumo de combustible fósil	12.7
Producción de aguas mieles	8.9
Descomposición de pulpa de café	9.4
Otros residuos orgánicos	5.3
Total, estimado de emisiones	71

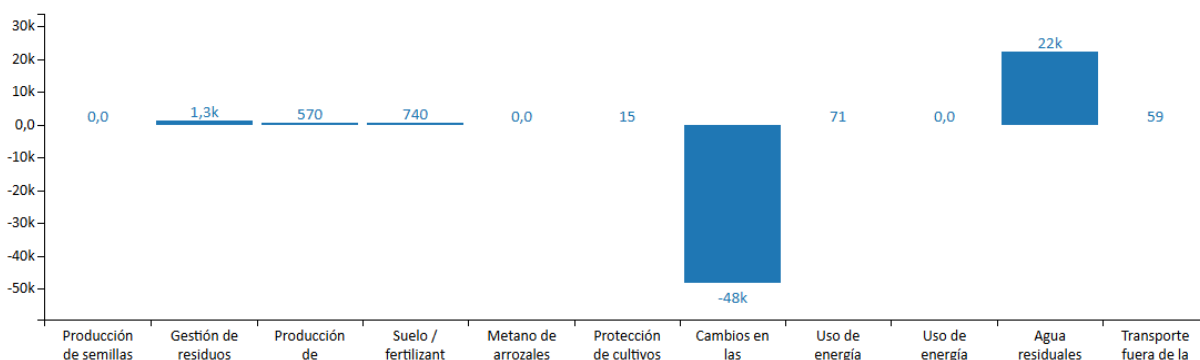
**Fuente:** Solidaridad, 2024.

Este análisis cuantitativo demuestra que las principales fuentes de emisiones de la finca Los Eucaliptos provienen de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, seguido por el consumo de energía eléctrica y combustibles fósiles, a continuación, se detallan las actividades más significativas y sus impactos en términos de emisiones:

- **Fertilización nitrogenada:** Esta actividad contribuyó con 20.5 toneladas de CO<sub>2</sub>e anuales. La aplicación de fertilizantes nitrogenados libera óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), un gas con un potencial de calentamiento global aproximadamente 298 veces mayor que el CO<sub>2</sub>. Este dato es crítico, ya que la gestión adecuada de la fertilización puede representar una oportunidad significativa para reducir las emisiones totales.

- **Consumo de energía eléctrica:** La finca depende de energía eléctrica para diversas actividades, desde el riego hasta el procesamiento del café. Se estimaron 15.2 toneladas de CO<sub>2e</sub> anuales provenientes del uso de energía, lo que sugiere una dependencia considerable de fuentes de energía no renovables.
- **Consumo de combustibles fósiles:** Las emisiones derivadas del uso de maquinaria agrícola y transporte sumaron 12.7 toneladas de CO<sub>2e</sub>. Esta categoría representa una oportunidad para explorar tecnologías más eficientes o el uso de biocombustibles.
- **Producción de aguas mieles y pulpa de café:** Durante el procesamiento del café, la descomposición anaeróbica de subproductos orgánicos generó 18.3 toneladas de CO<sub>2e</sub> combinadas (8.9 toneladas de aguas mieles y 9.4 toneladas de pulpa de café). Este hallazgo subraya la importancia de optimizar la gestión de residuos orgánicos, lo que también podría mejorar la sostenibilidad general del sistema.

La herramienta Cool Farm Tool de Solidaridad, utilizada en la Finca Los Eucaliptos, (Ver Figura 13) las emisiones totales (kg CO<sub>2e</sub>) y destaca los impactos ambientales del procesamiento del café. Los resultados varían, mostrando beneficios en la categoría 'Cambios en las tierras' debido a prácticas de conservación, mientras que los impactos negativos más notables se observan en el manejo de aguas residuales y las emisiones de transporte. En conjunto, la gráfica facilita una visión clara de la huella ambiental y subraya oportunidades para optimizar las prácticas y reducir los impactos adversos (Cool Farm Tool, 2016).

**Figura 13.** Emisiones totales (kg CO<sub>2</sub>e) Finca Los Eucaliptos

**Fuente:** Cool Farm Tool, 2016.

La metodología implementada en este estudio se fundamentó en un enfoque integral que combinó la recolección de datos, análisis cuantitativo y planificación estratégica para evaluar el aprovechamiento de biomasa residual en fincas cafeteras y su transformación en biocarbón como una estrategia clave para la mitigación de emisiones de carbono y la transición hacia una agricultura regenerativa. Inicialmente, se llevó a cabo un diagnóstico detallado de las prácticas agrícolas en la finca Los Eucaliptos, con el objetivo de analizar la gestión de biomasa residual y subproductos del café. Para ello, se aplicó el Diagnóstico de Prácticas Sostenibles y Aprovechamiento de Biomasa en Fincas Cafeteras (DPSAB), complementado con la herramienta Cool Farm Tool COFFEE (Ver Tabla 11), lo que permitió, cuantificar la huella de carbono asociada a las prácticas agrícolas actuales, evaluar la gestión de residuos y subproductos con enfoque en su aprovechamiento para la producción de biocarbón, se identificó las oportunidades y limitaciones en la implementación del biocarbón como estrategia regenerativa en la caficultura.

A partir de los datos obtenidos, se cuantificó la huella de carbono de la finca Los Eucaliptos, lo que permitió evaluar las emisiones generadas y el impacto del biocarbón como alternativa para la captura de carbono y regeneración del suelo. Con base en estos resultados, se identificaron

acciones estratégicas para la reducción de emisiones, priorizando aquellas prácticas que optimizan el uso de biomasa residual y que son viables y efectivas a corto y mediano plazo. Asimismo, se estableció un sistema de seguimiento y evaluación para garantizar una retroalimentación continua, permitiendo ajustes estratégicos y asegurando la mejora progresiva en la gestión de emisiones. Este enfoque integral respalda el uso del biocarbón como una solución sostenible en la caficultura, promoviendo la valorización de los subproductos del café y contribuyendo a la reducción de la huella de carbono, en el marco del diagnóstico de necesidades para la empresa LDC.

**Tabla 11.** GEI monitoreo Finca Los Eucaliptos

<b>Emisiones Totales</b>	<b>Emisiones por hectárea</b>	<b>Emisiones por Kilogramo</b>
-23,17 Kg CO <sub>2</sub> e	-11,59 Kg CO <sub>2</sub> e	-23,17 CO <sub>2</sub> e

**Fuente:** Tomado de la herramienta Cool Farm Tool COFFEE, 2024.

### **Emisiones Totales de GEI**

Las emisiones totales generadas por la finca Los Eucaliptos alcanzaron un valor negativo de -23.17 toneladas de CO<sub>2</sub>e. Este valor negativo indica que la finca ha compensado sus emisiones de gases de efecto invernadero y ha capturado más carbono del que ha emitido, situándose en un equilibrio positivo en términos ambientales (Cool Farm Tool, 2016).

### **Emisiones por hectárea**

En cuanto a las emisiones por hectárea, el valor registrado fue de -11.59 toneladas de CO<sub>2</sub>e por hectárea. Este indicador permite evaluar la eficiencia de la finca en la gestión de carbono a nivel de superficie, sugiriendo que las estrategias implementadas, tales como el uso de biocarbón

y prácticas sostenibles, han sido altamente efectivas en la captura de carbono (Cool Farm Tool, 2016).

