



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**ELABORACIÓN DE BIOCHAR CON RAQUIS DE BANANO
PARA GESTIONAR RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA FINCA
IVONNE ALVARADO, MILAGRO - ECUADOR.**

AUTOR

LINDAO FIGUEROA LUIS DANIEL

TUTOR

ING. FREIRE MORÁN NINOSCHTKA DENISSE, MSc.

**MILAGRO, ECUADOR
2026**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA INGENIERA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ELABORACIÓN DE BIOCHAR CON RAQUIS DE BANANO PARA GESTIONAR RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA FINCA IVONNE ALVARADO, MILAGRO - ECUADOR, realizado por el estudiante LINDAO FIGUEROA LUIS DANIEL; con cédula de identidad N°0940161664 de la carrera INGENIERA AMBIENTAL, Extensión Ciudad Universitaria - Milagro, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. FREIRE MORÁN NINOSCHTKA, M.Sc.
Tutor

Milagro, 17 de abril del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ELABORACIÓN DE BIOCHAR CON RAQUIS DE BANANO PARA GESTIONAR RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA FINCA IVONNE ALVARADO, MILAGRO - ECUADOR”, realizado por el estudiante LINDAO FIGUEROA LUIS DANIEL, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

ING. TAPIA YANEZ LUIS, M.Sc.

PRESIDENTE

ING. FAJARDO ESPINOZA PAOLA, M.Sc

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING.CEDEÑO BERMEO JESSICA, M.Sc.

EXAMINADOR PRINCIPAL

ING. FREIRE MORÁN NINOSCHTKA, M.Sc.

EXAMINADOR SUPLENTE

Milagro, 17 de abril del 2026

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, en primer lugar , a Dios, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida; a mis padres, por su amor incondicional, su apoyo constante y por inculcarme desde siempre el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia; a mis amigos más cercanos, por su comprensión, paciencia y constante apoyo, por confiar en mi incluso en los momentos mas difíciles; finalmente, a mis docentes, cuya orientación, conocimientos y acompañamiento han sido fundamental en mi formación académica y profesional.

AGRADECIMIENTO

Al concluir este trabajo, agradezco a Dios por darme fortaleza y guía para superar cada desafío. A mi familia por su amor, apoyo y paciencia; su confianza fue mi mayor motivación. De manera especial, a mi tutora, la Ing. Ninoschka Freire, y a la Ing. Jessica Cedeño, por compartir sus conocimientos y orientación, fundamentales para culminar esta investigación. También es gracias a todos los docentes que tuve los cuales me ayudaron a mi crecimiento y formación.

Finalmente, agradezco a mis compañeros, amigos y colegas que, de una u otra forma, me apoyaron en el cumplimiento de esta meta. En especial a Blanca y Juan quienes fueron las primeras personas en ayudarme a integrar el curso; a mi grupo conformado por Daniel, Walter, Joel, Dayanna, Ljubitzka y Melanny, quienes me acompañaron y respaldaron a lo largo de este camino, contribuyendo de manera significativa a la culminación de este proyecto académico.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo LINDAO FIGUEROA LUIS DANIEL en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ELABORACIÓN DE BIOCHAR CON RAQUIS DE BANANO PARA GESTIONAR RESIDUOS AGRÍCOLAS EN LA FINCA IVONNE ALVARADO, MILAGRO – ECUADOR.” Para optar el título de Ingeniera Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Milagro, 17 de abril del 2026

LINDAO FIGUEROA LUIS DANIEL

C.I. 0940161664

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el aprovechamiento del raquis de banano como residuo agrícola para la producción de biochar y su contribución al manejo sostenible de residuos. El estudio se desarrolló en la finca Ivonne Alvarado, donde se recolectaron diez lotes de raquis de banano con pesos iniciales comprendidos entre 125 y 480 kg. La biomasa fue sometida a un proceso de secado natural durante aproximadamente 25 días para reducir su contenido de humedad, registrándose una disminución promedio del 90,47 % del peso inicial. Posteriormente, el material seco fue transformado mediante un proceso de pirólisis para la obtención de biochar. El análisis del rendimiento gravimétrico permitió determinar una reducción promedio del 48,24 % entre el peso seco de la biomasa y el peso del biochar producido. La reducción entre el peso inicial del raquis fresco y el peso final del biochar se situó entre el 94 % y el 95 %, lo que indica que aproximadamente entre el 5 % y el 6 % de la biomasa original se convierte en biochar sólido. Asimismo, se realizaron análisis fisicoquímicos del biochar en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), evidenciándose la presencia de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, además de un Ph alcalino de 9,6 y una conductividad eléctrica de 105,30 ms/cm. Finalmente, se elaboró un manual de buenas prácticas ambientales orientado al manejo adecuado de los residuos generados en la finca, con lineamientos para su clasificación, aprovechamiento y disposición responsable.

Palabras claves: Residuos agrícolas, Raquis de banano, Pirólisis, Biocarbón.

ABSTRAC

This research aimed to evaluate the use of banana rachis as an agricultural residue for biochar production and its contribution to sustainable waste management. The study was conducted at the Ivonne Alvarado farm, where ten batches of banana rachis, with initial weights ranging from 125 to 480 kg, were collected. The biomass was subjected to a natural drying process for approximately 25 days to reduce its moisture content, resulting in an average weight reduction of 90.47%. Subsequently, the dried material was processed through pyrolysis to obtain biochar. Gravimetric yield analysis indicated an average reduction of 48.24% between the dry biomass weight and the resulting biochar. Overall, the reduction from the initial fresh rachis weight to the final biochar ranged from 94% to 95%, indicating that approximately 5% to 6% of the original biomass was converted into solid biochar. In addition, physicochemical analyses of the biochar were conducted at the National Institute of Agricultural Research (INIAP), revealing the presence of essential nutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. The biochar also exhibited an alkaline pH of 9.6 and an electrical conductivity of 105.30 ms/cm. Finally, a manual of environmental best practices was developed to guide the proper management of waste generated on the farm, including guidelines for classification, utilization, and responsible disposal.

Keywords: Agricultural residues, banana rachis, pyrolysis, biochar.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	17
1.1	Antecedentes del problema	17
1.2	Planteamiento y formulación del problema	19
1.2.1	Planteamiento del problema	19
1.2.2	Formulación del Problema	20
1.3	Justificación del problema	20
1.4	Delimitación	21
1.5	Objetivo General	21
1.6	Objetivos Específicos.....	21
1.7	Hipótesis	22
2	MARCO TEORICO	23
2.1	Estado del arte.....	23
2.2	Bases científicas y teóricas de la temática	27
2.2.1	Desarrollar biochar utilizando como materia prima los raquis de banano disponibles en la Finca Ivonne Alvarado	27
2.2.1.1.	Pirólisis.....	27
2.2.1.2.	Biomasa	27
2.2.1.3.	Residuos agrícolas	27
2.2.1.4.	Sustentabilidad.....	28
2.2.1.5.	Economía circular.....	28
2.2.1.6.	Energía renovable	28
2.2.1.7.	Conversión térmica	28
2.2.1.8.	Carbón vegetal	29
2.2.1.9.	Subproducto	29
2.2.1.10.	Producción limpia	29

2.2.1.11.	Materia prima lignocelulósica	29
2.2.1.12.	Residuos orgánicos	29
2.2.1.13.	Aprovechamiento de desechos	30
2.2.1.14.	Procesamiento térmico	30
2.2.1.15.	Tecnología verde.....	30
2.2.2	Estudiar las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.....	30
2.2.2.1.	pH	30
2.2.2.2.	Capacidad de retención de agua	30
2.2.2.3.	Área superficial.....	31
2.2.2.4.	Porosidad	31
2.2.2.5.	Carbono fijo	31
2.2.2.6.	Conductividad eléctrica	31
2.2.2.7.	Densidad aparente	31
2.2.2.8.	Elementos traza	32
2.2.2.9.	Espectroscopia infrarroja	32
2.2.2.10.	Adsorción	32
2.2.2.11.	Análisis elemental (CHNS)	32
2.2.2.12.	Humedad.....	33
2.2.2.13.	Cenizas	33
2.2.2.14.	Textura	33
2.2.2.15.	Estabilidad Térmica	33
2.2.3	Determinar el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.	33
2.2.3.1.	Masa inicial	33
2.2.3.2.	Masa final	34
2.2.3.3.	Eficiencia de conversión	34
2.2.3.4.	Relación de Transformación.....	34

2.2.3.5.	Pérdida de peso	34
2.2.3.6.	Tasa de producción	35
2.2.3.7.	Desempeño	35
2.2.3.8.	Materia seca	35
2.2.3.9.	Porcentaje de rendimiento	36
2.2.3.10.	Balance de masa	36
2.2.3.11.	Parámetros operativos	36
2.2.3.12.	Optimización del proceso	36
2.2.3.13.	Control de calidad	37
2.2.3.14.	Escalabilidad	37
2.2.3.15.	Comparación de rendimientos	37
2.2.4	Elaborar un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado	37
2.2.4.1.	Sostenibilidad	37
2.2.4.2.	Residuos agrícolas	37
2.2.4.3.	Manejo	38
2.2.4.4.	Buenas practicas	38
2.2.4.5.	Manual	39
2.3	Marco legal	39
2.3.1	Constitución de la república del Ecuador. Registro oficial n° 449 – octubre 20, 2008	39
2.3.2	Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017	40
2.3.3	Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019	43
2.3.4	NORMA TECNICA ECUATORIANA	46
3	MATERIALES Y MÉTODOS	47
3.1	Enfoque de la investigación	47

3.1.1	Tipo y alcance de investigación	47
3.1.2	Diseño de la investigación	48
3.2	Metodología	48
3.2.1	Variables.....	48
3.2.1.1.	Variables dependientes	48
3.2.1.2.	Variables independientes	48
3.2.2	Matriz de operacionalización de variables.....	49
3.2.3	Recolección de datos.....	50
3.2.3.1.	Recursos	50
3.2.3.2.	Métodos y técnicas.....	51
3.2.4	Análisis estadístico	53
4	RESULTADOS	54
4.1	Se elaboro biochar utilizando como materia prima el raquis de banano disponible en la finca Ivonne Alvarado.	54
4.2	Se estudiaron las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.....	58
4.3	Se determino el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.	59
4.4	Se elaboró un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado.....	61
5	DISCUSIÓN.....	63
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
6.1	Conclusiones	67
6.2	Recomendaciones	69
7	BIBLIOGRAFÍA.....	70
	ANEXOS.....	78
	APÉNDICES	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variables dependientes	49
Tabla 2	Variables independientes	50
Tabla 3	Lotes de materia orgánica húmeda para elaboración de Biochar .	54
Tabla 4	Lotes de materia orgánica seca para elaboración de Biochar	55
Tabla 5	Pesos de la materia orgánica y pesos del biochar obtenido.	58
Tabla 6	Análisis fisicoquímico del biochar	59
Tabla 7	Rendimiento Gravimétrico del biochar	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1	Resultados del análisis del Biochar realizado en el INIAP	78
-------------------	---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Rendimiento del biochar.....	61
---	----

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice N° 1 Elaboración del biochar con raquis de banano	79
Apéndice N° 2 Evidencia de falta de aprovechamiento del raquis de banano	82
Apéndice N° 3 Manual de buenas practicas para el manejo de residuos	83

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El biochar es un producto rico en carbono obtenido de la descomposición térmica de biomasa, que ha despertado un interés creciente por su potencial para abordar desafíos ambientales clave. Su método de preparación y el tipo de materia prima utilizada determinan críticamente sus propiedades fisicoquímicas y rendimiento. Este versátil material tiene aplicaciones multifacéticas que incluyen la remediación y mejora de suelos, el secuestro de carbono, el compostaje de residuos orgánicos, la purificación de aguas, y su uso como catalizador. En resumen, el biochar presenta un amplio potencial para la mitigación ambiental, aunque los mecanismos específicos que gobiernan su eficacia requieren de mayor investigación para optimizar sus aplicaciones (Farah et al., 2022)

La industria bananera en Ecuador produce una gran cantidad de desechos orgánicos, entre los cuales el raquis (tallo central del racimo de banano) es uno de los más abundantes. En el cantón Milagro de la provincia del Guayas, actualmente este material es desechado sin ningún tipo de aprovechamiento, a pesar de que posee un alto potencial para transformarse en biochar mediante el proceso de pirólisis; recientemente se han realizado diversas investigaciones que han demostrado que el raquis de banano es un material muy adecuado y prometedor para producir biochar. Cabe destacar que, en Ecuador, los residuos del banano suman aproximadamente 2,19 millones de toneladas anuales, lo que demuestra un importante potencial para su reutilización en procesos de valorización energética o agrícola (Guerrero Marin, 2023).

El biochar (resultado de pirólisis lenta en ambiente controlado) ofrece múltiples beneficios: mejora la retención de agua y nutrientes en suelos, estabiliza metales pesados, y contribuye al secuestro de carbono. En Ecuador se está impulsando su integración en la agricultura mediante una economía circular, reutilizando residuos para generar enmiendas benéficas. Adicionalmente, recientes estudios demuestran que el biochar derivado de residuos bananeros favorece el desarrollo vegetal, incrementando el peso de racimos, la actividad de raíces sanas, y mejorando la estructura y microbiota del suelo (Ferrer et al., 2020).

El sector bananero en Ecuador representa un pilar fundamental para la economía nacional, el empleo y la balanza comercial. Sin embargo, las dimensiones económicas, sociales y ambientales de su cadena de valor plantean interrogantes sobre las políticas actuales y los costos de oportunidad que estas implican. Entre las prioridades del Gobierno se encuentran impulsar la productividad, garantizar una distribución más equitativa de las ganancias entre trabajadores, productores y exportadores, así como promover prácticas fitosanitarias sostenibles. A ello se suma la preocupación por el cambio climático, que amenaza la sostenibilidad y la permanencia del banano en el país. Sus efectos se reflejan en la reducción de la disponibilidad hídrica, vinculada al retroceso de los glaciares andinos, las alteraciones en los patrones de precipitación, el aumento de las temperaturas y, en consecuencia, la mayor probabilidad de aparición y agravamiento de enfermedades (Elbehri et al., 2015)

Este proyecto tiene como meta producir y caracterizar biochar obtenido a partir del raquis de banano de la Finca Ivonne Alvarado ubicada en el Cantón Milagro, evaluar sus propiedades físico-químicas (área superficial, pH, cenizas, etc) y valorar su desempeño como enmienda para el manejo de residuos agrícolas. Al hacerlo, se espera demostrar valor práctico, contribuir a la sostenibilidad regional y generar un modelo replicable para el manejo de residuos agrícolas.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La ciudad de Milagro, de la provincia del Guayas, es una zona altamente productiva en el cultivo de banano, que es una de las principales exportaciones agrícolas del Ecuador. Tiene un desarrollo agroindustrial que genera grandes cantidades de residuos orgánicos, especialmente del raquis de banano, que es el eje central del racimo y constituye aproximadamente un 15 % del peso total del fruto cosechado. Estos residuos no son correctamente aprovechados y en consecuencia estos residuos son comúnmente tratados como simple basura y eliminados mediante prácticas perjudiciales como el enterramiento o la disposición en vertederos. El costo ambiental de estos métodos es alto: los vertederos generan lixiviados contaminantes. Este panorama evidencia una doble pérdida: primero, se desaprovecha una biomasa con gran potencial de utilidad, y segundo, se actúa en contra de los principios de la economía circular, los cuales buscan transformar los desechos en nuevos recursos. (García y Quevedo, 2020).