### **Emisiones por Kilogramo de café Producido**

Un indicador esencial para el análisis del impacto ambiental de la finca es la relación entre las emisiones y la producción de café. Los resultados muestran que la finca ha logrado capturar - 23,17 kg de CO<sub>2</sub>e por kilogramo de café producido. Este valor refuerza la idea de que, por cada kilogramo de café producido, la finca Los Eucaliptos está capturando más carbono del que emite, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de su producción (Cool Farm Tool, 2016).

### **Evaluación del impacto ambiental**

Para entender mejor el impacto ambiental de las emisiones, se emplearon dos indicadores clave:

#### **Impacto Absoluto**

El impacto absoluto de las emisiones de carbono fue calculado como las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e emitidas por todas las actividades de la finca. Las emisiones totales negativas sugieren que la finca está operando en condiciones de carbono negativo, lo que es un resultado altamente favorable desde la perspectiva de la sostenibilidad ambiental (Cool Farm Tool, 2016).

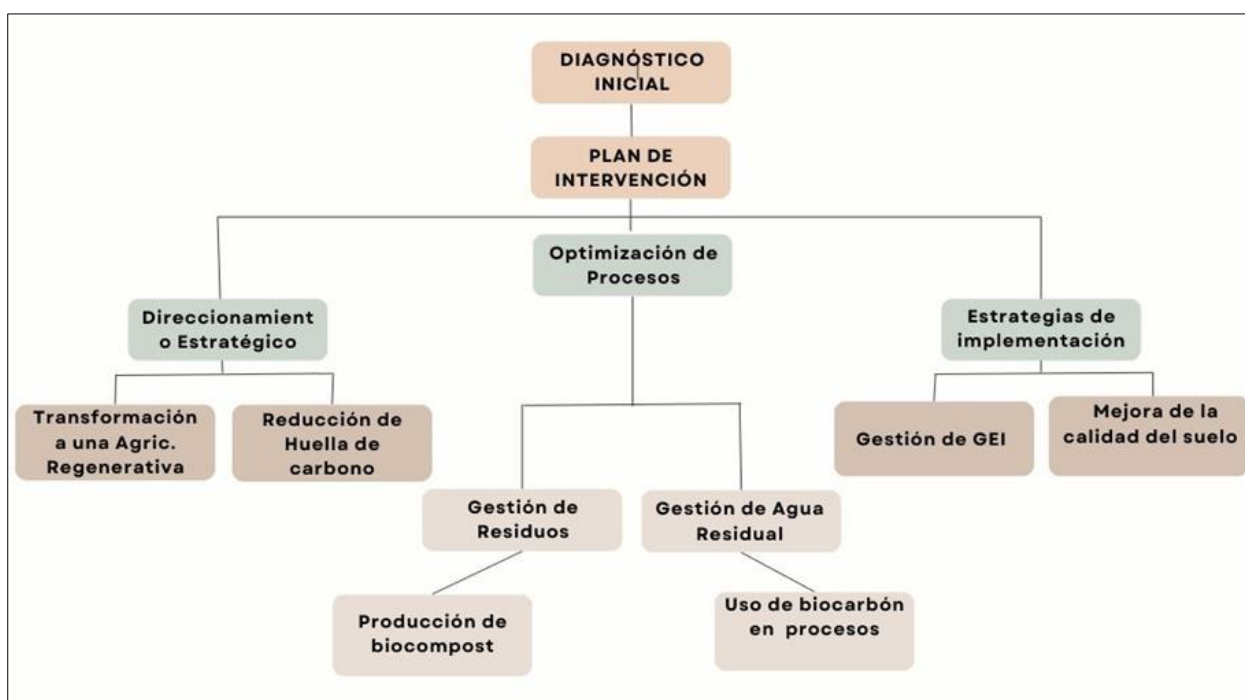
#### **Impacto Relativo**

Este indicador compara las emisiones totales con la producción de café, expresándose como emisiones por kilogramo de café producido. Los resultados muestran que, por cada kilogramo de café producido, la finca ha capturado una cantidad considerable de CO<sub>2</sub>e, (Cool Farm Tool, 2016).

## 8. Plan de Intervención

A partir de un diagnóstico elaborado con las principales variables, respaldado por una validación bibliográfica y datos de alta calidad obtenidos a través de una encuesta, se propone un plan de intervención (Ver figura 14), piloto en la Finca Los Eucaliptos, ubicada en el municipio de Confines, Santander. Este plan tiene como objetivo principal implementar estrategias de gestión de biomasa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), optimizar los procesos productivos y promover la sostenibilidad ambiental. La propuesta se estructura en tres ejes principales: direccionamiento estratégico, optimización de procesos e innovación, los cuales serán desarrollados en detalle para garantizar su implementación exitosa.

**Figura 14.** Esquema Plan de intervención



**Fuente:** elaboración propia.

## **8.1 Metodología del Plan de Intervención**

Este se estructura metodológicamente en diferentes fases que permiten evaluar la viabilidad y beneficios del aprovechamiento de biomasa residual en la caficultura mediante la aplicación de biocarbón. La metodología se fundamenta en tres ejes estratégicos: direccionamiento estratégico, optimización de procesos y estrategias de implementación (Ver figura 14), los cuales permiten establecer una ruta clara para la transformación de la finca hacia un modelo de producción sostenible y regenerativo.

### **8.1.1 Direccionamiento Estratégico**

El direccionamiento estratégico de la Finca Los Eucaliptos se enfoca en transformar sus operaciones hacia un modelo de producción agrícola regenerativa. El objetivo principal es reducir paulatinamente la huella de carbono por kilogramo de café producido, optimizando procesos en prácticas agrícolas clave como la gestión de residuos, el uso eficiente del agua y la protección de las fuentes hídricas, y el manejo sostenible de fertilizantes. Para lograr esto, se implementarán tecnologías limpias y se incorporará el uso de biocarbón, disminuyendo así la contaminación y la dependencia de fertilizantes químicos. De esta manera, se aumentará la sostenibilidad de las operaciones de la finca, se reducirán las principales fuentes de emisiones de carbono y se mejorará la eficiencia operativa.

### **8.1.2 Optimización de Procesos**

La optimización de procesos en la Finca Los Eucaliptos se enfoca en la gestión sostenible de residuos y agua residual. En la gestión de residuos, el compostaje se presenta como una práctica clave para cerrar el ciclo de nutrientes y reducir el envío de residuos orgánicos a vertederos. Para ello, se seleccionan materiales adecuados como restos de poda, hojas secas y estiércol, evitando contaminantes. La construcción de pilas de compost aeróbicas con aireación y mezcla equilibrada de materiales, junto con el monitoreo de la temperatura y humedad, asegura un compost de alta

calidad en menos tiempo. En cuanto al agua residual, se propone el uso de biocarbón (biochar) como enmienda del suelo para capturar carbono, mejorar la eficiencia en la gestión de lixiviados y actuar como filtro natural para purificar el agua, atrapando metales pesados y otros contaminantes, lo cual optimiza el tratamiento y reutilización del agua.