A pesar de su bajo valor comercial, el raquis de banano presenta un alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, lo que lo convierte en un recurso óptimo para la producción de biochar, un material carbonoso obtenido por pirólisis de biomasa a temperaturas controladas en ausencia de oxígeno. Diversos estudios han demostrado que el biochar tiene propiedades beneficiosas para el suelo, como el aumento de la capacidad de retención de agua, la mejora de la estructura física, la adsorción de metales pesados y contaminantes, y el aporte de carbono estable para mitigar el cambio climático.

Pese a estos beneficios documentados a nivel internacional y nacional, en el cantón Milagro no existe un aprovechamiento sistemático del raquis de banano, ni infraestructura para convertir este residuo en biochar de forma tecnificada. Además, existe una falta de estudios locales que caractericen las propiedades específicas del biochar producido a partir de este residuo bajo condiciones climáticas y agrícolas propias de la región. Esta carencia limita su uso como una enmienda agronómica y como una herramienta de gestión sostenible de residuos agroindustriales (Pérez Cabrera et al., 2022).

Por lo tanto, se identifica como problema principal la subutilización del raquis de banano, lo cual impide aprovechar su potencial como materia prima para la

elaboración de biochar con aplicaciones agrícolas y ambientales. Esta situación genera un doble impacto: la acumulación de residuos orgánicos sin tratamiento adecuado y la pérdida de una alternativa sostenible para mejorar el manejo de residuos y la calidad del suelo bananero de la finca.

1.2.2 Formulación del Problema

¿Cómo aprovechar el raquis de banano generado en la finca Ivonne Alvarado, Milagro, Ecuador, como una alternativa sostenible para el manejo de residuos agrícolas?

1.3 Justificación del problema

La Finca Ivonne Alvarado está ubicada en el cantón Milagro, perteneciente a la provincia del Guayas, que es una de las zonas de mayor producción bananera de la región, actividad que genera importantes ingresos económicos, pero también una gran cantidad de residuos agrícolas. Entre estos residuos, el raquis de banano representa una fracción significativa de todos los residuos que comúnmente es desechada sin tratamiento, lo que provoca impactos ambientales como contaminación del suelo, proliferación de vectores, y emisiones derivadas de su descomposición (Riera et al., 2024).

La producción de biochar mediante pirólisis del raquis de banano se presenta como una alternativa innovadora y sostenible. El biochar no solo permite valorizar un residuo agrícola de alto volumen, sino que además ofrece beneficios comprobados en la mejora de suelos, el aumento de la retención de agua y nutrientes, la reducción del uso de fertilizantes químicos y el secuestro de carbono estable, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Romero et al., 2024).

Estudios recientes realizados han demostrado que el biochar elaborado a partir de residuos orgánicos como el raquis de banano posee buenas propiedades físico-químicas (alta porosidad, pH neutro-alcalino, buena capacidad de intercambio catiónico) y efectos positivos sobre cultivos como el banano y el maíz. Sin embargo, no se han desarrollado investigaciones específicas en la ciudad de Milagro, lo que representa una brecha de conocimiento y una oportunidad de innovación local.

Por ello, el presente proyecto es necesario para:

- Contribuir a la gestión de residuos agrícolas en la Finca Ivonne Alvarado, Milagro, Guayas, Ecuador.
- Procesar el raquis de banano mediante pirólisis para obtener Biochar
- Evaluar el biochar como una alternativa sostenible para la mejora del manejo de residuos agrícolas.
- Fomentar el uso de tecnologías limpias y fortalecer una economía circular en el sector bananero.

Además, este proyecto puede ser replicable en otras zonas productoras del país y aportar insumos técnicos para políticas públicas relacionadas con residuos agrícolas, manejo sostenible del suelo y adaptación al cambio climático.

1.4 Delimitación

Área geográfica: La investigación se llevará a cabo en la finca Finca Ivonne Alvarado, en la Parroquia rural Mariscal Sucre, Milagro ubicada en las coordenadas geográficas

- Zona: 17M
- Coordenadas este: 667183.00 m E
- Coordenadas norte: 9767645.00 m S

Tiempo: Ciclo de investigación fue de 9 meses desde mayo a enero, y puede variar según la disponibilidad de equipos, materia prima y condiciones climáticas.

1.5 Objetivo General

Delimitar un proceso para la obtención de biochar a partir del raquis de banano, evaluando su rendimiento como alternativa sostenible para el manejo de residuos agrícolas.

1.6 Objetivos Específicos

- Elaborar biochar utilizando como materia prima el raquis de banano disponible en la finca Ivonne Alvarado.
- Estudiar las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.
- Determinar el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.

- Elaborar un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado.

1.7 Hipótesis

La producción de biochar mediante pirólisis controlada utilizando raquis de banano como materia prima generado en la finca Ivonne Alvarado representaría una estrategia sostenible para la gestión de residuos agrícolas.

2 MARCO TEORICO

2.1 Estado del arte

Según Paucar (2024) el estudio se enfocó en la producción de biocarbón a partir de cascarilla de café mediante un diseño experimental basado en el proceso de pirólisis. Se consideraron dos factores principales: la temperatura de reacción (800 °C y 900 °C) y la velocidad de calentamiento (20, 35 y 50 °C/min), lo que generó seis combinaciones experimentales. Para cada una de ellas se realizaron tres repeticiones, evaluándose posteriormente el rendimiento y el poder calorífico de los biocarbones obtenidos. Los objetivos planteados fueron caracterizar la cascarilla de café como materia prima y establecer las condiciones óptimas de pirólisis para su transformación en biocarbón.

El análisis fisicoquímico de la cascarilla reveló un alto contenido de materia volátil (78,67%), acompañado de un bajo nivel de cenizas (4,81%) y humedad (12,86%), características que la posicionan como un sustrato idóneo para la pirólisis. En cuanto a los resultados experimentales, se determinó que la combinación de 800 °C de temperatura y 50 °C/min de velocidad de calentamiento generó el biocarbón con mayor poder calorífico (28.931,14 kJ/kg) y mayor rendimiento (28,93%). Además, el proceso de pirólisis permitió incrementar el poder calorífico de la cascarilla de café de 20.015,67 kJ/kg a 29.738,09 kJ/kg en el biocarbón, lo que representa un aumento energético del 48,60%.

Así mismo Orozco y Fuentes (2020) realizaron una investigación en las plantaciones forestales comerciales de *Guadua angustifolia*, la gestión y las podas generan residuos sólidos principalmente hojas y ramas que alcanzan aproximadamente 5 t ha⁻¹ año⁻¹ y carecen de valor agregado. En este estudio se planteó su aprovechamiento mediante la producción de biocarbón, con el objetivo de identificar la temperatura de pirólisis que maximizara el rendimiento del proceso. Tras el secado natural del material, este fue sometido a pirólisis en un horno vertical, evaluándose cinco temperaturas (350, 450, 550, 650 y 750 °C) bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, lo que correspondió a 15 unidades experimentales.

Los resultados estadísticos, analizados mediante ANOVA y prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), evidenciaron diferencias significativas en el rendimiento del biocarbón

entre tratamientos. La condición óptima se alcanzó a 550 °C, donde se obtuvo un rendimiento del 27%. Este producto se caracterizó por presentar un bajo contenido de materia volátil (11.5%), un nivel moderado de cenizas (8.5%) y un alto porcentaje de carbono fijo (72%). Estos hallazgos sugieren que a temperaturas intermedias se logra un equilibrio adecuado entre la descomposición térmica de los residuos y la conservación de fracciones recalcitrantes, lo cual favorece la estabilidad y calidad del biocarbón. En consecuencia, la temperatura de 550 °C se perfila como la más adecuada para el aprovechamiento de residuos de *Guadua angustifolia*, aportando un material con potencial para aplicaciones en mejora de suelos y estrategias de manejo sostenible de biomasa residual.

El trabajo realizado por Catute (2024) llevó a cabo la elaboración de biochar utilizando como materia prima raquis de banano y cáscara de cacao. Una vez obtenido el producto mediante incineración, se realizó su caracterización en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), evaluándose parámetros como pH, materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), hierro (Fe) y zinc (Zn). Al realizar este estudio se tuvo como objetivo de analizar y poder determinar la eficiencia y la capacidad del biochar como una enmienda orgánica y ver la capacidad para gestionar residuos para mejorar el suelo.

Los análisis que se realizaron revelaron los siguientes valores en el biochar: pH de 9,7; materia orgánica de 1,8 %; nitrógeno total 0,6 %; fósforo 528 ppm; potasio 105.456 ppm; calcio 13.852 ppm; hierro 2.628 ppm y zinc de 163 ppm. Estos resultados ofrecen una caracterización detallada de la composición del biochar, lo que permite valorar su potencial para mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo. Destaca especialmente en su alto contenido de potasio, fósforo y calcio, lo que lo convierte en una fuente importante de nutrientes esenciales para las plantas. Además, su composición marcadamente alcalina lo hace particularmente útil para neutralizar o corregir la acidez del suelo que requieran su aplicación.

García (2021) investigó el potencial del biochar aplicado al suelo evaluando sus propiedades fisicoquímicas cuando se obtiene a partir de una gran variedad de residuos orgánicos, tales como los generados en la olivicultura, la industria del aceite de oliva, plantas suculentas, residuos forestales, estiércol ganadero, cultivos

de cereales de secano y regadío, la industria de los cítricos, plantas para la producción de biomásas y la vinificación. Los resultados indicaron que los biocarbones analizados presentaron un pH de carácter alcalino, con valores entre 8,4 y 11,9, lo cual corresponde a materiales sometidos a pirólisis a altas temperaturas. El contenido de materia orgánica, expresado como carbono orgánico total (TOC), fue elevado en la mayoría de las muestras, alcanzando hasta un 85%, lo que evidencia un notable potencial como enmienda para la mejora de suelos.

En cuanto al contenido de nitrógeno, los valores oscilaron entre 0,46% y 3,11%, siendo más altos en los biocarbones obtenidos a partir de residuos animales y de cultivos. Respecto a los macronutrientes, se registraron concentraciones de fósforo (P) de hasta 8.390 ppm, mientras que el potasio (K) mostró una amplia variabilidad con valores referenciales entre 3.000 y 5.400 ppm. El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) alcanzaron valores máximos de 2.000 ppm y 1.900 ppm, respectivamente. En lo referente a los micronutrientes, las concentraciones se mantuvieron dentro de rangos adecuados para la agricultura: hierro (Fe) entre 9 y 150 ppm, manganeso (Mn) entre 9 y 50 ppm, zinc (Zn) entre 15 y 480 ppm, y cobre (Cu) entre 2 y 12 ppm. Estos resultados confirman que el biochar no solo mejora la calidad química del suelo gracias a su carácter alcalino y elevado contenido de carbono, sino que además constituye una fuente complementaria de nutrientes esenciales, aportando tanto macronutrientes como micronutrientes relevantes para el crecimiento vegetal.

En México, la investigación sobre el uso de biocarbón con fines agrícolas es todavía incipiente y se cuenta con pocos antecedentes documentados. Uno de los estudios más relevantes es el de Lira (2022), quien evaluó la producción de biocarbón de bambú mediante pirólisis lenta a cinco temperaturas diferentes (350, 450, 550, 650 y 750 °C). Los resultados indicaron que la temperatura óptima fue de 550 °C, con un rendimiento de conversión del 27%. Bajo este tratamiento se obtuvieron además las mejores propiedades fisicoquímicas del material, con un 11,2% de compuestos volátiles, 8,1% de cenizas y 72% de carbono fijo. De manera complementaria, en estudios relacionados con la cascarilla de arroz se determinó que la adición de ácidos orgánicos, como el maleico y el cítrico al 10% en calidad de catalizadores, incrementa de manera significativa el rendimiento de conversión, alcanzando valores de hasta 66%.

Así mismo Suasnavas (2023), señala que la composición final del biochar está determinada principalmente por la materia prima utilizada y la temperatura de producción. Un aspecto clave es la relación inversa entre el contenido de carbono y el rendimiento: a mayor temperatura (de 300 a 800°C), el porcentaje de carbono aumenta (del 56% al 93%), pero el rendimiento total del proceso disminuye (del 67% al 26%). Paralelamente, el contenido de cenizas también se incrementa con la temperatura, pasando de un 0,67% a un 1,26%.

El trabajo realizado por Arévalo (2025), tuvo como finalidad evaluar la eficacia del biocarbón activado obtenido a partir de raquis de banano en la remoción de arsénico presente en soluciones acuosas. Para ello, se implementaron cuatro tratamientos con diferentes dosis de biocarbón (5, 10, 15 y 20 g), además de un testigo, considerando tiempos de contacto de 1, 2 y 3 horas bajo un pH inicial de 3. La caracterización morfológica y estructural del material se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido, mientras que la eficiencia de adsorción se determinó a través del cálculo del porcentaje de remoción de arsénico, complementado con el ajuste de las isothermas de Langmuir y Freundlich.

Los resultados evidenciaron que la dosis de 15 g de biocarbón con un tiempo de contacto de 1 hora alcanzó un porcentaje máximo de adsorción del 95,14 %. El análisis morfológico mostró un incremento en la porosidad del material tras el proceso de activación, lo que favoreció su capacidad de retención. Asimismo, las isothermas aplicadas demostraron un ajuste adecuado en este tratamiento ($R^2 = 0,9989$), confirmando la alta afinidad del biocarbón por el contaminante. En conclusión, el biocarbón activado de raquis de banano se posiciona como una alternativa viable, económica y ambientalmente sostenible para la eliminación de arsénico en soluciones acuosas, a la vez que fomenta el aprovechamiento de residuos agrícolas y contribuye a la mitigación de impactos ambientales.

El estudio de Ortega (2024) buscó mejorar el aspecto ambiental en las fincas de café orgánico de Cajibío y Morales (Cauca). Para ello, promovió el uso de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y una gestión adecuada de residuos en las fincas de la cooperativa local. El estudio incluyó un análisis del manejo de residuos y la creación de estrategias para sistemas agroforestales y para que los agricultores adoptaran las BPA. Los resultados mostraron beneficios directos, como la producción de fertilizantes orgánicos mediante compostaje, una mejor gestión de

residuos con puntos ecológicos, la implementación de sistemas agroforestales con barreras contra el viento, y la reutilización de aguas residuales para riego, lo que nutre el suelo y ayuda al crecimiento de los cultivos.

Según la investigación realizada por Bone (2024), aunque se implementen buenas prácticas como el compostaje, la recolección y la adecuada disposición de los residuos, su efectividad se ve comprometida por la falta de capacitación y recursos disponibles. El estudio corrobora la importancia de la formación técnica y de la participación comunitaria en la gestión de residuos orgánicos, aspectos fundamentales para lograr resultados sostenibles. Asimismo, determina que la insuficiencia de apoyo técnico y de recursos en las fincas limita el éxito de estas prácticas, lo que subraya la necesidad de establecer programas educativos especializados y de brindar soporte técnico que fortalezcan la gestión adecuada de los residuos orgánicos.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1 Desarrollar biochar utilizando como materia prima los raquis de banano disponibles en la Finca Ivonne Alvarado

2.2.1.1. Pirólisis

Pirólisis es un proceso de descomposición de materiales orgánicos en ausencia de oxígeno. Se realiza para transformar residuos como biomasa en productos útiles como carbón o biochar. El proceso de pirólisis se la realiza a altas temperaturas (300 – 800 °C), no cuenta con la presencia de oxígeno, dependiendo de tipo de pirólisis (lenta, rápida, flash), se obtienen diferentes proporciones de producto y es útil para la gestión de residuos, producción de energía y la mejora de los suelos (Moncada, 2023).

2.2.1.2. Biomasa

La biomasa es materia orgánica de origen vegetal utilizada como materia prima para producir biochar mediante procesos termoquímicos, principalmente pirólisis que es la descomposición por calor en ausencia de oxígeno (BBVA, 2025).

2.2.1.3. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas son materiales orgánicos e inorgánicos generados como subproductos de las actividades agropecuarias y agroindustriales. Estos desechos provienen del cultivo, cosecha y procesamiento de productos agrícolas,

y pueden ser aprovechados para otros fines en lugar de ser eliminados (Universidad Europea, 2024).

2.2.1.4. Sustentabilidad

La sustentabilidad o sostenibilidad es un modelo de desarrollo que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades. Se basa en equilibrar tres pilares fundamentales; ambientales, sociales y económicos (Responsabilidad Social, Empresarial & Sustentabilidad (RSS), 2022).

2.2.1.5. Economía circular

La economía circular es un modelo de producción y consumo sostenible diseñado para eliminar los residuos y la contaminación desde el origen, mantener productos y materiales en uso el mayor tiempo posible y regenerar sistemas naturales. Es una alternativa al modelo lineal tradicional (extraer- producir- desechar), que agota recursos y genera impactos ambientales. La economía circular se basa en cinco principios fundamentales; reducir, reutilizar, reciclar, recuperar y regenerar (BBVA, 2025).

2.2.1.6. Energía renovable

La energía renovable es aquella que se obtiene de fuentes naturales inagotables o que se regeneran más rápido de lo que se consumen. A diferencia de los combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas), estas fuentes producen energía con menor impacto ambiental, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero y promoviendo la sustentabilidad; existen diferentes tipos de energías renovables como lo son: solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, biomasa o biogás.

2.2.1.7. Conversión térmica

La conversión térmica es un proceso en el que se utiliza calor para transformar materiales (generalmente biomasa o residuos orgánicos) en productos energéticos o químicos útiles, como biocombustibles, gases, biochar o aceites. Este método es clave para la revalorización de residuos y la producción de energías renovables (Saha y Rupam, 2023).

2.2.1.8. Carbón vegetal

El carbón vegetal es un material carbonoso sólido obtenido mediante la descomposición térmica de biomasa en ausencia de oxígeno, proceso conocido como pirólisis. A diferencia del carbón mineral (fósil), es renovable y tiene aplicaciones en energía, agricultura y medioambiente (Ruiz y Mijangos Ricardéz, 2023).

2.2.1.9. Subproducto

Un subproducto es un material secundario generado durante la producción o procesamiento de un producto principal, que no era el objetivo inicial del proceso, pero que puede ser aprovechado, reciclado o comercializado. A diferencia de los residuos (que suelen considerarse como desechos), los subproductos tienen valor económico o utilidad práctica (Vazhacharickal, 2022).

2.2.1.10. Producción limpia

La producción limpia es una estrategia ambiental preventiva aplicada a procesos, productos y servicios para reducir riesgos e impactos en la salud humana y el medioambiente, optimizando el uso de recursos naturales y minimizando emisiones, residuos y desperdicios (Cortes, 2024).

2.2.1.11. Materia prima lignocelulósica

La materia prima lignocelulósica es un tipo de biomasa compuesta principalmente por:

- Celulosa (40- 50%), polímero lineal de glucosa, resistente y fibroso
- Hemicelulosa (20- 30%), polímero ramificado de diversas azúcares (xilosa, manosa).
- Lignina (15- 25%), compuesto aromático que da rigidez a la planta.

Estos componentes forman la estructura de paredes celulares vegetales y están presentes en recursos renovables como madera, residuos agrícolas (raquis de banano, paja de trigo/arroz, bagazo de caña), y cultivos energéticos (Suárez Matallana et al., 2022).

2.2.1.12. Residuos orgánicos

Los residuos orgánicos son materiales de origen biológicos (vegetal o animal) que provienen de actividades humanas, como la agricultura, la industria alimentaria o el consumo doméstico. Estos desechos son biodegradables y pueden

ser transformados en recursos útiles mediante procesos naturales o tecnológicos (Repsol, 2023).

2.2.1.13. Aprovechamiento de desechos

Es el proceso de transformar residuos orgánicos, inorgánicos o peligrosos en recursos útiles, mediante técnicas que evitan su disposición final en vertederos o incineradores. Su objetivo es maximizar la valorización de los materiales, reducir la contaminación y promover la economía circular (Repsol, 2023).

2.2.1.14. Procesamiento térmico

Es un conjunto de técnicas industriales o experimentales que utilizan calor controlado para modificar las propiedades físicas, químicas o biológicas de materiales, especialmente residuos orgánicos o biomasa, con el fin de obtener productos útiles como energía, combustibles o materiales mejorados (European Business school CEUPE, 2022).

2.2.1.15. Tecnología verde

La tecnología verde o tecnología limpia comprende innovaciones orientadas a reducir el daño ambiental, optimizar el consumo energético y proteger los recursos naturales. Busca desvincular el progreso económico de la degradación ecológica, contribuyendo de manera directa el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (YOIGO, 2024).

2.2.2 Estudiar las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.

2.2.2.1. pH

El pH es una medida que indica el grado de acidez o alcalinidad de una sustancia, en una escala que va de 0 a 14, basada en la concentración de iones de hidrogeno (H⁺) en una solución (U.S. Environmental Protection Agency EPA, 2024).

2.2.2.2. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) es la propiedad que permite que a un suelo o material como, por ejemplo: biochar o compost retener agua de manera efectiva y liberarla poco a poco a las plantas, reduciendo significativamente las pérdidas por escorrentía y evaporación. Se trata de un parámetro esencial para potenciar la productividad de los cultivos, fortalecer la adaptación al cambio

climático y mantener la salud y funcionalidad de los ecosistemas agrícolas y naturales (Farah et al., 2022).

2.2.2.3. Área superficial

El área superficial es una característica clave de materiales como el biochar, el carbón activado o los suelos, porque determina cuanto puede interactuar con el agua, los nutrientes, los contaminantes y los microorganismos. Se trata de toda la superficie expuesta tanto la exterior como la que está dentro de los poros y los canales microscópicos que es medida por cada gramo de material, y suele expresarse en m^2/g (Moncada, 2023).

2.2.2.4. Porosidad

La porosidad mide la cantidad de espacios vacíos (poros) que existen dentro de un material en relación con su volumen total. Estos poros son cavidades o canales internos que pueden contener aire, agua u otros fluidos, lo que influye directamente en propiedades como la capacidad de retención de agua, la aireación, la densidad aparente y la interacción con microorganismos o nutrientes (Barrezueta et al., 2023).

2.2.2.5. Carbono fijo

El carbono fijo es un parámetro importante en el análisis de combustibles sólidos, como el carbón, el coque y la biomasa. Representa la fracción de carbono que permanece después de eliminar los componentes volátiles (como agua, gases y alquitranes) durante un proceso de calentamiento en condiciones controladas generalmente en ausencia de oxígeno (Kentucky Geological Survey KGS, 2023).

2.2.2.6. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica CE es una medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, relacionada directamente con la presencia de iones solubles (como sales, nutrientes o metales) en su estructura (Marshall, 2024).

2.2.2.7. Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad física que representa la masa de un material por unidad de volumen en su estado natural o de empaquetamiento habitual (expresada comúnmente en g/cm^3 o kg/m^3). A diferencia de la densidad real, incluye tanto la masa de las partículas sólidas como los espacios vacíos (poros

internos y huecos entre partículas) que forman parte del volumen total considerado (Velásquez, 2021).

2.2.2.8. Elementos traza

Los elementos traza, también denominados oligoelementos o micronutrientes, son minerales esenciales tanto para las plantas como para el funcionamiento adecuado del suelo. Se requieren en concentraciones muy bajas (generalmente expresadas en mg/ Kg o ppm), pero desempeñan funciones fisiológicas y bioquímicas críticas en el metabolismo vegetal y contribuyen significativamente a la salud, fertilidad y equilibrio biológico del ecosistema edáfico (TOPDOCTORS, 2024).

2.2.2.9. Espectroscopia infrarroja

La espectroscopia por transformada de Fourier (FT-IR) es una técnica analítica ampliamente utilizada que permite identificar los grupos funcionales y los tipos de enlaces químicos presentes en un material. Funciona midiendo la absorción de radiación infrarroja por parte de las moléculas, lo que genera un espectro característico de cada compuesto o material.

En el estudio de materiales como el biochar, la FT-IR se convierte en una herramienta esencial para caracterizar sus propiedades químicas superficiales, evaluar su potencial de adsorción y comprender las interacciones químicas que establece con los componentes del suelo (Dean, 2024).

2.2.2.10. Adsorción

La adsorción es un proceso físico-químico mediante el cual las moléculas, iones o partículas (como nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos o contaminantes) se adhieren o se acumulan en la superficie externa o en las paredes internas de los poros de un material sólido (denominado adsorbente) (Carbotecnia, 2023).

2.2.2.11. Análisis elemental (CHNS)

El análisis elemental CHNS (o análisis CHNS-O en algunos equipos) es una técnica analítica que determina con precisión los porcentajes en masa de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S) presentes en una muestra sólida u orgánica. Se basa en la combustión completa de la muestra y la posterior medición de los gases generados (CO_2 , H_2O , N_2 y SO_2).

Esta metodología se utiliza de manera rutinaria en disciplinas como la química orgánica, la ciencia de materiales, la agronomía y edafología, la petroquímica, la geoquímica y los estudios ambientales, permitiendo caracterizar la composición elemental básica de suelos, compost, biochar, biomasa, combustibles fósiles, residuos orgánicos, sedimentos y materiales contaminados (Ibtisam, 2023).

2.2.2.12. Humedad

La humedad es la cantidad de agua presente en los espacios porosos entre las partículas del suelo (arena, arcilla, materia orgánica, etc.); la cantidad de agua que está presente entre los poros es esencial para las plantas, los microorganismos y los procesos químicos del suelo (Cherlinka, 2025).

2.2.2.13. Cenizas

Las cenizas en el biochar son la fracción de mineral no combustible que queda después del proceso de pirólisis. En el biochar de raquis de banano, representa entre el 10% y 20% de su peso total y están compuestas principalmente por nutrientes esenciales y oligoelementos (Barrezueta , Romero, y Ríos , 2023).

2.2.2.14. Textura

La textura es la proporción relativa de partículas minerales de diferentes tamaños que lo componen, principalmente arena, arcilla y limo. Estas partículas determinan las propiedades físicas del suelo como porosidad y capacidad de retención de agua (Rationally regenerated soil RRS, 2023).

2.2.2.15. Estabilidad Térmica

La estabilidad térmica del biochar se refiere a su resistencia a la descomposición o degradación bajo condiciones de alta temperatura. En el contexto del biochar de raquis de banano, esta propiedad es crucial porque determinan su durabilidad en el suelo y su capacidad para secuestrar carbono a largo plazo (Lodhi y Kumar, 2022).

2.2.3 Determinar el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.

2.2.3.1. Masa inicial

En la producción de biochar lo que corresponde a la masa inicial es el peso de la biomasa fresca utilizada como materia prima antes de someterla al proceso de pirólisis. Es fundamental para poder evaluar la eficiencia del proceso, ya que

permite determinar el rendimiento de biochar obtenido en relación a la cantidad de masa inicial dispuesta; la masa inicial varía según el tipo de biomasa por su contenido de humedad y densidad, lo que es un factor que influye directamente en la cantidad de producto final (Barrezueta et al., 2022).

2.2.3.2. Masa final

La masa final en la producción de biochar se refiere al peso del material carbonizado obtenido tras someter la biomasa a el proceso de pirólisis. Esto representa al producto solido resultante, después que los volátiles y la humedad se liberaran durante el proceso de pirólisis, este valor es clave para evaluar la eficiencia de conversión, ya que determina cuanta materia prima se transforma efectivamente en biochar; varios factores influyen en la masa final, las condiciones de pirólisis, la composición de biomasa y su contenido de humedad.

2.2.3.3. Eficiencia de conversión

La eficiencia de conversión es un parámetro que cuantifica que porcentaje de la masa inicial de raquis de banano se transforma efectivamente en biochar durante el proceso de pirólisis. Es un indicador crítico para evaluar la rentabilidad, sostenibilidad y optimización del proceso.

2.2.3.4. Relación de Transformación

La relación de transformación, también conocida como relación de conversión de masa o rendimiento másico, es un indicador que mide cuanta masa de materia prima inicial (en este caso, raquis de banano) se necesita para obtener una unidad de masa final (el cual es el biochar). Se expresa normalmente como una proporción (por ejemplo 5:1, lo que significa que requieren 5 kg de biomasa seca para producir 1 kg de biochar) o como un porcentaje de rendimiento (por ejemplo, 20% indicando que el 20 % de la masa inicial se convirtió en biochar).