### **8.1.3 Estrategias de Implementación**

En consonancia con los principios de la agricultura sostenible, se plantea la implementación de biocarbón combinado con la pulpa del café y/o microorganismos eficientes a lo que llamaremos biocarbón fermentado, como una estrategia para reducir la huella de carbono de la finca, ya que son consorcios de bacterias y hongos benéficos que aceleran la descomposición de materia orgánica y mejoran la salud del suelo, además del aprovechamiento nutricional que tiene la pulpa. Esta combinación permite capturar carbono y almacenarlo en el suelo de manera estable a largo plazo y enriquecer la microbiota del suelo, mejorando su fertilidad y estructura. Así, se contribuye significativamente a la mitigación del GEI, mientras se promueve la circularidad de nutrientes al integrar residuos de manera eficiente en el sistema agrícola. (Rodríguez & Pérez, 2022)

El impacto esperado de esta intervención incluye una mejora ambiental paulatina, lograda mediante la reducción de la contaminación por lixiviados y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) gracias al uso eficiente de la pulpa de café y del biocarbón. También, se promoverá la sostenibilidad agrícola al disminuir la dependencia de fertilizantes químicos, incentivando la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles y regenerativas. También se anticipa un aumento en la calidad del café, reflejado en una mejor percepción sensorial de la taza, lo cual incrementará su valor comercial. Este enfoque integral, respaldado por un análisis riguroso y la implementación de prácticas sostenibles, proporcionará resultados sólidos que apoyarán la

adopción del biocarbón en la producción de café, contribuyendo a la viabilidad económica y al cuidado del medio ambiente (Smith & Jones, 2021).

Se propone una metodología experimental para evaluar la efectividad de diferentes dosis de biocarbón en la mejora de la productividad y sostenibilidad de cafetales. El estudio se centrará en la aplicación de biocarbón elaborado a partir de la biomasa residual de la poda y la pulpa de café. A través de un diseño experimental riguroso, se analizará el impacto de distintas dosis de biocarbón en las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en el rendimiento y la calidad del café. Asimismo, se evaluará el potencial del biocarbón para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la captura de carbono en el suelo. Así, se pretende identificar la dosis óptima que maximice los beneficios tanto productivos como ambientales, promoviendo la sostenibilidad del sistema productivo evaluando los siguientes parámetros:

1. Determinar los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo tras la aplicación de biocarbón.
2. Analizar la influencia del biocarbón en la calidad de la taza de café.
3. Reducir la dependencia de fertilizantes químicos y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante la integración del biocarbón como alternativa sostenible.
4. Mejorar la gestión de residuos del proceso de despulpado del café,

Esta propuesta metodológica plantea varias hipótesis para analizar los efectos del biocarbón en el cafetal desde varias perspectivas. Algunas posibles hipótesis a analizar son las siguientes:

Hipótesis 1. Efecto del biocarbón en el rendimiento del cultivo: La aplicación de biocarbón aumentará el rendimiento del cultivo de café, con el número de frutos por planta y el peso seco de los granos en comparación con las parcelas sin biocarbón

Hipótesis 2. Efecto del biocarbón en el rendimiento del cultivo: Existen diferencias significativas en el rendimiento del cultivo (producción total) entre las distintas dosis de biocarbón aplicadas

Hipótesis 3. Efecto del biocarbón en las propiedades del suelo: El biocarbón mejorará las propiedades físicas y químicas del suelo.

Hipótesis 4. Efecto del biocarbón en la calidad de la taza: La aplicación de biocarbón tendrá un impacto positivo en la calidad sensorial de la taza de café, mejorando los atributos sensoriales del café, como el sabor, aroma, acidez y cuerpo, en comparación con las parcelas sin biocarbón.

Hipótesis 5: Reducción de fertilizantes químicos y emisiones de GEI: La aplicación de biocarbón permite reducir significativamente el uso de fertilizantes químicos sin comprometer el rendimiento del cultivo.

Hipótesis 6: Reducción de fertilizantes químicos y emisiones de GEI: La aplicación de biocarbón reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en comparación con los tratamientos sin biocarbón.

Hipótesis 7: Efecto de gestión de residuos: la incorporación de biocarbón disminuye significativamente la contaminación ambiental, reduciendo problemas asociados a lixiviados y proliferación de plagas y enfermedades.

Para verificar estas hipótesis, se llevará a cabo un experimento en campo donde se compararán diferentes dosis de biocarbón mezcladas con pulpa de café en la zona de proceso de despulpado. Esta práctica busca optimizar el manejo de los residuos de la producción de café, reduciendo la contaminación en procesos de beneficio del café y mejorando la fertilidad del suelo al ser aplicado,

esperando de esta manera, contribuir a disminuir la necesidad de fertilizantes químicos y, en consecuencia, las emisiones de GEI."

La implementación de este plan (Ver Tabla 12) de intervención en la finca Los Eucaliptos se proyecta como un modelo de producción regenerativa que combina tecnologías limpias, prácticas sostenibles, y herramientas de gestión de carbono para mejorar la productividad y la calidad del café mientras se reduce la huella ambiental y se desarrollará en varias etapas.

**Tabla 12.** Etapas de Implementación del Plan de Intervención en la Finca Los Eucaliptos

<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>
1. Selección del sitio	El propietario de la finca debe estar dispuesto el tiempo requerido para la implementación de las parcelas, al igual que tener disponibilidad de recursos como agua
2. Preparación del biocarbón y mezcla inicial	Se requiere que el biocarbón esté fermentado ya que por su propiedad porosa absorbe los nutrientes de la pulpa haciéndolos disponible a la planta
3. Selección de tratamientos y diseño experimental	<p>Debe haber uniformidad en las parcelas preferiblemente de plantas ya establecidas y Comparar varias dosis de biocarbón (0%, 50%,100%). Realizar diseño completamente aleatorizado o bloques al azar.</p> <p><b>Tamaño de parcela:</b> Cada parcela tendrá un área de <b>10 m<sup>2</sup></b> (por ejemplo, 5 filas con 5 plantas por fila).</p> <p><b>Distancia entre plantas:</b> 1.5 metros.</p>

	<b>Número de réplicas:</b> Cada tratamiento se replicará en <b>4 bloques</b> para asegurar la validez estadística y compensar variabilidad ambiental.
4. Monitoreo del suelo y variables a evaluar	Evaluar propiedades físicas y químicas del suelo antes y después mediante análisis de suelos. Medir indicadores de rendimiento del cultivo (frutos/planta, peso seco, producción total). Mediante análisis a biomasa, grados brix, la actividad enzimática y la composición nutricional de las plantas.
5. Evaluación de la calidad de la taza	Realizar análisis sensoriales (sabor, aroma, acidez, cuerpo) para evaluar el impacto del biocarbón en la calidad de la taza.
6. Reducción de fertilizantes químicos y emisiones de GEI	Registrar la reducción de fertilizantes y comparar emisiones de GEI en los diferentes tratamientos.
7. Análisis estadístico	Aplicar análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas y la dosis óptima de biocarbón.

Fuente Elaboración propia

### **Producción de Biocarbón a partir de biomasa de Café**

La producción de biocarbón a partir de los residuos de la producción de café y producto del sombrío, es una práctica cada vez más popular debido a sus múltiples beneficios ambientales y agrícolas. El biocarbón, un carbón vegetal producido a través de un proceso de pirólisis en ausencia de oxígeno, mejora la calidad del suelo, secuestra carbono y puede ser utilizado como combustible. (Pérez, J. L.2023).