2.2.3.5. Pérdida de peso

La reducción de masa en la pirólisis corresponde a la disminución porcentual de la masa de la biomasa inicial durante el proceso térmico anaeróbico. Esta perdida se debe fundamentalmente a la liberación de humedad, gases no condensables y compuestos orgánicos volátiles generados por la descomposición térmica de los principales constituyentes de la biomasa (celulosa, hemicelulosa, lignina). El producto solido resultante, el biochar, representa la fracción carbonosa estable que permanece tras la salida de estos componentes volátiles.

2.2.3.6. Tasa de producción

La tasa de producción indica cuántos kilogramos o toneladas de biochar se generan en un determinado período de tiempo (por hora, por día o por año) dentro de una planta o reactor de pirólisis. Es uno de los indicadores más importantes a la hora de escoger o diseñar el equipo adecuado, organizar el abastecimiento continuo de biomasa (como raquis de banano), gestionar el almacenamiento y transporte del producto final, y calcular si el proyecto resulta rentable desde el punto de vista económico.

2.2.3.7. Desempeño

La eficiencia integral del proceso (o eficiencia combinada) evalúa el desempeño global de la transformación, considerando simultáneamente la cantidad y la calidad del producto final obtenido.

Este concepto integra aspectos fundamentales:

- El rendimiento material (o rendimiento másico): el porcentaje de la biomasa inicial que se convierte efectivamente en biochar.
- Las características del biochar producido: propiedades clave que determinan su valor y utilidad, tales como el contenido de carbono estable (o carbono fijo/recalcitrante), la porosidad (área superficial, volumen de poros) y la pureza (bajo nivel de impurezas o contaminantes indeseados).

De esta forma, la eficiencia integral no se limita a medir cuánto producto se obtiene, sino que valora también cuán adecuado y funcional es ese producto en función de sus atributos fisicoquímicos esenciales.

2.2.3.8. Materia seca

La materia seca es la porción sólida de un material después de eliminar toda su humedad. En la producción de biochar a partir de raquis de banano, este concepto es fundamental para; calcular rendimientos evitando distorsiones por agua; estimar nutrientes y carbono reales en el biochar producido; optimizar el proceso de pirólisis utilizando menos energía para evaporar agua (Barrezueta et al., 2023).

2.2.3.9. Porcentaje de rendimiento

El porcentaje de rendimiento es la relación entre masa del biochar obtenido y la masa inicial de materia seca utilizada, expresada como porcentaje. Indica la eficacia del proceso de pirólisis en la conversión de biomasa en biochar.

$$\% \text{ Carbón} = (\text{Peso del carbón vegetal} / \text{Peso de la biomasa}) * 100$$

2.2.3.10. Balance de masa

El balance de masa es un principio fundamental en ingeniería que cuantifica todas las entradas y salidas de materia en un proceso, asegurando que la masa total se conserve. En la producción de biochar a partir de raquis de banano este balance permite; calcular la eficiencia, optimizar el uso de recursos e identificar pérdidas o subproductos aprovechables (Barrezueta et al., 2022).

2.2.3.11. Parámetros operativos

Los parámetros operativos son las variables claves que se controlan durante el proceso de pirólisis para optimizar la calidad, rendimiento y eficiencia del biochar. Estos parámetros determinan las propiedades físicas y químicas del producto final; estos factores actúan como herramientas de control que permiten ajustar el proceso según los objetivos específicos de producción, sea maximizar el rendimiento, optimizar la calidad del producto final o mejorar el balance energético. Su correcta comprensión y manipulación son fundamentales para garantizar la reproducibilidad de los resultados y la escalabilidad del proceso (Rubio, 2024).

2.2.3.12. Optimización del proceso

La optimización de procesos implica el ajuste sistemático y controlado de las variables operativas clave del sistema de pirólisis como la temperatura de proceso, el tiempo de residencia, la velocidad de calentamiento, el flujo de gases inertes o de barrido, la presión, el tamaño de partícula de la biomasa, entre otras con el objetivo de maximizar simultáneamente:

- La eficiencia del proceso (rendimiento material y conversión energética),
- La calidad del biochar obtenido (contenido de carbono estable, porosidad, área superficial, capacidad de adsorción, estabilidad a largo plazo),
- La rentabilidad económica del proyecto (valor del producto final y retorno de inversión).

Al mismo tiempo, busca minimizar el consumo energético específico, la generación de residuos no deseados, las emisiones contaminantes y los costos operativos y de inversión totales.

2.2.3.13. Control de calidad

El control de calidad es un sistema de verificación y estandarización que garantizan que el biochar producido cumpla con los parámetros físicos, químicos y biológicos para su uso seguro y efectivo en agricultura, remediación ambiental u otras aplicaciones.

2.2.3.14. Escalabilidad

Es la capacidad de aumentar o disminuir la producción de biochar sin comprometer su calidad, eficiencia o rentabilidad, adaptándose a diferentes tipos de demandas.

2.2.3.15. Comparación de rendimientos

La comparación de rendimientos es un análisis que evalúa cuanto biochar se obtiene bajo diferentes condiciones de proceso (temperatura, tiempo, tipo de reactor, etc.), permitiendo identificar la combinación más eficiente para maximizar la producción y calidad del biochar.

2.2.4 Elaborar un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado

2.2.4.1. Sostenibilidad

La sostenibilidad es un concepto que busca un equilibrio entre el progreso económico, la protección de la naturaleza y la equidad social. Su objetivo es que las actividades humanas satisfagan las necesidades actuales sin perjudicar la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas. Nace como respuesta a los daños ambientales y sociales causados por el desarrollo, impulsando un modelo que priorice el uso eficiente de los recursos, la justicia y la conservación del medio ambiente (Carchi Arias et al., 2021).

2.2.4.2. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas constituyen subproductos derivados de cultivos tanto leñosos como herbáceos, que se generan durante las distintas etapas de la producción y el procesamiento agroindustrial. Entre los ejemplos más comunes se encuentran la cascarilla de arroz, la cascarilla de café y el bagazo de caña de

azúcar, los cuales representan fracciones significativas de biomasa residual disponible en el medio rural. Estos materiales suelen originarse a partir de cosechas, podas, limpiezas de terreno y desmontes, actividades que se realizan no solo para mantener la productividad de los cultivos, sino también para reducir riesgos asociados, como la proliferación de plagas y la ocurrencia de incendios forestales. A pesar de que gran parte de estos residuos son considerados de bajo valor económico, su acumulación sin un manejo adecuado puede provocar problemas ambientales, como la emisión de gases contaminantes por su quema a cielo abierto o la degradación de suelos cuando se dispone de forma incontrolada. No obstante, en la actualidad, los residuos agrícolas son vistos como un recurso estratégico para el desarrollo sostenible, ya que pueden ser aprovechados en la producción de biocombustibles, fertilizantes orgánicos, biocarbón y otros insumos con valor agregado que contribuyen tanto a la economía circular como a la mitigación del impacto ambiental de la actividad agrícola (Franco y Stward, 2024).

2.2.4.3. Manejo

El manejo de residuos agrícolas son todas las acciones que se llevan a cabo para tratar los desechos de las cosechas, como los rastrojos o las podas. Su objetivo es evitar que estos materiales dañen el medio ambiente contaminando la tierra, el agua o el aire, y también prevenir problemas como las plagas. Al mismo tiempo, se busca darles un uso beneficioso, aprovechando su potencial para crear energía o nuevos productos, lo que aporta tanto beneficios económicos como ecológicos (Chávez Porras y Rodríguez González, 2016).

2.2.4.4. Buenas practicas

Las Buenas Prácticas Agrícolas son un conjunto de métodos diseñados para lograr una producción de alimentos que sea respetuosa con el medio ambiente, segura para los trabajadores y que garantice productos de calidad para los consumidores. Esto incluye desde elegir bien las semillas y usar el agua y los productos químicos de forma responsable, hasta manejar correctamente la tierra y los residuos. También buscan proteger la naturaleza, asegurar que se pueda rastrear el origen de los alimentos y mantener condiciones de higiene en todas las etapas del cultivo (Ramirez Zuñiga, 2020).

2.2.4.5. Manual

Un Manual de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) constituye una guía técnica en la que se reúnen, de forma estructurada y sistemática, diversos principios, recomendaciones y procedimientos destinados a optimizar la producción agrícola bajo criterios de sostenibilidad, seguridad y eficiencia. Este documento cumple la función de ser una herramienta de apoyo y formación para agricultores, operarios y profesionales del sector, contribuyendo a asegurar la calidad e inocuidad de los productos, preservar la salud de quienes intervienen en las labores agrícolas y mitigar los efectos negativos que dichas actividades puedan generar sobre el entorno natural (Medina Muñoz, 2019).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la república del Ecuador. Registro oficial n° 449 – octubre 20, 2008

Título II: Derechos

Capítulo II: Derechos del buen vivir

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Capítulo XI: Derechos de libertad

Art. 66 numeral 27.- El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

TÍTULO VII: Régimen del buen vivir
Capítulo II: Biodiversidad y recursos naturales
Sección primera: Naturaleza y ambiente

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución, comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles.

2.3.2 Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017

TITULO V GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS
CAPITULO I DISPOSICIONES GENERALES

Art. 224.- Objeto. La gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, a través de un conjunto de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de gestión, de conformidad con los principios y disposiciones del Sistema Único de Manejo Ambiental.

Art. 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos. Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;
2. La responsabilidad extendida del productor o importador;
3. La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosológicos;
4. El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación al manejo de los residuos y desechos;

5. El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;
6. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;
7. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;
8. La aplicación del principio de responsabilidad compartida, que incluye la internalización de costos, derecho a la información e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique;
9. El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;
10. La sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y desechos entre todos los sectores;
11. La jerarquización en la gestión de residuos y desechos; y,
12. Otras que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 226.- Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:

1. Prevención;
2. Minimización de la generación en la fuente;
3. Aprovechamiento o valorización;
4. Eliminación; y,
5. Disposición final.

La disposición final se limitará a aquellos desechos que no se puedan aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambientalmente adecuadas y tecnológicamente factibles.

La Autoridad Ambiental Nacional, así como los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos, promoverán y fomentarán en la ciudadanía, en el marco de sus competencias, la clasificación, reciclaje, y en general la gestión de residuos y desechos bajo este principio.

Art. 227.- Prohibiciones. Las personas que participen en la gestión de residuos y desechos en cualquiera de sus fases deberán cumplir estrictamente con lo establecido en las normas técnicas y autorizaciones administrativas correspondientes. Se prohíbe la introducción o importación al país de residuos y desechos. Para el caso de los residuos no peligrosos y especiales, se permitirá la introducción o importación única y exclusivamente cuando se cumplan las siguientes condiciones:

1. Cuando el fin solamente sea el aprovechamiento;
2. Cuando exista la capacidad técnica y tecnológica para el aprovechamiento y con ellos se garantice la adecuada gestión ambiental, y;
3. Hasta satisfacer la demanda nacional, priorizando que se haya agotado la disponibilidad de los residuos no peligrosos y desechos especiales generados en el país.

El incumplimiento de estas prohibiciones estará sujeto a los procesos administrativos y sanciones respectivas, sin perjuicio de la obligación de

retorno de los desechos y de las acciones civiles y penales a las que haya lugar.

CAPITULO II GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SOLIDOS NO PELIGROSOS

Art. 228.- De la política para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos. La gestión de los residuos sólidos no peligrosos, en todos los niveles y formas de gobierno, estará alineada a la política nacional dictada por la Autoridad Ambiental Nacional y demás instrumentos técnicos y de gestión que se definan para el efecto.

Art. 229.- Alcance y fases de la gestión. La gestión apropiada de estos residuos contribuirá a la prevención de los impactos y daños ambientales, así como a la prevención de los riesgos a la salud humana asociados a cada una de las fases. Las fases de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos serán determinadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 230.- De la infraestructura. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos proveerán de la infraestructura técnica de acuerdo a la implementación de modelos de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, de conformidad con los lineamientos y normas técnicas que se dicten para el efecto.

Art. 231.- Obligaciones y responsabilidades. Serán responsables de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos a nivel nacional, los siguientes actores públicos y privados:

1. La Autoridad Ambiental Nacional como ente rector que dictará políticas y lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en el país y elaborará el respectivo plan nacional. Asimismo, se encargará de la regulación y control;

2. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos serán los responsables del manejo integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios generados en el área de su jurisdicción, por lo tanto, están obligados a fomentar en los generadores alternativas de gestión, de acuerdo al principio de jerarquización, así como la investigación y desarrollo de tecnologías. Estos deberán establecer los procedimientos adecuados para barrido, recolección y transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y transferencia, con enfoques de inclusión económica y social de sectores vulnerables. Deberán dar tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente en un ciclo de vida productivo, implementando los mecanismos que permitan la trazabilidad de los mismos. Para lo cual, podrán conformar mancomunidades y consorcios para ejercer esta responsabilidad de conformidad con la ley. Asimismo, serán responsables por el desempeño de las personas contratadas por ellos, para efectuar la gestión de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios, en cualquiera de sus fases.

3. Los generadores de residuos, en base al principio de jerarquización, priorizarán la prevención y minimización de la generación de residuos sólidos no peligrosos, así como el adecuado manejo que incluye la separación,

clasificación, reciclaje y almacenamiento temporal; en base a los lineamientos establecidos en la política nacional y normas técnicas.

4. Los gestores de residuos no peligrosos que prestan el servicio para su gestión en cualquiera de sus fases, serán responsables del correcto manejo, para lo cual deberán enmarcar sus acciones en los parámetros que defina la política nacional en el cuidado ambiental y de la salud pública, procurando maximizar el aprovechamiento de materiales.

Art. 232.- Del reciclaje inclusivo. La Autoridad Ambiental Nacional o los Gobiernos Autónomos Descentralizados, según su competencia, promoverán la formalización, asociación, fortalecimiento y capacitación de los recicladores a nivel nacional y local, cuya participación se enmarca en la gestión integral de residuos como una estrategia para el desarrollo social, técnico y económico. Se apoyará la asociación de los recicladores como negocios inclusivos, especialmente de los grupos de la economía popular y solidaria.

Art. 233.- Aplicación de la Responsabilidad extendida Productor sobre la gestión de residuos y desechos no peligrosos, peligrosos y especiales. Los productores tienen la responsabilidad de la gestión del producto en todo el ciclo de vida del mismo. Esta responsabilidad incluye los impactos inherentes a la selección de los materiales, del proceso de producción y el uso del producto, así como lo relativo al tratamiento o disposición final del mismo cuando se convierte en residuo o desecho luego de su vida útil o por otras circunstancias. La Autoridad Ambiental Nacional, a través de la normativa técnica correspondiente, determinará los productos sujetos a REP, las metas y los lineamientos para la presentación del programa de gestión integral (PGI) de los residuos y desechos originados a partir del uso o consumo de los productos regulados. Estos programas serán aprobados por la Autoridad Ambiental Nacional, quien realizará la regulación y control de la aplicación de la Responsabilidad Extendida del Productor.

Art. 234.- De los movimientos transfronterizos de residuos sólidos no peligrosos. Todo movimiento transfronterizo de residuos sólidos no peligrosos, sea por importación, exportación o tránsito, incluyendo lo relacionado a tráfico ilícito de los mismos, será regulado por la normativa ambiental específica que dicte la Autoridad Ambiental Nacional.

2.3.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial

Suplemento 507 de 12-jun.-2019

CAPITULO III GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SOLIDOS NO PELIGROSOS SECCION 1a DISPOSICIONES GENERALES

Art. 575.- Movimiento transfronterizo de residuos sólidos no peligrosos. - Para la importación, exportación o tránsito de residuos sólidos no peligrosos se deberá solicitar a la Autoridad Ambiental Nacional el permiso respectivo, conforme a la norma secundaria que se expida para el efecto.

Art. 576.- Tráfico ilícito de residuos sólidos no peligrosos. - Se considera ilícito cualquier movimiento transfronterizo de residuos sólidos no peligrosos cuando no exista autorización emitida por la Autoridad Ambiental Nacional o cuando se realice mediante falsas declaraciones, fraude o información errónea.

SECCION 2a

SERVICIO PUBLICO DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS Y DESECHOS SOLIDOS NO PELIGROSOS

Art. 577.- Gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. La gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos constituye el conjunto integral de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos y desechos sólidos no peligrosos desde el punto de vista técnico, ambiental y socioeconómico.

Art. 578.- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos. La Autoridad Ambiental Nacional elaborará el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos, con la participación de los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, las entidades competentes, sector privado, sociedad civil y academia. El Plan Nacional será el instrumento de política pública a través del cual se generarán las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. A través del Plan, la Autoridad Ambiental Nacional establecerá objetivos y metas orientados a la aplicación y cumplimiento del principio de jerarquización de la gestión integral de residuos y desechos conforme el Código Orgánico del Ambiente.

Art. 579.- Prestación de servicio público. - El servicio público para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos deberá ser prestado por los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos bajo el modelo de gestión adoptado de conformidad con la Ley y la norma secundaria que emita la Autoridad Ambiental Nacional para el efecto.

Art. 580.- Viabilidad técnica. - Para los proyectos de cierre técnico de botaderos y proyectos para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos o cualquiera de sus fases, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán presentar a la Autoridad Ambiental Nacional, los estudios de diagnóstico, factibilidad y diseños definitivos. Una vez presentados los estudios, la Autoridad Ambiental Nacional determinará su viabilidad técnica, mediante informe motivado y según la normativa y lineamientos que se expida para el efecto. Independientemente del modelo de gestión adoptado, para estos proyectos los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán obtener la viabilidad técnica como requisito previo a la obtención de la autorización administrativa ambiental.

Art. 581.- Etapas de cierre técnico de botadero. - Las etapas a cumplirse en la elaboración de los estudios de diagnóstico, factibilidad y diseño definitivo de un proyecto para el cierre técnico de botadero son:

a) Diagnóstico y Factibilidad: Los estudios de diagnóstico y factibilidad deben comprender como mínimo lo siguiente:

- 1) Información general de la zona del proyecto de cierre;
- 2) Diagnóstico técnico, social y ambiental del botadero de desechos sólidos no peligrosos;
- 3) Recolección, análisis y procesamiento de la información secundaria existente;
- 4) Planteamiento de alternativas;
- 5) Análisis de alternativas;
- 6) Socialización de las alternativas analizadas;
- 7) Selección por parte del gobierno autónomo descentralizado municipal o metropolitano de la alternativa óptima, considerando factores técnicos ambientales, sociales y económicos; y,
- 8) Otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

b) Diseño definitivo: Los estudios de diseño definitivo deben comprender como mínimo lo siguiente:

- 1) Diseño del cierre técnico;
- 2) Manejo y control de la escorrentía superficial;
- 3) Manejo y control de la erosión y sedimentación;
- 4) Manejo de lixiviados; 5) Manejo de biogás;
- 6) Estabilidad geotécnica del cierre técnico y taludes;
- 7) Diseño de la capa de cobertura final;
- 8) Obras complementarias;
- 9) Especificaciones técnicas;
- 10) Manual de operación y mantenimiento del proyecto;
- 11) Plan de manejo ambiental preliminar;
- 12) Presupuesto, considerando los costos generados para la implementación de actividades del plan de manejo ambiental preliminar en base a precios unitarios;
- 13) Cronograma valorado; y,
- 14) Otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 582.- Etapas de proyecto de gestión integral de residuos y desechos. - Las etapas a cumplirse en la elaboración de los estudios de diagnóstico, factibilidad y diseño definitivo de un proyecto de gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos son:

a) Diagnóstico y Factibilidad. - Los estudios preliminares para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos en todas sus fases, necesarios para seleccionar la alternativa viable desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social, deberán contener como mínimo la siguiente información:

- 1) Información general del área del proyecto;

- 2) Diagnóstico técnico, ambiental, social y económico de la situación actual en referencia a todas las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos;
- 3) Estudio de cantidad y calidad de residuos;
- 4) Análisis socioeconómico del proyecto;
- 5) Bases de diseño: análisis de demanda y oferta;
- 6) Estudios de campo preliminares en topografía, geología, geotecnia, hidrología, meteorología y otros de acuerdo al requerimiento específico;
- 7) Estudio de alternativas para cada fase;
- 8) Socialización de las alternativas analizadas;
- 9) Selección de alternativa óptima por parte del gobierno autónomo descentralizado municipal o metropolitano, considerando factores técnicos ambientales, sociales y económicos; y,
- 10) Otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

2) Diseño Definitivo: El proyecto definitivo debe incluir todos los detalles de ingeniería de las diferentes fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos a implementarse, y comprender como mínimo lo siguiente:

- a) Estudios de campo definitivos en topografía, geología, geotecnia, hidrología, meteorología y otros de acuerdo al requerimiento específico;
- b) Diseño definitivo de la alternativa viable, en todas las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos, tomando en cuenta opciones de reciclaje, tratamiento y aprovechamiento de los residuos;
- c) Modelo de gestión;
- d) Evaluación económico - financiera, que incluya costos operativos, mantenimiento, tarifas, indicadores, entre otros;
- e) Memorias de cálculo;
- f) Planos de construcción detallados;
- g) Manual de operación y mantenimiento;
- h) Especificaciones técnicas;
- i) Plan de manejo ambiental preliminar;
- j) Presupuesto de las obras y análisis de cada una de las fases del sistema, considerando los costos generados para la implementación de actividades del plan de manejo ambiental preliminar en base a precios unitarios;
- k) Cronograma valorado; y,
- l) Otros que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

2.3.4 NORMA TECNICA ECUATORIANA

NTE INEN 211:98 Primera revisión- Fertilizantes o abonos tolerancias

Esta normativa establece las tolerancias mínimas y máximas permitidas en el grado garantizado de los fertilizantes o abonos, cuando se realice la inspección de fertilizantes.

NTE INEN 211:98 -Fertilizantes o abonos.

Determinación del Nitrógeno (total) libre de nitratos

Determinación de Nitrógeno total en muestras de fertilizantes líquidos y sólidos mediante Micro Kjeldahl.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto que integró perspectivas cuantitativas y cualitativas para abordar la problemática planteada. Desde el componente cuantitativo, se evaluó el volumen y las características de los residuos generados mediante técnicas de muestreo sistemático que permitieron identificar patrones en su producción y acumulación dentro del sistema productivo. Paralelamente, el enfoque cualitativo se orientó al análisis de los procedimientos y técnicas empleados en la obtención de biochar a partir del raquis de banano, explorando las percepciones y experiencias de agricultores y especialistas en relación con los métodos de pirólisis implementados; a través de entrevistas en profundidad y ejercicios de observación participante, se indagó en los saberes locales y las prácticas tradicionales asociadas al manejo de residuos orgánicos, con el fin de identificar posibles sinergias que optimicen la producción de biocarbón en contextos rurales.

3.1.1 *Tipo y alcance de investigación*

El presente estudio combinó tres enfoques metodológicos de investigación:

- Investigación aplicada: Se centró en el desarrollo de soluciones prácticas y concretas destinadas a mitigar el impacto ambiental de los desechos agrícolas, mediante la optimización del uso de recursos y el fomento de prácticas más sostenibles. Este enfoque se sustentó en un análisis detallado y exhaustivo de los residuos generados en el ámbito agrícola.
- Investigación documental: Consistió en la revisión sistemática de fuentes secundarias (literatura científica, informes técnicos, estudios previos, normativas, etc.) con el propósito de recopilar información existente sobre la gestión de residuos en explotaciones agrícolas, identificar prácticas habituales y detectar patrones comunes en la generación y manejo de estos desechos.
- Investigación descriptiva: Tuvo como objetivo principal cuantificar y caracterizar los residuos agrícolas producidos, especificando sus volúmenes, composición y tipos predominantes. Los resultados obtenidos

constituyeron la base para diseñar estrategias de manejo más eficientes y maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles dentro de la propia finca.

3.1.2 *Diseño de la investigación*

La presente investigación se clasificó de carácter no experimental, dado que implicó la observación de las variables independientes, específicamente la temperatura y el tiempo de pirólisis, con el fin de determinar su incidencia en las propiedades del biochar obtenido a partir del raquis de banano. El estudio contempló la producción de biochar a partir de residuos agrícolas, la implementación de un diseño experimental de pirólisis y, finalmente, la evaluación detallada de los parámetros fisicoquímicos del material producido.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las siguientes variables

3.2.1.1. Variables dependientes

- **Masa seca del raquis de banano obtenido**
- Biochar producido
- Condiciones del proceso de pirólisis (temperatura, tiempo)
- pH del biochar
- Contenido de materia orgánica
- Porcentaje de nitrógeno total
- Concentración de nutrientes (K, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn)
- Rendimiento gravimétrico del biochar

3.2.1.2. Variables independientes

- Cantidad de raquis disponible
- Condiciones climáticas

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.
Variables dependientes

Variables Dependientes			
Variable	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Biochar producido	Cuantitativo	De razón	Cantidad de biochar obtenida tras el proceso de pirólisis, medido en gramos o kilogramos.
Condiciones del proceso de pirólisis (temperatura, tiempo)	Cuantitativo	De razón	Variables que afectan la composición fisicoquímica del biochar.
Porcentaje de nitrógeno total	Cuantitativo	De razón	Proporción de nitrógeno contenido en el biochar.
Concentración de nutrientes (K, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn)	Cuantitativo	De razón	Cantidades de macro y micronutrientes en ppm presentes en el biochar.
Rendimiento gravimétrico del biochar	Cuantitativo	De razón	Relación entre la masa de biochar obtenida y la masa seca de cáscara de cacao inicial (expresado como porcentaje o proporción).

Elaborado por: El Autor, (2026).

Tabla 2.
Variables independientes

Variables Independientes			
Variable	Tipo	Nivel de Medida	Descripción
Cantidad de raquis disponible	Cuantitativo	De razón	Peso de la biomasa seca utilizada como insumo en el proceso de pirólisis.
Condiciones climáticas	Cualitativo	De razón	Variables que afectan la obtención de raquis de banano para la producción de biochar.

Elaborado por: El Autor, (2026).

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1. Recursos

Recursos Materiales

- Biomasa compuesta por raquis de banano como materia prima inicial.
- Plástico de polietileno negro destinadas al secado del material.
- Sacos o costales para almacenamiento y traslado del residuo vegetal.
- Horno pirolítico empleado para el proceso de carbonización.
- Balanza de plataforma utilizada antes del proceso de transformación.
- Balanza de alta precisión utilizadas después del proceso de transformación.
- Elementos de protección personal, como guantes, mascarillas, gafas de seguridad y delantal.
- Recipientes sellados para el almacenamiento y transporte seguro de las muestras de biochar.

Recursos Técnicos

- Guías técnicas sobre el proceso de pirólisis y la elaboración de biochar.
- Herramientas digitales como Microsoft Excel para el registro y análisis de datos experimentales.

Recurso humano: asesoría de la tutora y ayuda de un compañero tesista.

3.2.3.2. Métodos y técnicas

Para el desarrollo de la investigación se diseñó un cronograma de trabajo estructurado en función de los objetivos específicos previamente planteados, garantizando así una adecuada organización y secuenciación de las actividades. En este contexto, se seleccionaron y emplearon residuos agrícolas como materia prima principal en el proceso de producción de biochar, con el fin de analizar la factibilidad técnica y científica de dicho procedimiento. Este enfoque permitió no solo evaluar la eficiencia del proceso de pirólisis aplicado, sino también valorar el potencial de aprovechamiento de los residuos agrícolas en la obtención de un material con propiedades de interés para aplicaciones ambientales y productivas.

- **Primer objetivo: Elaborar biochar utilizando como materia prima el raquis de banano disponible en la finca Ivonne Alvarado**

Se coordinó con el personal de la finca Ivonne Alvarado la recolección del raquis de banano, el cual fue trasladado a la Universidad Agraria del Ecuador, lugar donde se desarrolló el estudio. En primera instancia, el raquis se pesó en base húmeda y posteriormente se almacenó en la parte posterior del edificio E1, sobre un plástico de polietileno negro, para que se secase con la exposición a la luz solar. Una vez seco, se registró su peso en base seca y se procedió con el proceso de pirólisis. Para ello, se preparó un espacio en el que se colocó el raquis con el fin de obtener biochar. Finalizado el proceso, se determinó mediante una balanza analítica el peso en gramos tanto del biochar como de la ceniza generada. Finalmente, del biochar obtenido se separó una muestra destinada a su respectivo análisis.

- **Segundo objetivo: Estudiar las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.**

Con el propósito de analizar las propiedades fisicoquímicas del biochar obtenido a partir del raquis de banano recolectado en la Finca Ivonne Alvarado, se separó una muestra representativa del material producido. Esta fue remitida al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), entidad encargada de efectuar los análisis especializados necesarios para caracterizar el biochar en términos de sus parámetros fisicoquímicos.

- **Tercer objetivo: Determinar el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.**

Cuando se dispuso del raquis de banano en base húmeda, se procedió en primera instancia a realizar su pesaje y a registrar los valores obtenidos en la libreta de campo. Posteriormente, el material fue almacenado y sometido a un proceso de secado. Una vez que el raquis estuvo completamente seco, se repitió el pesaje y se anotaron los resultados correspondientes. Con los datos obtenidos, se continuó con la producción de biochar. Al finalizar el proceso, el material resultante fue clasificado en biochar efectivo y cenizas. Finalmente, con todos los valores registrados, se calculó el rendimiento del proceso mediante la aplicación de una fórmula específica.