## **Proceso de Producción de Biocarbón**

1. **Recolección y preparación de la biomasa:** Se recolectan los residuos de café (hojas, ramas, cascarilla, etc.) y se secan para reducir su contenido de humedad. Luego, se trituran o fragmentan para facilitar el proceso de pirólisis.
2. **Pirólisis:** La biomasa se introduce en un reactor donde se somete a altas temperaturas (400-900°C) en ausencia de oxígeno. Durante este proceso, la biomasa se descompone en biocarbón, bio-aceite, biogás y cenizas.
3. **Enfriamiento y tamizado:** El biocarbón resultante se enfría y se tamiza para obtener el tamaño de partícula deseado.
4. **Enriquecimiento:** El biocarbón debe ser enriquecido con nutrientes como fósforo o potasio para mejorar sus propiedades fertilizantes.

## **Materiales Necesarios**

- **Biomasa:** Residuos de café (hojas, ramas, cascarilla, pulpa, etc.)
- **Reactor de pirólisis:** Puede ser un reactor industrial a gran escala o un reactor más sencillo construido con materiales locales.
- **Sistema de calentamiento:** Puede ser una fuente de calor externa (gas, electricidad) o interna (utilizando parte del biogás producido).
- **Sistema de enfriamiento:** Para enfriar el biocarbón producido.
- **Equipo de tamizado:** Para obtener el tamaño de partícula deseado.

## **Tipos de Reactores de Pirólisis**

Existen diferentes tipos de reactores de pirólisis, cada uno con sus propias características y capacidades (Bridgwater, 2012; Mohan, Pittman & Steele, 2006); entre ellos destacan los reactores de lecho fijo, que son los más simples y económicos pero presentan una menor capacidad de producción (Lehmann & Joseph, 2015), los reactores de lecho fluidizado, que permiten un mejor control de la temperatura y una mayor eficiencia en la producción de biocarbón (García-Pérez et al., 2008), y los reactores rotatorios, adecuados para procesar grandes volúmenes de biomasa y obtener un biocarbón de alta calidad (Bridgwater, 2012).

### **8.2 Diseño Experimental**

El experimento (Ver Tabla 13) se llevará a cabo durante un período de tres a seis años en una finca cafetera, utilizando parcelas seleccionadas con características homogéneas en cuanto a suelo, clima y variedad de café. El diseño experimental consistirá en un esquema de bloques completamente al azar, con parcelas subdivididas y 4 réplicas por tratamiento, asegurando la homogeneidad en el tamaño de las parcelas (se sugiere, 10 m<sup>2</sup> por parcela o 500 plantas) y su distancia para evitar efectos de borde.

Se aplicarán diferentes dosis de biocarbón mezclado con fertilizante NPK en las parcelas, con las siguientes dosis de biocarbón: 0, 50 y 100% (ver tabla 12). La caracterización del biocarbón utilizado será esencial para garantizar la uniformidad entre tratamientos, por lo que se analizará su composición química y propiedades físicas, asegurando que la materia prima sea la misma para todos los tratamientos. Durante el experimento, se llevarán a cabo análisis periódicos del suelo, evaluando propiedades físicas y químicas como el contenido de materia orgánica, pH, densidad

aparente y capacidad de retención de agua. De igual forma, se registrarán factores climáticos como temperatura, precipitación y humedad del suelo.

El objetivo principal es evaluar diferentes dosis de biocarbón como alternativa de manejo de residuos y fertilización. La mezcla de pulpa de café y biocarbón en proporciones 50%-50% se aplicará a la zona de proceso de despulpado con la finalidad de corregir una de las principales fuentes de contaminación, ya que la alta humedad de la pulpa dificulta su descomposición y contribuye a la generación de lixiviados, que promueven la proliferación de plagas y enfermedades. Este manejo también busca mejorar la eficiencia de las fuentes de fertilización, disminuyendo progresivamente la necesidad de fertilizantes químicos y reduciendo así significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Durante el período del experimento, se evaluarán periódicamente variables clave como el rendimiento de café en grano, el tamaño de las bayas, el contenido de cafeína, grados brix y la acidez del café. Del mismo modo, se realizarán análisis sensoriales para evaluar la calidad de la taza, incluyendo parámetros como el aroma, el sabor, y el cuerpo del café.

Finalmente, los resultados de este experimento permitirán determinar la dosis óptima de biocarbón y su impacto en la sostenibilidad de la producción de café, y buscar reducir la huella de carbono del sistema productivo mediante la implementación de prácticas agrícolas regenerativas.

**Tabla 13.** Unidades experimentales

<b>Unidades Experimentales</b>	<b>Parcela</b>	<b>Área parcela (mt<sup>2</sup>)</b>	<b>Tipo de siembra.</b>	<b>Dosis</b>	<b>Réplicas</b>	<b>Proveniencia del biocarbón</b>

Tratamiento. T			zoca/siembr a			
(T1)	Parcela con aplicación de 50% biocarbón y 50% NPK	10 MT2 o 500 plantas	A definir	Dependiendo análisis de suelos	4	Café y forestales principalmente guamo
(T2)	Parcela con fertilización química.	10 MT2 o 500 plantas	A definir	Dependiendo análisis de suelos	4	Café y forestales principalmente guamo
(T0)	Parcela sin aplicación de biocarbón ni fertilizantes (control).	10 MT2 o 500 plantas	A definir	Sin control	4	Café y forestales principalmente guamo

**Fuente:** elaboración propia.

### 8.2.1 Variables a medir

En la evaluación que será implementada por LDC del impacto de prácticas agrícolas sostenibles, será crucial considerar diversas variables que reflejen tanto el crecimiento de las plantas como la salud del suelo y la calidad de los cultivos. Aspectos como la altura de la planta, la biomasa fresca y seca y el área foliar serán indicadores clave del crecimiento. Asimismo, se medirá el rendimiento del cultivo para evaluar la producción total de grano o fruto por unidad de área.

- La salud del suelo se analizará mediante la abundancia de microorganismos y la respiración microbiana, junto con análisis que medirán parámetros críticos como pH, materia orgánica y capacidad de retención de agua. También se evaluarán las emisiones de gases de efecto invernadero y las características del café, incluyendo tamaño de grano y perfil de taza. Finalmente, será esencial considerar las variables foliares, como el contenido de clorofila y nutrientes, así como los aspectos de sostenibilidad que abordan los impactos ambientales y socioeconómicos de la implementación de biocarbón en las fincas cafeteras.
- Para la medición del biocarbón en una finca cafetera se requerirá:
- Crecimiento de la planta: Se medirán la altura, biomasa fresca y seca, y área foliar.
- Rendimiento del cultivo: Se registrará la producción total de grano/fruto por unidad de área.
- Salud: Se evaluará la abundancia de microorganismos y la actividad microbiana.
- Propiedades del suelo: Se realizarán análisis de suelo antes y después del experimento para evaluar parámetros como pH, materia orgánica, contenido de nutrientes (N, P, K), capacidad de retención de agua, densidad aparente del suelo y porosidad.

- Emisiones de gases de efecto invernadero: Se medirán las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (opcional).
- Calidad del café: Se evaluarán características como tamaño de grano, densidad, contenido de humedad y perfil de taza (acidez, cuerpo, aroma, sabor, grados Brix).
- Variables foliares: Se analizará el contenido de clorofila, nitrógeno, fósforo y potasio.
- Sostenibilidad: Se considerarán los aspectos ambientales y socioeconómicos de la aplicación de biocarbón.

Estas mediciones permitirán evaluar de manera integral el impacto de las prácticas sostenibles y la implementación del biocarbón en las fincas cafeteras, orientando futuras decisiones para mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo.

### **8.2.2 Material y métodos**

La preparación del terreno será un paso esencial en la implementación de experimentos agrícolas, ya que implica dividir el área en bloques y parcelas de acuerdo con el diseño experimental seleccionado. Esto permitirá un análisis más preciso de los efectos de las intervenciones. Una vez que se estructure el terreno, se procederá a la aplicación del biocarbón, para asegurar que las distintas dosis se distribuyan uniformemente en cada parcela. Este enfoque metódico optimizará el uso del biocarbón y facilitará la evaluación de su impacto en el crecimiento de las plantas y la salud del suelo.

### **8.2.3 Cronograma y Análisis estadístico**

En este diseño experimental, se realizarán ajustes y modificaciones de acuerdo con las necesidades que se vayan presentando en el desarrollo y los desafíos del diseño. Diseño que también depende de la etapa y cronograma (Ver Tabla 14), en la que vaya a ser implementado el

proyecto dependiendo del ciclo productivo del café. Para garantizar la validez y la precisión de los resultados, es fundamental contar con la asesoría de un estadístico, quien ayudará a asegurar que el diseño experimental sea adecuado y que el análisis de los datos se realice correctamente. Una vez se obtengan los resultados, debe llevarse a cabo un análisis estadístico, implementando herramientas y pruebas apropiadas para identificar patrones, relaciones y diferencias significativas entre los tratamientos. (Field, 2018). Esto permitirá extraer conclusiones sólidas sobre el impacto de las intervenciones realizadas, asegurando la rigurosidad científica del estudio. (Creswell & Creswell, 2018).

**Tabla 14.** Cronograma de las prácticas implementadas en un ciclo productivo completo del cultivo de café

Ítems	Duración (meses)	Fecha inicio de cada etapa (en meses)	Fecha final de cada etapa (en meses)	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<b>Ubicación</b>									
Asesoría y consultoría (estudios y diseños aprobados)	4 meses	Enero/2025	Mayo/2025						
Elección Unidad experimental	1 mes	Enero/2025	Febrero/2025						
Selección de sitio y elaboración testigos	1 mes	Marzo/2025	Marzo/2025						
Elaboración parcelas	3 meses	Marzo/2025	Mayo/2025						
Análisis de suelos pre y post	bianual	Marzo/2025	Marzo/2030						
<b>Análisis de Tratamientos</b>									
Seguimiento Testigos	mensual	Marzo/2025	1/11/2030						
Análisis calidad de café	mensual	Marzo/2025	1/11/2030						
Análisis foliares	bianual	Marzo/2025	1/11/2030						
<b>Control</b>									
Muestreo	mensual	Marzo/2025	1/11/2030						
Monitoreo	mensual	Marzo/2025	1/11/2030						

**Fuente:** Elaboración propia.

Respecto a los costos estimados (Ver Tabla 15),50 contrasta la rentabilidad en la producción de café con y sin biocarbón evidencia que la implementación de esta tecnología aporta un aumento significativo en la tasa interna de retorno - TIR, donde el 26% representa prácticas sin biocarbón y

33% con biocarbón. Este incremento se debe al impacto positivo del biocarbón en la productividad de las plantas, elevando en un 20% la cantidad de carga de café obtenida por hectárea. Sin biocarbón, la producción de una hectárea tiende a fluctuar, con una disminución notable en años específicos, particularmente al final del ciclo de vida productivo (año 6). Con biocarbón, aunque los costos de producción aumentan, el incremento en los ingresos gracias al mayor volumen de producción compensa estos costos, generando beneficios netos más altos. Así, la incorporación de biocarbón además de mejorar la productividad, también contribuye a la estabilidad económica y la sostenibilidad ambiental en la producción cafetera, al reducir la dependencia de fertilizantes químicos y mejorar las condiciones del suelo.

**Tabla 15.** Costos estimados del plan para el aprovechamiento de la biomasa en finca cafetera mediante biocarbón

SIN BIOCARBÓN	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
	Costos	Ingresos 2025	Ingresos 2026	Ingresos 2027	Ingresos 2028	Ingresos 2029	Ingresos 2030
Valor carga de café al año promedio (aumento por año de acuerdo con precio en bolsa y dólar)		\$ 1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Cantidad de carga de café al año por 1 hectárea (SIN implementación de biocarbón)		12	15	17	20	16	10
Venta de carga de café/ 1 hectárea (SIN implementación de biocarbón)		\$ 14.400.000	\$ 18.000.000	\$ 20.400.000	\$ 24.000.000	\$ 19.200.000	\$ 12.000.000
Costo de producción 1 hectárea		\$ 14.368.640	\$ 15.901.600	\$ 17.343.041	\$ 19.505.202	\$ 16.622.323	\$ 12.298.005
<b>Total</b>	<b>\$ (5.376.800)</b>	<b>\$31.360</b>	<b>\$2.098.400</b>	<b>\$3.056.959</b>	<b>\$4.494.798</b>	<b>\$2.577.677</b>	<b>\$(298.005)</b>
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>26%</b>						

CON BIOCARBÓN	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
	Costos estimados	Ingresos 2025	Ingresos 2026	Ingresos 2027	Ingresos 2028	Ingresos 2029	Ingresos 2030
Valor carga de café al año (aumento por año de acuerdo a precio en bolsa y dólar)		\$ 1.200.000	\$1.200.000	\$1.200.000	\$1.200.000	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Cantidad de carga de café al año por 1 hectárea (CON implementación de biocarbón / incremento 20% productividad)		12	18	20	24	19	12
Venta de carga de café/ 1 hectárea (CON implementación de biocarbón)		\$14.400.000	\$21.600.000	\$24.480.000	\$28.800.000	\$23.040.000	\$14.400.000
Costo de producción 1 hectárea		\$14.963.520	\$18.635.760	\$20.903.168	\$22.960.080	\$20.038.304	\$14.311.440
<b>Total</b>	<b>\$ (5.376.800)</b>	<b>\$(563.520)</b>	<b>\$2.964.240</b>	<b>\$3.576.832</b>	<b>\$5.839.920</b>	<b>\$3.001.696</b>	<b>\$88.560</b>
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	<b>33%</b>						

**Fuente:** elaboración propia.

Los costos presentados son aproximados y pueden variar significativamente ya que para un proyecto de biocarbón en café, es fundamental considerar varios rubros como la producción del biocarbón, incluyendo materia prima, energía y mano de obra. Su aplicación en el cultivo, especialmente, en mano de obra, equipos, transporte, los análisis de suelo y seguimiento, la capacitación de productores e imprevistos. Cada rubro debe detallar las unidades, costos unitarios y totales involucrados. Es importante destacar factores como la región, el tamaño del proyecto y los proveedores locales. Para completar el Plan para el Aprovechamiento de la biomasa desde los costos asociados, se requiere información específica sobre el proyecto, como la cantidad de biocarbón a producir, el área de cultivo y la frecuencia de los análisis de suelo, con esto se obtiene una visión clara de los recursos necesarios y específicos para facilitar la toma de decisiones informadas sobre la viabilidad y el diseño del proyecto. Es fundamental considerar opciones de financiamiento, contrapartida del productor que garantiza la sostenibilidad a largo plazo y la definición de indicadores de desempeño para evaluar el éxito del proyecto.