- **Cuarto objetivo: Elaborar un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado**

Con el propósito de elaborar el manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas en la finca Ivonne Alvarado, se desarrolló un enfoque teórico basado en el análisis de las buenas prácticas ambientales (BPA) y su relevancia dentro de los sistemas productivos agrícolas. El manual se fundamenta en principios técnicos y normativos orientados en promover una gestión adecuada de los residuos generados durante las actividades agrícolas.

El presente manual establece lineamientos generales y recomendaciones técnicas orientadas a guiar un manejo eficiente y responsable de los residuos agrícolas. Su propósito principal es reducir al mínimo los impactos negativos sobre el ambiente. Asimismo, se incorporan conceptos asociados a la economía circular, destacando la importancia de la reutilización y valorización de los residuos agrícolas como una alternativa para fortalecer la sostenibilidad ambiental y productiva.

3.2.4 Análisis estadístico

La estadística descriptiva fue utilizada en este estudio como una herramienta clave para analizar los resultados obtenidos durante el desarrollo de biochar a partir de raquis de banano en la Finca Ivonne Alvarado. Esta metodología permitió organizar y sintetizar los datos relacionados con las propiedades fisicoquímicas del biochar, como el pH, el contenido de materia orgánica y la concentración de nutrientes, mediante tablas, gráficos y medidas de tendencia central. Asimismo, facilitó la evaluación del rendimiento en términos de peso, comparando la masa del material procesado con la masa del producto final. El uso de estadística descriptiva contribuyó a interpretar los resultados de manera clara y objetiva, apoyando la validación del biochar como una opción sostenible para el manejo de residuos agrícolas (Gaviria y Marquéz, 2019).

4 RESULTADOS

4.1 Se elaboro biochar utilizando como materia prima el raquis de banano disponible en la finca Ivonne Alvarado.

Actividad 1: Recolección de raquis de banano

Se procedió a dirigirse a la finca Ivonne Alvarado para recolectar los raquis de banano luego de la cosecha y embarque. Este residuo agrícola presenta ciertas dificultades para su manejo, ya que sus características físicas y su alta humedad hacen que la elaboración de fertilizantes orgánicos, como compost o biol, resulte más compleja y requiera procesos adicionales para su adecuada descomposición. En total se recolectaron y pesaron 10 lotes en diferentes fechas (tabla 3).

Tabla 3.

Lotes de materia orgánica húmeda para elaboración de Biochar

Número de Lote	Cantidad Inicial (Kg)	Fecha de Recolección
1	480	13 de junio del 2025
2	320	19 de julio del 2025
3	160	22 de agosto de 2025
4	250	14 de octubre del 2025
5	250	14 de octubre del 2025
6	130	14 de octubre del 2025
7	125	21 de noviembre del 2025
8	125	21 de noviembre del 2025
9	125	21 de noviembre del 2025
10	125	21 de noviembre del 2025

Elaborado por: El Autor, (2026).

La tabla representa los periodos en que se recolecto el raquis de banano a lo largo del periodo establecido, la primera recolección que se dio del raquis de banano de la finca Ivonne Alvarado fue el 13 de junio del 2025 y se recolectó un total de 480 kg y la última recolección se la hizo el 21 de noviembre del 2025 y se recolecto un total de 500 kg que fueron divididos en 4 lotes respectivamente, la diferencia en los pesos se debe a la disposición del raquis de banano de la finca, clima y transporte.

Actividad 2: Secado

Una vez que se recolectó y se obtuvo el peso inicial de cada lote, se procedió a dejarlo secar durante 25 días aproximadamente. Finalizada esta actividad se obtuvo el peso de cada lote (Tabla 4).

Tabla 4.

Lotes de materia orgánica seca para elaboración de Biochar

Número de Lote	Peso Inicial (Kg)	Peso Resultante del Proceso de Secado (Kg)
1	480kg	45
2	320kg	33,6
3	160kg	15,2
4	250Kg	25,6
5	250kg	23
6	130kg	11,5
7	125kg	12
8	125kg	13
9	125kg	11,3
10	125kg	12

Elaborado por: El Autor, (2026).

En la tabla se muestra el peso inicial de la biomasa que se utilizó para la elaboración del biochar; en comparación al peso inicial y al peso final de la biomasa antes de someterla al proceso de pirólisis se pudo observar que la biomasa presenta una alta cantidad de humedad, gracias al proceso de secado se determinó que la media en la reducción de peso de la biomasa es del 90,47 % dato obtenido mediante un cálculo matemático.

Actividad 3: Pirólisis del raquis de banano

Para la elaboración del biochar se empleó la técnica de pirólisis, utilizando como materiales principales raquis de banano seco, biomasa seca (paja), agua, pala y cerrillos. Este proceso se desarrolló siguiendo un protocolo compuesto por nueve pasos, descritos con mayor profundidad a continuación:

Paso 1:

En el centro del montón o pila formado por el raquis seco se colocó una cantidad de biomasa seca altamente inflamable (paja), elegida específicamente por su facilidad de ignición y por su capacidad para producir un calor constante y sostenido durante las fases iniciales del proceso.

La paja fue encendida de forma cuidadosa y controlada mediante cerillos, asegurando que la llama se propagara de manera gradual y uniforme. Este paso resultó esencial para generar el calor inicial necesario que permitiera alcanzar las temperaturas requeridas para iniciar la degradación térmica (pirólisis) del raquis, sin que se produjera una combustión completa y oxidativa del material.

Paso 2:

En el centro de la pila formada por el raquis seco, se introdujo biomasa seca, específicamente paja, elegida por su fácil ignición y su aptitud para producir calor constante durante las primeras fases del proceso. La paja fue encendida con cuidado con fósforos, asegurando que la combustión avanzara de forma controlada. Esta etapa resultó esencial para lograr que el calor generado alcanzara el nivel adecuado, capaz de desencadenar la descomposición térmica del raquis sin provocar su quema total.

Paso 3:

Después de prender la biomasa, se incorporaron de 3 a 5 kilogramos más de raquis de banano, esparciéndolos sobre la pila. Se dejó que el material se quemara de forma parcial, vigilando el color y la consistencia del raquis para verificar que la pirólisis ocurriera correctamente. Esta incorporación paulatina contribuyó a conservar temperaturas idóneas y a regular el ingreso de oxígeno, previniendo una generación excesiva de cenizas.

Paso 4:

A continuación, se añadió una nueva capa de raquis de banano con un peso parecido, la cual se revolvió con cuidado usando una pala para garantizar que el material recibiera calor de forma homogénea. Se permitió que esta capa se quemara por completo, supervisando la combustión para impedir que el material se

incendiara directamente. Esta mezcla continua facilitó la conversión del raquis en carbono estable, mejorando así la eficiencia del procedimiento.

Paso 5:

El proceso descrito se reiteró de forma continua hasta completar el tratamiento de todo el lote designado. Cada etapa de incorporación, homogenización y combustión parcial permitió regular la velocidad de pirólisis y conservar una temperatura constante en la pila. Esta secuencia repetitiva aseguró que todos los trozos de raquis experimentaran condiciones térmicas equivalentes, favoreciendo la homogeneidad del resultado final.

Paso 6:

Una vez completado el proceso de pirólisis para todo el lote, se vertieron aproximadamente 20 litros de agua sobre el material incandescente. Este choque térmico se realizó con el objetivo de detener de inmediato la combustión y evitar que el material continuara oxidándose, lo que habría generado una mayor cantidad de cenizas. Además, el enfriamiento repentino favoreció la formación de estructuras porosas en el biochar, mejorando sus propiedades de retención de agua y nutrientes.

Paso 7:

Tras verter el agua, se permitió que el material permaneciera en reposo durante un período aproximado de 3 días. Este tiempo fue necesario para que el exceso de humedad se secase bajo la luz solar. Durante este periodo, se vigiló el estado del biochar para asegurar que no se reactivara ningún foco de combustión interna.

Paso 8:

Una vez que el biochar estuvo completamente seco, se procedió a recolectarlo manualmente y a almacenarlo en sacos resistentes. Posteriormente, se realizó el pesaje del material obtenido con el fin de cuantificar el rendimiento de producción por lote. Este registro permitió establecer una relación entre la cantidad de raquis procesado y la cantidad de biochar generada, información indispensable para la evaluación del proceso (tabla 5).

Tabla 5.
Pesos de la materia orgánica y pesos del biochar obtenido.

Número de Lote	Peso del raquis de banano seco (Kg)	Peso del Biochar (Kg)
1	45	25
2	33,6	17
3	15,2	7,80
4	25,6	12,90
5	23	11,60
6	11,5	5,90
7	12	6,30
8	13	6,80
9	11,3	5,70
10	12	6,20

Elaborado por: El Autor, (2026).

En la tabla se observan los pesos de la biomasa seca y el biochar obtenido por cada lote procesado; con estos datos se obtuvo que la media de reducción es del 48,24 % con lo que se pudo determinar que de la biomasa seca a biochar se obtiene más del 50% de efectividad.

Paso 9:

Finalmente, el biochar producido y almacenado en sacos fue retirado por profesionales agrónomos, quienes lo emplearon como enmienda en diversos cultivos. Esta aplicación permitió evaluar preliminarmente el desempeño del biochar en campo, así como validar su calidad y propiedades agronómicas derivadas del proceso de pirólisis.

4.2 Se estudiaron las características fisicoquímicas del biochar producido a partir del raquis de banano.

Actividad 1: Toma de muestras

Para la toma de muestras del biochar tomamos en cuenta los parámetros establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) con su norma 220:2013, en donde se indica que para los análisis de laboratorio se tiene que llevar una muestra de 1 kilo del fertilizante orgánico, esta muestra debe ser compuesta,

por lo tanto, de cada lote que se realizó se extrajo 100 gramos para completar lo establecido por cantidad de muestra.

Actividad 2: Envío de muestras al laboratorio acreditado (INIAP)

Se llevo las muestras a analizar al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) el mismo que está acreditado ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE); una vez entregadas las muestras el tiempo que se demoraron en entregar los resultados fue 15 días y se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 6).

Tabla 6.
Análisis fisicoquímico del biochar

Parámetro	Simbología	Resultado	Unidad
Nitrógeno	N	0,6	%
Fosforo	P	4983	ppm
Potasio	K	67343	ppm
calcio	Ca	20470	ppm
Magnesio	Mg	7652	ppm
Hierro	Fe	1531	ppm
Cobre	Cu	14	ppm
Manganeso	Mn	158	ppm
Zinc	Zn	78	ppm
Conductividad Eléctrica	C.E.	105,30	ms/cm
Materia orgánica	M.O.	10,1	%
Potencial de hidrogeno	pH	9,6	

Elaborado por: El Autor, (2026).

La presenta tabla muestra los resultados del análisis fisicoquímico del biochar realizados por el INIAP, en la cual se evidencia cual es la cantidad de cada compuesto presente en el biochar de raquis de banano de la Finca Ivonne Alvarado

4.3 Se determino el rendimiento en términos de peso del biochar generado a partir del raquis de banano procesado.

Actividad 1: Calculo de rendimiento gravimétrico del biochar elaborado a partir de raquis de banano en las diferentes etapas de proceso.

Con la finalidad de evaluar la eficacia del proceso de conversión, se calculó el rendimiento gravimétrico del biocarbón derivado del raquis de banano. Para esto, se estableció el porcentaje de disminución de masa en dos fases fundamentales del procedimiento: inicialmente, entre el peso del raquis en estado fresco y el peso logrado tras el secado; y posteriormente, entre el peso seco y el peso final del biocarbón obtenido. Este análisis facilitó la medición de la pérdida de materia vinculada tanto a la extracción de agua como a la transformación termoquímica de la biomasa, ofreciendo de esta manera una estimación exacta del aprovechamiento del raquis de banano en la elaboración del biochar (tabla 7).

Tabla 7.
Rendimiento Gravimétrico del biochar

Número de Lote	Peso Inicial (Kg)	Peso Después del Secado (Kg)	Porcentaje de reducción (Peso Inicial y Peso después del secado) %	Peso del Biochar (Kg)	Porcentaje de reducción (Peso después del secado y peso del Biochar) %	Porcentaje de reducción (Peso Inicial y Peso del Biochar) %
1	480	45	90,63	25	44,44	94,79
2	320	33,6	89,5	17	49,40	94,69
3	160	15,2	91,5	7,80	48,68	95,13
4	250	25,6	89,76	12,90	49,60	94,84
5	250	23	90,80	11,60	49,56	95,36
6	130	11,5	91,15	5,90	47,83	95,38
7	125	12	90,40	6,30	47,50	94,96
8	125	13	89,60	6,80	47,69	94,56
9	125	11,3	90,96	5,70	48,33	95,04
10	125	12	90,40	6,20	49,39	95,05

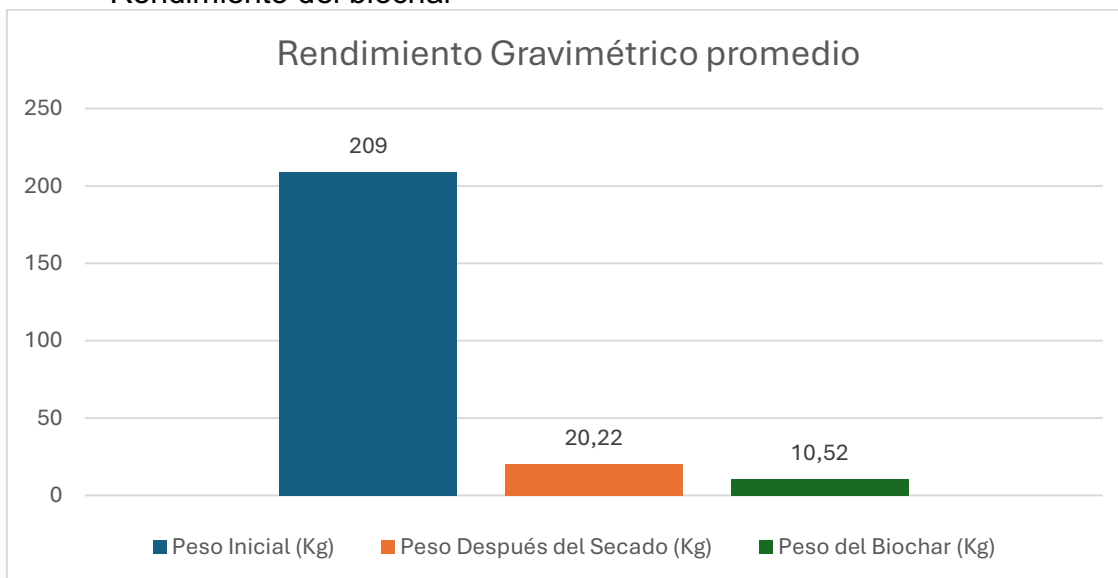
Elaborado por: El Autor, (2026).

La tabla evidencia una reducción muy significativa del peso de la biomasa cuando se compara el peso inicial del raquis de banano fresco con el peso final del biochar obtenido. Los pesos iniciales de los lotes varían entre 125 kg y 480 kg, mientras que los pesos finales del biochar oscilan entre aproximadamente 5,7 kg y 25 kg. Esta diferencia refleja la pérdida acumulada de masa producto de dos etapas

consecutivas: la eliminación del contenido de humedad durante el secado y la degradación térmica de la materia orgánica durante el proceso de pirólisis.

Gráfico 1.

Rendimiento del biochar



Elaborado por: El Autor, (2026).

El porcentaje de reducción del peso inicial respecto al peso final del biochar se mantiene elevado y relativamente uniforme en todos los lotes, con valores cercanos al 94 % y 95 %. Esta consistencia indica que, independientemente de la cantidad inicial de biomasa procesada, el rendimiento gravimétrico del biochar es similar, lo que demuestra estabilidad y reproducibilidad del proceso. Los resultados confirman que solo una pequeña fracción del peso inicial de la biomasa se transforma en biochar sólido, lo cual es característico de materiales con alto contenido de humedad como el raquis de banano. Este comportamiento resalta la importancia de considerar el peso inicial en la planificación del aprovechamiento de residuos agrícolas y en la estimación real del rendimiento de biochar a escala productiva.

4.4 Se elaboró un manual de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas dentro de la finca Ivonne Alvarado.

El manual de buenas prácticas se creó con el propósito de mejorar la gestión de los desechos producidos en las actividades cotidianas de la finca bananera Ivonne Alvarado. Este documento, elaborado tras un examen minucioso de las labores en el campo, permitió identificar y categorizar los residuos en tres tipos:

orgánicos, inorgánicos y peligrosos. A partir de este diagnóstico, se definieron principios prácticos orientados a minimizar los desechos, efectuar una separación correcta desde su generación y gestionar de forma adecuada el almacenamiento transitorio y la disposición final, con la meta de evitar efectos adversos en el suelo, el agua y el ecosistema circundante a la propiedad.

Entre las mejores alternativas, el manual sugiere el aprovechamiento de los residuos orgánicos, tales como el raquis de banano y los desechos vegetales, convirtiéndolos en abono mediante procesos de compostaje o en biocarbón, un notable acondicionador de suelos. Asimismo, se establecen lineamientos claros y seguros para el tratamiento de residuos inorgánicos y peligrosos, asegurando que cada categoría de desecho reciba la gestión correspondiente. Adicionalmente, se incorporan disposiciones enfocadas en la integridad y protección de los empleados, la formación ecológica permanente del equipo y la relevancia del seguimiento periódico para corroborar la ejecución correcta de las medidas.

La implementación de estas sugerencias posibilitará que la finca consolide su administración ambiental, cumpla con la legislación aplicable y progrese hacia una producción bananera más sustentable y comprometida. Se promoverá una cultura de respeto por el entorno entre los trabajadores, optimizando el desempeño ecológico de cada tarea productiva. En su conjunto, estas medidas constituyen un avance significativo hacia un sistema agrícola más consciente, que resguarda los bienes naturales y prepara a la finca para los retos contemporáneos del rubro.

5 DISCUSIÓN

La producción de biocarbón a partir del raquis de banano demostró que este desecho agrícola cuenta con propiedades idóneas para ser procesado mediante pirólisis, lo que facilita su aprovechamiento dentro de entornos productivos del sector agrario. En este contexto, Paucar (2024) analizó la elaboración de biocarbón empleando cascarilla de café bajo distintas condiciones de temperatura y tasas de calentamiento, logrando un rendimiento cercano al 28,93 % y un aumento considerable en el poder calorífico del producto obtenido. Estos resultados demuestran que los residuos agrícolas pueden convertirse en biocarbón con propiedades energéticas y estructurales favorables. De manera similar, en el presente estudio el raquis de banano fue transformado mediante un proceso de pirólisis artesanal que permitió obtener biochar a partir de la biomasa seca recolectada en la finca Ivonne Alvarado, evidenciando que este residuo también puede ser aprovechado como materia prima para la producción de biocarbón.

Por otra parte, Orozco y Fuentes (2020) evaluaron la producción de biochar a partir de residuos de *Guadua angustifolia* generados en plantaciones forestales, determinando que la temperatura óptima para obtener un mayor rendimiento fue de 550 °C, con un valor aproximado del 27 %. Además, el biocarbón obtenido presentó un alto contenido de carbono fijo, lo que favorece su estabilidad y potencial aplicación en suelos agrícolas. En comparación con estos resultados, el biochar producido a partir del raquis de banano en la presente investigación demuestra que este tipo de biomasa también puede transformarse eficazmente mediante procesos de pirólisis, contribuyendo al aprovechamiento de residuos agrícolas que generalmente son abandonados en campo. De esta manera, los resultados obtenidos confirman que el raquis de banano representa una alternativa viable para la producción de biochar y para la implementación de prácticas de manejo sostenible de residuos dentro de sistemas bananeros.

Las propiedades evidenciadas en el análisis fisicoquímico del biocarbón generado confirman su viabilidad para ser empleado como mejorador de suelos. En particular, la investigación desarrollada por Catute (2024) evaluó biocarbón obtenido de raquis de banano y cáscara de cacao, reportando un pH de 9,7 y niveles elevados de elementos como fósforo, potasio y calcio. Estos hallazgos permitieron inferir que el biocarbón cuenta con atributos que contribuyen al fortalecimiento de

las características químicas del terreno y al suministro de nutrientes fundamentales para el desarrollo vegetal. De manera análoga, el biocarbón derivado del presente estudio mostró un pH de 9,6 y cantidades significativas de nutrientes tales como potasio (67343 ppm), fósforo (4983 ppm) y calcio (20470 ppm), lo que demuestra una composición química propicia que se alinea con las cifras documentadas en investigaciones anteriores acerca de biocarbón elaborado a partir de desechos agrícolas.

En la misma línea, García (2021) analizó las características fisicoquímicas de biocarbones producidos a partir de distintas clases de biomasa, documentando niveles de pH que oscilaron entre 8,4 y 11,9, junto con elevadas concentraciones de carbono orgánico. Estos atributos resultan beneficiosos para potenciar la fertilidad del terreno y optimizar la capacidad de retención de nutrientes. Asimismo, el estudio evidenció que el biochar puede aportar tanto macronutrientes como micronutrientes esenciales para el desarrollo vegetal. En comparación con estos resultados, el biochar producido a partir del raquis de banano en la presente investigación presenta valores de pH alcalinos y concentraciones relevantes de micronutrientes como hierro, zinc y manganeso, lo que confirma que sus propiedades fisicoquímicas se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura científica. Por lo tanto, estos hallazgos consolidan la noción de que el biocarbón producido a partir de desechos agrícolas puede emplearse como una opción ecológica y viable para optimizar la calidad del suelo en entornos productivos.

El examen del rendimiento gravimétrico reveló una disminución considerable en la masa de la biomasa a lo largo de las distintas fases del proceso de elaboración de biocarbón. En este marco, la investigación de Lira (2022) analizó la generación de biocarbón a partir de bambú mediante pirólisis lenta bajo distintas temperaturas, identificando que la condición más favorable fue a 550 °C, alcanzando un rendimiento cercano al 27 %. Este fenómeno se atribuye a la liberación de sustancias volátiles durante el tratamiento térmico, lo cual disminuye el peso definitivo del producto obtenido. Al contrastar con dicho estudio, los hallazgos de la actual investigación indican que, partiendo de la biomasa seca, el procedimiento de pirólisis permitió lograr cerca de un 50 % de biocarbón en relación con el peso seco

original del raquis de banano, lo que demuestra un rendimiento significativo dentro de las condiciones de producción implementadas.

Por otra parte, Suasnavas (2023) señala que el rendimiento del biochar depende principalmente de la materia prima utilizada y de la temperatura aplicada durante el proceso de pirólisis. Según este autor, a medida que aumenta la temperatura de producción el contenido de carbono del biochar se incrementa, pero el rendimiento total del proceso disminuye debido a la liberación de gases y compuestos volátiles. Este comportamiento coincide con lo observado en el presente estudio, donde se evidenció una reducción significativa del peso inicial del raquis de banano fresco respecto al peso final del biochar obtenido, alcanzando valores de reducción cercanos al 95 %. Este resultado se explica principalmente por el alto contenido de humedad del material vegetal y por las transformaciones químicas que ocurren durante el proceso de pirólisis, lo que confirma la relación entre la pérdida de masa y la conversión de biomasa en carbono estable.

La creación de una guía de buenas prácticas ambientales representa un recurso esencial para optimizar la administración de desechos agrícolas en contextos productivos. En este contexto, Ortega (2024) diseñó iniciativas enfocadas en la adopción de prácticas agrícolas responsables en plantaciones de café, fomentando el tratamiento apropiado de residuos orgánicos y la incorporación de métodos sostenibles dentro de los sistemas de producción. Entre los logros alcanzados sobresalieron la puesta en marcha de procesos de compostaje, el reaprovechamiento de desechos orgánicos y la instalación de puntos ecológicos para la separación adecuada de residuos. Estos hallazgos demuestran que la organización y ejecución de medidas ambientales contribuyen a disminuir los efectos perjudiciales en el ecosistema y a fortalecer la sostenibilidad de las labores agrícolas.

De manera adicional, investigaciones acerca de la gestión ambiental en el ámbito agrícola han indicado que el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de técnicas como el compostaje o la elaboración de biocarbón permite disminuir la acumulación de desechos y potenciar la fertilidad del terreno. En línea con estas ideas, la guía desarrollada en este estudio propone acciones concretas para el tratamiento de los residuos generados en la finca Ivonne Alvarado, tales como la separación de desechos, la utilización del raquis de banano mediante la

generación de biocarbón y el manejo adecuado de residuos inorgánicos y peligrosos. Estas medidas no solo ayudan a mejorar la administración de los desechos derivados de las labores agrícolas, sino que también consolidan la gestión ambiental de la propiedad e impulsan prácticas productivas más responsables y duraderas.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La producción de biocarbón a partir del raquis de banano evidenció que este desecho de origen agrícola puede ser procesado mediante pirólisis para obtener un material con alto potencial de aprovechamiento. El procedimiento implementado posibilitó la conversión de la biomasa recolectada en un producto carbonoso de naturaleza estable, lo que demuestra que los residuos derivados de la actividad bananera pueden ser revalorizados. Este hallazgo pone de manifiesto que el raquis de banano no debe ser concebido exclusivamente como un desecho, sino como un recurso susceptible de ser reincorporado al ciclo productivo. De este modo, su reaprovechamiento favorece la disminución de desechos acumulados en el campo e impulsa la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles.

El examen fisicoquímico del biocarbón generado reveló atributos que avalan su viabilidad como mejorador de suelos. Los resultados obtenidos indicaron un pH de carácter alcalino y niveles significativos de nutrientes como potasio, fósforo, calcio y magnesio, junto con la presencia de micronutrientes fundamentales para el crecimiento de los cultivos. Estas propiedades sugieren que el biocarbón puede colaborar en el fortalecimiento de las características químicas del terreno y facilitar la asimilación de nutrientes. Por lo tanto, el biocarbón derivado del raquis de banano reúne condiciones favorables para ser potencialmente utilizado en entornos agrícolas.

El cálculo del rendimiento gravimétrico permitió identificar una reducción significativa del peso de la biomasa durante las diferentes etapas del proceso. Inicialmente, el secado del raquis de banano evidenció una reducción cercana al 90 % del peso inicial debido al alto contenido de humedad del material. Posteriormente, durante el proceso de pirólisis, se obtuvo aproximadamente un 50 % de biochar respecto al peso seco inicial. Estos resultados demuestran que, aunque existe una importante pérdida de masa durante el proceso, el rendimiento obtenido resulta adecuado para la conversión de residuos agrícolas en biochar.

La creación de la guía de prácticas ambientales responsables facilitó la definición de directrices precisas para la gestión adecuada de los desechos agrícolas en la finca Ivonne Alvarado. Este instrumento plantea acciones enfocadas

en la separación, minimización y valorización de los residuos derivados de las labores productivas. Asimismo, incorpora sugerencias para el tratamiento de desechos orgánicos, inorgánicos y peligrosos, fomentando una administración ambiental más efectiva. Su aplicación puede ayudar a disminuir los efectos ecológicos adversos y a consolidar la sostenibilidad del sistema productivo bananero.

6.2 Recomendaciones

Se sugiere proseguir con la producción de biocarbón a partir del raquis de banano generado en la finca, con el propósito de valorizar este desecho agrícola de forma sostenible. Esta medida posibilitaría disminuir la acumulación de biomasa en el terreno y convertir un residuo en un recurso provechoso para el sistema productivo. Adicionalmente, su incorporación en los suelos de cultivo podría ayudar a optimizar la fertilidad y la estructura del terreno. De este modo, se impulsaría una gestión más eficiente de los desechos agrícolas dentro de la propiedad.

Se recomienda llevar a cabo investigaciones complementarias que permitan examinar con mayor detalle las características fisicoquímicas del biocarbón obtenido. Estos estudios podrían abarcar análisis adicionales como la determinación de carbono, la capacidad de retención hídrica y la estabilidad del material en el suelo. La obtención de esta información facilitaría una comprensión más amplia del comportamiento del biocarbón en diversas condiciones agrícolas. Asimismo, contribuiría a precisar con mayor exactitud sus ventajas y posibles usos dentro de los entornos productivos.

Se aconseja perfeccionar las condiciones del proceso de elaboración del biocarbón, particularmente en aspectos como el secado anticipado de la biomasa y la regulación del proceso de pirólisis. Elementos como la duración del secado, la temperatura alcanzada y la cantidad de biomasa procesada pueden incidir en el rendimiento definitivo del biocarbón. Un manejo más riguroso de estas variables permitiría aumentar la eficiencia del procedimiento y conseguir un producto de superior calidad. Esto favorecería un mejor aprovechamiento del raquis de banano como material de partida.