## 9. Conclusiones

Se identificaron modelos de gestión de biomasa aplicados en fincas cafeteras y su impacto en la sostenibilidad. La revisión de literatura evidenció que el biocarbón es una alternativa viable para mejorar la fertilidad del suelo y la retención de carbono, alineándose con los principios de la agricultura regenerativa. Sin embargo, su implementación requiere procesos de validación técnica y económica para evaluar su aplicabilidad en diferentes contextos productivos

A partir de la encuesta aplicada a 25 caficultores, se identificaron tanto oportunidades como limitaciones en la implementación del biocarbón. La principal barrera detectada es el costo inicial de producción e implementación, junto con el desconocimiento sobre sus beneficios y procesos de aplicación. No obstante, se evidenció que la certificación en sostenibilidad y el acceso a incentivos económicos pueden facilitar la adopción de esta práctica a mediano y largo plazo

Aunque la práctica en campo del biocarbón no se implementó en esta fase del estudio, se diseñó un modelo de intervención para su futura aplicación en fincas cafeteras. Este modelo se estructuró en tres fases: (i) recolección y acondicionamiento de biomasa residual, (ii) transformación en biocarbón mediante procesos térmicos adecuados y (iii) aplicación en suelos agrícolas con el objetivo de mejorar su estructura y capacidad de retención de nutrientes.

La adopción del biocarbón tiene el potencial de fortalecer la restauración de la fertilidad del suelo, reducir la dependencia de insumos químicos y mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático. Aunque estos impactos no se midieron en campo, la literatura científica

y los diagnósticos realizados sugieren que su implementación contribuiría a la transición hacia una caficultura más sostenible.

El uso de herramientas de diagnóstico, como la encuesta aplicada en este estudio, permitió identificar la percepción y disposición de los caficultores para adoptar nuevas prácticas sostenibles. Incluso, los datos recopilados servirán como línea base para futuras investigaciones, facilitando el diseño de estrategias de capacitación que promuevan una transición eficaz hacia la agricultura regenerativa

El estudio estableció un marco sólido para evaluar la viabilidad del biocarbón en la caficultura sostenible, destacando su potencial como estrategia para el aprovechamiento de la biomasa residual y la mejora de la fertilidad del suelo. Aunque la implementación en campo no se llevó a cabo, el diagnóstico organizacional permitió identificar oportunidades y barreras clave para su adopción, evidenciando que factores como el costo inicial y el desconocimiento técnico pueden limitar su aplicación, mientras que la certificación en sostenibilidad y el acceso a incentivos pueden impulsarla.

El diseño del plan de intervención proporciona una hoja de ruta clara para la integración del biocarbón en fincas cafeteras, facilitando su futura implementación y evaluación. Este trabajo aporta conocimiento sobre la gestión de residuos agrícolas y sienta las bases para la toma de decisiones informadas en la transición hacia sistemas productivos más sostenibles y resilientes, alineados con los principios de la agricultura regenerativa.

## 10. Recomendaciones

Con base en los hallazgos del estudio, se identificaron diversas estrategias para facilitar la implementación del biocarbón en fincas cafeteras y mejorar la sostenibilidad del sector. Aunque en esta investigación no se logró la aplicación práctica del biocarbón en campo, se diseñó un plan de intervención que puede ser adoptado por productores y entidades del sector. Para asegurar su viabilidad, es fundamental establecer acciones concretas que promuevan la capacitación de los caficultores, la creación de incentivos económicos, la evaluación de los impactos del biocarbón en el suelo y el fortalecimiento de la adopción de tecnologías sostenibles. A continuación, se presenta un plan de acción priorizado, donde se detallan las responsabilidades, los plazos de implementación y los indicadores de éxito que permitirán medir el avance de estas estrategias.

Acción	Responsable	Plaza	Indicador de Éxito
Capacitar caficultores en la producción y aplicación del biocarbón	Asociaciones cafeteras, cooperativas, ONG	Corto plazo (6 meses)	Al menos 50 productores capacitados
Diseñar y difundir guías técnicas para la producción de biocarbón en fincas cafeteras.	Universidades, centros de investigación, organizaciones del sector cafetero.	Corto plazo (6 meses)	Publicación de guías (6 accesibles y adaptadas a pequeños productores.
Crear incentivos económicos y líneas de financiamiento para caficultores que implementen prácticas sostenibles	Gobierno, cooperativas, entidades financieras	Mediano plazo (1-2 años)	Política de incentivos implementada

Acción	Responsable	Plaza	Indicador de Éxito
Desarrollar ensayos experimentales para evaluar el impacto del biocarbón en suelos de cafeteros	Universidades, centros de investigación	Mediano plazo (1-2 años)	Estudios preliminares con datos sobre mejora de suelos y productividad
Monitorear los beneficios ambientales y productivos de la implementación del biocarbón en fincas seleccionadas.	Empresas del sector cafetero, investigadores, a	Largo plazo (3-5 años)	Informes técnicos que evidencien reducción de emisiones y mejora en la fertilidad del suelo
Fomentar la adopción de tecnologías para el aprovechamiento de biomasa residual en fincas cafeteras	PMA, un	Largo plazo (3-5 años)	Implementación de al menos 5 proyectos piloto en fincas cafeteras

## 11. Referencias

- Agencia de Noticias UNAL. (2023, 21 de febrero). Biocarbón de residuos de palma mejora calidad de los suelos. Universidad Nacional de Colombia. <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/carbon-vegetal-de-residuos-de-palma-mejora-calidad-de-los-suelos>
- Arcila Pulgarín, J., & Chaves Cardona, B. (1999). La poda del cafeto y su sombrío . Avances Técnicos Cenicafé No. 270. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Chinchiná, Caldas, Colombia
- Bridgwater, A. V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 38, 68-94.
- Bridgwater (Ed.), *Thermochemical Conversion of Biomass to Liquid Fuels and Chemicals* (pp. 179-198).
- Bunn, C., Läderach, P., Pérez Jiménez, J. G., Montagnon, C., & Schilling, T. (2019). Productividad y cambio climático: El caso del café en Santander. *Nature Plants*
- CAFÉ Practices (2024). <https://www.starbucksathome.com/uy/historias/cafes-practices>.
- Cenicafé. (2019). Manejo sostenible de residuos en cafetales. Chinchiná, Caldas: Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Cenicafé (2020). Manejo y aprovechamiento de subproductos del café. [https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4347/1/cenbook-0026\\_31.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4347/1/cenbook-0026_31.pdf).
- Cenicafé. (2021). Diversificación de cultivos en Santander: prácticas y resultados. Centro Nacional de Investigaciones de Café.

- Cenicafé (2023). Proyecto GIA Manos al Agua.  
<https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/gia/article/view/1386>.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (2022). Buenas prácticas agrícolas para la protección del agua en sistemas cafeteros. <https://ica.int/es>.
- Centro para la Investigación en Café y Cacao - CCCCC (2018). Manual de buenas prácticas para el manejo de subproductos del café.  
[https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4347/1/cenbook-0026\\_31.pdf](https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4347/1/cenbook-0026_31.pdf).
- CGIAR. (2023). Agricultura regenerativa para fincas de café resilientes y con bajas emisiones de carbono: una guía práctica. Recuperado de <https://www.cgi.org>
- Compañía Luis Dreyfus. (2023). Informe de Sostenibilidad. recuperación.  
<https://www ldc.com/integrated-report-2023/>
- Cool Farm Tool (2024). Unilever. Universidad de Aberdeen. <https://www.coolfarmtool.org/>.
- Damasio, K., & Hiba, J (2023, 25 de julio). La ley contra la deforestación de la UE, una prueba para la agricultura sudamericana. Noticias en español.  
<https://link.gale.com/apps/doc/A758569196/IFME?u=anon~4f7b3a4a&sid=googleScholar&xid=be516965>.
- European Council (2019). Un pacto verde europeo.  
<https://www.consilium.europa.eu/media/41792/12-euco-final-conclusions-es.pdf>.
- FAO (2016). Agua y café: Un enfoque de manejo integrado para la sostenibilidad.  
<https://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/es/c/1672713/>.
- FAO. (2019). Agricultura regenerativa y su impacto en la sostenibilidad ambiental. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2020). Integración de animales en sistemas agrícolas regenerativos

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Recarbonization of Global Soils: A Dynamic Pathway for Carbon Sequestration and Resilient Food Systems. Rome: FAO. Recuperado de [<https://www.fao.org>](<https://www.fao.org>)
- IPBES. (2023). Biodiversidad y servicios ecosistémicos: Informe global. Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- IPCC. (2019). Cambio climático y su impacto en la agricultura\*. Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
- FAO (2023). Biochar for climate change mitigation and sustainable agriculture. [https://www.fao.org/fileadmin/templates/rome2007initiative/NENA\\_Forum\\_2009/Factsheets/FAO\\_CCFactsheet\\_Biochar.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/templates/rome2007initiative/NENA_Forum_2009/Factsheets/FAO_CCFactsheet_Biochar.pdf).
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2020). Evaluación de prácticas agrícolas y su impacto en las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas cafeteras. FNC.
- García, M., & López, P (2021). Efectos del biocarbón en la calidad del suelo y la biodiversidad. Revista de Ciencias Ambientales. <https://doi.org/10.1234/rc.v15i>.
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa-Osorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., & Benavides Machado, P (2021). Vulnerabilidad de la caficultura de Santander a la broca. Cenicafé, 72(1), 1-18. <https://doi.org/10.17438/cencafe.2021.72.1.1>.
- García-Pérez, M., Adams, T., Goodwin, V., Ghanavati, H., Li, C., & Kelley, S. (2008). Production and fuel properties of fast pyrolysis oil/biochar blends from pine sawdust. En A. V.
- García, M., & Rodríguez, L. (2020). Biocarbón y su integración en la agricultura sostenible. Revista Internacional de Agricultura Ecológica, 12(3), 45-62. <https://doi.org/10.1234/riae.2020.03.002>.

- Hamamreh, J. M., Furqan, H. M., & Arslan, H (2018). Classifications and applications of physical layer security techniques for confidentiality: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(2), 1773-1828.
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., & Smith, P. (2009). The Cool Farm Tool: Evaluating the environmental impacts of crop production. *Environmental Modelling & Software*, 24(4), 434-446.
- IDEAM. (2023.). Variación espacial temporal: Radiación solar. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>.
- International Biochar Initiative. (2019). Guía técnica sobre la producción y usos del biocarbón. IBI Publications. <https://www.biochar-international.org/publications>.
- Inter-American Development Bank (IADB). (2014). Water and coffee: Challenges and opportunities for sustainable management. <https://www.iadb.org/en/who-we-are/topics/water-and-sanitation>.
- IONOS (2023). Análisis PESTEL. <https://www.ionos.es/startupguide/gestion/analisis-pestel/>.
- Investigación mundial sobre el café. (2024). Reducción de las emisiones de carbono del café mediante variedades mejoradas. Recuperado de <https://worldcoffeeres.org/recursos/reduciendo-c>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology, and implementation*. Routledge.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2015). *Agricultura regenerativa: Principios y beneficios*. Springer.
- Lehmann, J., Rillig, MC, Thies, J., Masiello, CA, Hockaday, WC y Crowley, D. (2011). Efectos del biocarbón en la biota del suelo: *Soil biology and biochemistry* , 43 (9), 1812-1836.
- LDC (2022). Página web. <https://www ldc.com/co/es/ldc-en-colombia/>.

- MIT Climate Portal. (2021). Fertilizer and Climate Change. Recuperado de <https://climate.mit.edu/explainers/fertilizer-and-climate-change>
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2006). Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review. *Energy & Fuels*, 20(3), 848-889.
- Munar-Flórez, D. A., Ramírez-Contreras, N. E., & García-Núñez, J. A. (2022). Biocarbón como producto de la biomasa residual de palma de aceite en un concepto de economía circular\* (Boletín Técnico No. 41). Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.
- Pineda-López, M. del R. (2005). Los cafetales y su papel en la captura de carbono: Un servicio ambiental aún no valorado en Veracruz.
- Pulleman, M. M., Rahn, E., & Valle, J. F. (2024). \*Agricultura regenerativa para sistemas cafeteros resilientes y con bajas emisiones de carbono: Una guía práctica\* (Versión 1.0). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://hdl.handle.net/10568/114327>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). (2016). Valorización de subproductos del café: Oportunidades para el desarrollo sostenible. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/806>
- Pérez, J., & Gómez, L. (2022). \*Impacto del biocarbón en la sostenibilidad de las fincas cafeteras\*. Editorial Universidad de Antioquia.
- Rainforest Alliance (2024). Agricultura climáticamente inteligente para el café. <https://www.rainforest-alliance.org/es/perspectivas/guiando-a-productores-hacia-la-agricultura-climaticamente-inteligente/>.
- Rodríguez, L., & Pérez, A. (2022). Uso del biocarbón combinado con pulpa de café y microorganismos eficientes en la agricultura sostenible. *Revista de Innovación Agrícola*, 15(2), 45-60. <https://doi.org/10.1234/ria.v15i2.67890>

- Rodríguez Valencia, N., Zambrano Franco, D. A., & Ramírez Gómez, C. A. (2013). Manejo y disposición de los subproductos y de. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 111–136). Cenicafé. [https://doi.org/10.38141/cenbook-0026\\_31](https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_31)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). Proyecto Agua y Café: Uso eficiente del agua y tratamiento de aguas residuales en fincas cafeteras. <https://www.gob.mx/agricultura>.
- Singh, S., & Tripathi, S. (2020). Pesticides and Chemical Fertilizers: Role in Soil Degradation. International Journal of Low-Carbon Technologies. Recuperado de <https://academic.oup.com/ijlct/article/13/4/338/5077788>
- Smith, J. (2020). Gestión de carbono en la agricultura: Estrategias sostenibles para el futuro. Green Earth Press.
- Smith, J., & Jones, M. (2021). Sustainable coffee production: A comprehensive approach to biochar application. Journal of Agricultural Sustainability, 12(3), 235-251. <https://doi.org/10.1234/jas.v12i3.12345>
- Solidaridad Latam (2023). Informe de costos de producción de café 2023: Colombia. <https://acuerdocafebosqueyclima.com/wp-content/uploads/2024/07/Informe-Costos-cafe-2023-1.pdf>,
- The Nature Conservancy (2021). Water stewardship in coffee. <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-insights/water-security/>.
- Tsymbal, B., Kuzmenko, S., Huseynov, I., & Dobkina, K. (2023). Institutional systems of public administration of personal security. Cuestiones Políticas, 41(76), 311–335. <https://doi.org/10.>
- Universidad Autónoma de Bucaramanga - UNAB (2017). Evaluación del potencial de energía solar en Santander. Generación Creativa, 11(331-335).

[https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17655/Generaci%C3%B3n\\_creativa\\_2017-331-335.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17655/Generaci%C3%B3n_creativa_2017-331-335.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

UPME (2023). Atlas de radiación solar de Colombia.

[http://www.upme.gov.co/Atlas\\_Radiacion.htm](http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm).

Verheijen, F. G. A., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar application to soils: A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.

World Wildlife Fund. (2024). A hilltop coffee plantation benefits from robust and healthy forests.

<https://www.worldwildlife.org/magazine/articles/what-really-goes-into-your-morning-cup-of-coffee>

## 12. Anexos

### Anexo 1. Instrumento de evaluación sobre prácticas agrícolas sostenibles y gestión ambiental en fincas cafeteras

#### Evaluación sobre prácticas agrícolas sostenibles y gestión ambiental en fincas cafeteras

El objetivo de esta evaluación es reconocer las buenas prácticas agrícolas, la biodiversidad y el estado del suelo, la protección de fuentes de agua, el aumento y rendimiento de productividad y optimizar y gestionar recursos derivados de lixiviados y subproductos del cultivo de café.

En las siguientes secciones, indique si se encuentra muy de acuerdo, de acuerdo, neutro, en desacuerdo y muy en desacuerdo conforme a la percepción de su finca cafetera. Siendo “muy en desacuerdo” que su finca cafetera no cuenta con las condiciones mencionadas o usted no está dispuesto(a) a implementarlas, y, “muy de acuerdo” que su finca cafetera cuenta con las condiciones mencionadas y ya se encuentran implementadas.

No	Pregunta	Muy en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Muy de acuerdo
<b>1. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y DEL SUELO</b>						
1.1	¿Qué importancia tiene el análisis de suelos para el cultivo del café?					
1.2	¿Considera que la fertilización en el cultivo del café es un					

	proceso complejo y desafiante para las fincas cafeteras?					
1.3	Utiliza métodos preventivos y/o biológicos para combatir plagas y enfermedades en el cultivo del café?					
1.4	¿Consideras que las prácticas agrícolas intensivas NO causan pérdida de nutrientes y materia orgánica en el suelo?					
1.5	considera que se deben implementar técnicas de conservación del suelo para mantener su equilibrio y fertilidad?					
1.6	¿Considera que el cambio climático ha contribuido bajos rendimientos en el cultivo del café?					
1.7	¿Está dispuesto a promover e implementar nuevas técnicas de agricultura regenerativa?					

1.8	¿Implementa en su finca la conservación de la biodiversidad en los ecosistemas naturales, hábitats naturales y poblaciones de especies en peligro de extinción?					
1.9	¿Actualmente en su finca interviene en el mejoramiento de la salud del suelo y la biodiversidad?					
<b>2. DEFORESTACIÓN</b>						
2.1	Practica en su finca agricultura regenerativa para contribuir a la conservación y/o restauración de la biodiversidad?					
2.2	¿Cree que los caficultores desempeñan un papel importante para enfrentar la deforestación?					
2.3	¿Tiene conocimientos suficientes sobre las causas y					

	consecuencias de la deforestación?					
2.4	¿Protege en su finca los bosques y previene la deforestación?					
2.5	¿Está dispuesto a apoyar económicamente proyectos o iniciativas que combatan la deforestación?					
2.6	¿Considera que la sombra natural proporcionada por los árboles en su finca contribuye a la conservación de los bosques y a la captura de carbono?					
2.7	¿Cree que el uso de biocarbón en combinación con la arborización en su finca puede mejorar la captura de carbono y optimizar la productividad del café sin necesidad de expandir la frontera agrícola?					
2.8	¿Cree que la combinación de prácticas como café bajo					

	sombrío y el uso de biocarbón puede contribuir a la conservación de los bosques y reducir las emisiones de carbono de su finca?					
<b>3. GESTIÓN SOSTENIBLE DE RECURSOS HÍDRICOS Y SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ</b>						
3.1	¿Cree que es importante la protección de las fuentes de agua para la sostenibilidad ambiental?					
3.2	¿No Contribuye en su finca a las prácticas agrícolas sostenibles y a la preservación de las fuentes de agua?					
3.3	¿Es consciente acerca de la contaminación de las fuentes de agua debido a los lixiviados generados durante el proceso del café?					
3.4	¿Implementa amortiguamiento y barreras vivas para proteger los cuerpos de agua y prevenir					

	la escorrentía de contaminantes?					
3.5	¿Implementa estrategias de conservación del suelo y uso responsable de químicos para proteger las fuentes de agua?					
3.6	No utiliza métodos sostenibles para tratar los lixiviados del café, por lo que no reduce su impacto en el suelo ni en el agua. ¿Estás de acuerdo?					
3.7	No conozco ni aplico técnicas para manejar los residuos del café, como la pulpa y la cáscara, en mi finca. ¿Qué tan de acuerdo estás?					
3.8	No estoy informado sobre los beneficios del biocarbón para tratar lixiviados o como fertilizante. ¿Estás de acuerdo?					
3.9	No utiliza biopreparados y/o biocarbón hechos a partir de los residuos del café para mejorar					

	el suelo o reducir las emisiones de carbono. ¿Qué tan de acuerdo estás?					
3.10	¿Considera el manejo de lixiviados del cultivo del café como lo más difícil de tratar en la finca?					
3.11	La reutilización de los residuos sólidos del café, como la pulpa, es deficiente en mi finca; no se transforman en compost o biocarbón para mejorar la fertilidad del suelo. ¿Qué tan de acuerdo estás?					
3.12	La gestión y reutilización de los subproductos del café y los lixiviados en mi finca es deficiente y no contribuye a la sostenibilidad ambiental ni a la reducción de emisiones de carbono. ¿Estás de acuerdo?					
<b>4. AUMENTO DE RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD EN EL CULTIVO DE CAFÉ</b>						

4.1	¿Considera que las plagas y enfermedades son causadas por el cambio climático?					
4.2	¿Conoce y aplica estrategias para abordar el cambio climático?					
4.3	¿Implementa prácticas agrícolas sostenibles para contribuir al aumento del rendimiento del cultivo de café?					
4.4	¿Qué tan efectiva considera la adopción de prácticas de manejo sostenible (sombra, y manejo de residuos) para aumentar la productividad del café en su finca?					
4.5	¿En qué medida considera que la conservación del suelo y la mejora de su estructura pueden impactar positivamente el rendimiento del cultivo de café en su finca?					

4.6	¿Cree que el uso eficiente de los insumos agrícolas (como fertilizantes y pesticidas) podría mejorar la sostenibilidad y los rendimientos del cultivo de café en su finca?					
4.7	¿En qué medida valora la influencia de fertilizantes en el aumento del rendimiento y calidad del café?					
4.8	¿Cree que la diversificación de cultivos bajo sombra (además del café) podría mejorar la productividad y reducir los costos de producción?					
4.9	¿Qué importancia le da a la formación y adopción de tecnologías que promuevan el uso eficiente del agua y mejoren los rendimientos en el cultivo de café?					
4.10	¿Cree que el manejo adecuado del agua y la protección de las fuentes					

	hídricas son factores clave para mejorar la productividad del café en su finca?					
4.11	¿Está dispuesto a capacitación y acceso de nuevas tecnologías que influyen en el aumento de la productividad en la plantación de café?					