Se recomienda implementar el manual de buenas prácticas ambientales dentro de las actividades operativas de la finca, promoviendo la participación activa de los trabajadores en su aplicación. Para ello, es importante desarrollar capacitaciones periódicas sobre manejo adecuado de residuos y protección ambiental. Estas acciones permitirán fortalecer la cultura ambiental dentro del sistema productivo. Además, contribuirán a mejorar la gestión de los residuos agrícolas y a promover una producción bananera más sostenible.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, S., Sarango, M. J., Maza, J., y Romero, H. (20 de Junio de 2025). Evaluación del biocarbón de raquis de banano como adsorbente de As en soluciones acuosas. *Conocimiento Global*, 10((S1Especial)), 71- 85. <https://doi.org/https://doi.org/10.70165/cglobal.v10iS1.570>
- Barrezueta , S., Romero, H., y Ríos M. (10 de Octubre de 2023). Características principales del biocarbón derivado de restos de Theobroma cacao L. para su uso en suelos agrícolas. *Revista Colombiana de Química*, 52(01), 19-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v52n1.110591>
- Barrezueta, S., Condoy, A., y Sanchez, S. (2022). *Efecto del biocarbón en el desarrollo de las plantas de banano (Musa AAA) en fincas a partir de un manejo orgánico y convencional* (Vol. 13). Enfoque UTE. <https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.815>
- BBVA. (30 de junio de 2025). *¿Qué es la biomasa y para qué sirve? El aprovechamiento de lo orgánico.* BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-biomasa-el-aprovechamiento-de-lo-organico/>
- BBVA. (10 de Junio de 2025). *Economía Circular.* <https://doi.org/https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-economia-circular/>
- BBVA. (26 de mayo de 2025). *Tipos de energías renovables: cuáles son y qué papel tienen.* BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-medioambiente-y-por-que-es-clave-para-la-vida/>
- Bone Moncayo, B. X. (2024). *Plan de gestión integral de residuos sólidos agropecuarios en los cantones cayambe y pedro moncayo.* Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28627/1/TTS2005.pdf>

- Cajamarca, P., y Romero, K. (2022). *Espumas de carbón a partir de raquis de banano para la recuperación de itrio en soluciones acuosas*. Ecuador. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/19969>
- Carbotecnia. (07 de febrero de 2023). *Carbotecnia*. Carbotecnia: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-absorcion-y-adsorcion/>
- Carchi Arias, K. L., Juca Maldonad, F., Delgado Olaya, R. M., y García Saltos, M. B. (2021). MODELO ESTRATÉGICO DE COSTOS UNA VENTAJA COMPETITIVA DE SOSTENIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BANANO. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(3), 156-166. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721778110019>
- Catute, I. (2024). *Gestión de los residuos producidos por la finca Carrillo, Milagro-Guayas*. Universidad Agraria del Ecuador. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CATUTE%20BARRETO%20IVANIA%20NICOLE.pdf>
- Chávez Porras, Á., y Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia Y Virtualidad*, 9(2), 90-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Cherlinka, V. (07 de Marzo de 2025). *EOS Data Analytics*. EOS Data Analytics: <https://eos.com/es/blog/humedad-del-suelo/>
- Cortes, D. (14 de Marzo de 2024). *Centro de Estudios Superiores de Maranathá CESUMA*. Universidad CESUMA: <https://www.cesuma.mx/blog/que-es-la-produccion-limpia-lean-manufacturing.html>
- Dean, D. (05 de diciembre de 2024). *JOVE*. JOVE: <https://www.jove.com/es/science-education/v/12291/infrared-ir-spectroscopy-overview>
- Elbehri, A., Calberto, G., Charles Staver, A. H., Skully, D., Roibás, L., Siles, P., . . . Bustamante, A. (2015). *Cambio climático y sostenibilidad del banano en el Ecuador: Evaluación de impacto y directrices de política*. (A. Elbehri, Ed.) Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a0ecba08-d28b-4bf9-a704-b2be5f9f697f/content>

European Business school CEUPE. (16 de septiembre de 2022). *¿En qué consisten el tratamiento térmico y sus procesos?* European Business school: <https://www.ceupe.com/blog/el-tratamiento-termico-y-sus-procesos.html>

Farah , A., Abdul , S., Santhana , K., Haspina , S., y Mohd , N. (Agosto de 2022). Técnicas de producción de biocarbón a partir de materiales derivados de residuos de biomasa y aplicaciones ambientales: una revisión. *Revista de avances en materiales peligrosos*, 7, 2-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100134>

Ferrer, J., Marcheno, J., Blacio, S., y Vera, T. (Diciembre de 05 de 2020). *Polo del conocimiento*. (Casedelpo, Editor) Localización y producción potencial de una planta de pirólisis para la valorización de residuos agrícolas: https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2046/html?utm_source

Franco, C., y Stward, K. (2024). *Gestión Sostenible de Residuos Agrícolas*. Babahoyo: Universidad Técnica de Babahoyo. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/15995>

Gandi Salvador, S. R. (2023). *Análisis de la Producción de Biochar a partir de Residuos Ganaderos en Ecuador*. Informe de postgrado. [https://oa.upm.es/75222/1/TFM_GANDI_SALVADOR_SUASNAVAS_RUBI O.pdf](https://oa.upm.es/75222/1/TFM_GANDI_SALVADOR_SUASNAVAS_RUBI_O.pdf)

García Montero, R., Pizarro Medina, P., Rodríguez Rastro, M., y Sierra Herráiz, M. J. (2021). Biochar y sus aplicaciones potenciales en el suelo. *Técnica Industrial*, 32B, 44-53. <https://doi.org/https://doi.org/doi:10.23800/10503>

García, R., y Quevedo, J. (02 de Febrero de 2020). *Scielo*. Revista Universidad y Sociedad: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202020000100280&script=sci_arttext&tIng=pt

Gaviria, C., y Marqués, C. (2019). *Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Universidad de San Buenaventura.

- Guerrero Marin, M. A. (2023). *Evaluar las tendencias de disposición y aprovechamiento de residuos de la producción bananera en Ecuador*. Universidad Técnica Particular De Loja. <https://bibliotecautpl.utpl.edu.ec/cgi-bin/abnetclwo?METS=93596434848>
- Ibtisam, A. (19 de Octubre de 2023). *AZO MATERIALS*. AZO MATERIALS: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=23111>
- Kentucky Geological Survey KGS. (05 de enero de 2023). *Universidad de Kentucky UK*. Servicio Geológico de Kentucky KGS: <https://www.uky.edu/KGS/coal/coal-analyses-fixed-carbon.php>
- Lam, E. (2021). *Producción potencial de bio oil y biochar por pirólisis de residuos de Banano y Arroz*. Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16320>
- Leon K., y Reyes , J. (20022). *Respuesta del cultivo de banano a diferentes proporciones de microorganismos y biochar en dos texturas de suelo*. Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/21069>
- Lodhi, R. S., y Kumar, P. (2022). *Ciencia de los Materiales*. Woodhead Publishing, 75-105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821639-2.00019-7>
- Marshall, V. B. (16 de septiembre de 2024). *testagro*. testagro: https://www.testagro.com/post/como-medir-la-conductividad-electrica-en-el-suelo?lang=es&srsltid=AfmBOor_Mj7-6qYnf8xUh5OIUiiq5N-i6YJWssuA8k4Z8-Tx856WXLQM
- Medina Muñoz, K. D. (2019). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas enfocadas en el Control Biológico de la Sigatoka*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/8713f22d-5a8f-4562-b749-314153eb58a8/content>
- Moncada, F. (2023). Evaluación del proceso de obtención de biochar a partir de pellets de biomasa en un reactor vertical de pirólisis lenta. (M. A. Sánchez Posada, Ed.) *centro para el aprendizaje, la investigación y la innovación*, 25-27. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/78b5dbbd-2789-45b9-993d-0eba86f748a5>

- Moncada, F. (2023). Evaluación del proceso de obtención de biochar a partir de pellets de biomasa en un reactor vertical de pirólisis lenta. (M. A. Sanchez Posada, Ed.) *Centro de recursos para el aprendizaje, la investigación y la innovación*, 31. <https://repository.eia.edu.co/entities/publication/78b5dbbd-2789-45b9-993d-0eba86f748a5>
- Orozco Gutiérrez, G., y Cesar de Lira Fuentes, R. (25 de Mayo de 2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 7(1), 1-9. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/41/34>
- Ortega, L. F. (2024). *Establecimiento de buenas prácticas ambientales y manejo de residuos en la producción de café en fincas asociadas a la cooperativa de beneficiarios de la reforma agraria de municipios en los morales y cajibío departamento cauca*. Fundación Universitaria de Popayán. <https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/32388d11ab4230d39ef01f1c6a15c8c893673259.pdf>
- Paucar Vega, E. J. (Julio de 2024). *Obtención de biochar por pirólisis como una alternativa de aprovechamiento energético de la cascarilla de café*. Quito: Escuela politécnica nacional. <https://doi.org/http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26219>
- Peréz Cabrera, C. A., Juárez Lopez, P., Anzaldo Hernández, J., Alia Tejacal, I., Salcedo Pérez, E., y Balois Morales, R. (21 de Febrero de 2022). Beneficios potenciales del biocarbón en la productividad de cultivos agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(4), 713-725. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2542>
- Ramirez Zuñiga, A. J. (2020). *Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano (musa aaa cavendish) en Carepa – Antioquia*. Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/3608>
- Ranjediran, Ganensan, Weightgrebe, y ssnirivasan. (2023). *Optimization of pyrolysis process parameters for the production of biochar from banana peduncle fibrous waste and its characterization* (Vol. 25). Springer Nature. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-023-02592-2>

- Rationally regenerated soil RRS. (06 de julio de 2023). *Rationally regenerated soil*. La importancia de la textura en el suelo: <https://rrsoil.com/la-importancia-de-la-textura-en-el-suelo/>
- Reem, Amin, y Ahned. (2024). *Efficient water purification: CuO-enhanced biochar from banana peels for removing Congo red dye* (Vol. 31). (s. nature, Ed.) <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-024-34929-9>
- Repsol. (11 de septiembre de 2023). *Energía y futuro*. REPSOL: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/residuos-organicos/index.cshtml>
- Responsabilidad Social, Empresarial Y Sustentabilidad (RSS). (08 de enero de 2022). *Sustentabilidad: qué es, definición, concepto, principios y tipos*. (E. RSYS, Editor) Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad: <https://responsabilidadsocial.net/sustentabilidad-que-es-definicion-concepto-principios-y-tipos/>
- Reyes , J., Leon, P., y Barrezueta. (2023). *Respuesta del cultivo de banano a diferentes proporciones de microorganismos y biochar en dos texturas de suelo*. https://doi.org/http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2414-10462023000200109
- Riera, M., Mero, M., y Parraga, M. (06 de mayo de 2024). Residuos revalorizables: una oportunidad de desarrollo manabita. *ESPAMCIENCIA*, 15(1), 12-20. https://doi.org/https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.466
- Romero, E., Zuñiga, X., Romero, B., Tapia, D., y Carrasquero, E. (12 de Diciembre de 2024). La Eco Sustentabilidad: Una nueva forma Productiva con el aprovechamiento de las Fibras del Pseudotallo de Banano. *Estudios y Perspectivas*, 4(4), 2756–2774. <https://doi.org/https://doi.org/10.61384/r.c.a..v4i4.871>
- Rubio, E. J. (10 de Diciembre de 2024). Carbonilla como componente de sustratos para el crecimiento de Petunia (*Petunia hybrida*) y Calibrachoa (*Calibrachoa hybrida*) en macetas. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 40(3), 503- 514. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.29393/chjaas40-42ccem40042>

- Ruiz, F., y Mijangos Ricardéz, O. F. (noviembre de 2023). El carbón vegetal: procesos de producción, calidad y rendimiento. *Noticia Forestal*, 2-5. https://www.conafor.gob.mx/apoyos/docs/externos/2023/Noticiencia_Forestal_No_4_El_carbon_vegetal.pdf
- Saha, B. B., y Rupam, T. H. (08 de Marzo de 2023). Gran desafío especializado: almacenamiento y conversión de energía térmica. *Frontiers*, 1157794. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/ftther.2023.1157794>
- Suárez Matallana, G. A., Sánchez Atahualpa, S. R., Riquez, A. L., y Rodríguez Zúñiga, U. F. (01 de Agosto de 2022). Conceptos de biocatálisis de la lignocelulosa desde un enfoque de ingeniería de procesos y sistemas: una revisión. *Perfiles*, 01(28), 36-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.179>
- TOPDOCTORS. (12 de Septiembre de 2024). *Top Doctors*. Top Doctors: <https://www.topdoctors.es/diccionario-medico/elementos-traza/>
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (24 de Noviembre de 2024). *¿Qué es el pH?* U.S. Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/goldkingmine/what-ph>
- Universidad Europea. (08 de Octubre de 2024). *¿Qué son los residuos agrícolas y forestales y por qué es importante su gestión?* Universidad Europea: <https://universidadeuropea.com/blog/residuos-agricolas-forestales/>
- Vazhacharickal, P. J. (20 de Febrero de 2022). Subproductos y valor añadido del banano: una Descripción general. *Revista internacional de investigación actual y revisión académica*, 09(02), 72. https://www.researchgate.net/publication/353346727_By-Products_and_Value_Addition_of_Banana_An_Overview
- Velásquez, Y. (07 de mayo de 2021). *Hive blog*. Hive blog: <https://hive.blog/hive-196387/@yusvelasquez/densidad-aparente-y-densidad-real-de-un-solido>
- Vera, J. (30 de Junio de 2021). Valoración nutricional de los residuos orgánicos de banano en el cantón La Troncal, Ecuador. *Revista Universitaria del Caribe*, 26(01), 78- 86. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ruc.v26i01.11882>

YOIGO. (07 de marzo de 2024). *Conoce la definición de Producción limpia*. Yoigo:
<https://www.yoigoluzygaz.com/blog/glosario/definicion-produccion-limpia/>

ANEXOS

Anexo N° 1 Resultados del análisis del Biochar realizado en el INIAP

	ESTACIÓN EXPERIMENTAL LITORAL SUR LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS Km. 26 Vía Duram - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador Teléfono: 042724260 fax: 042724261 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec
---	---

INFORME DE ANÁLISIS DE ABONO ORGÁNICO

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre:	LUIS DANIEL LINDAO FIGUEROA	Factura N°:	11242
Remitente:	LUIS DANIEL LINDAO FIGUEROA	Fecha/Muestreo:	21/10/2025
Hacienda:	IVORNE ALVARADO	Fecha/Ingreso:	22/11/2026
Localización:	MARISCAL SUCRE/MILAGRO/GUAYAS	Fecha/Salida:	5/12/2026
E-mail:	luis.lindao.figueroa@vagararia.edu.ec	Ident. Muestra:	ABONO ORGÁNICO

N° LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN	PH	% H	% M.O	% N	µg/g								C.E. m.s	
						P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn		Na
3581 A	RAQUIS DE BANANO	9,6		10,1	0,6	4983	67343	20470	7652	14	1531	158	78		105,30

Determinación	Preparación de Muestras	Metodología	Técnica
NH ₄ (Nitrógeno)	Digestión Humeda con Ácido Sulfúrico y Catalizador	Najafal	Destilación y Valoración Volumétrica
P (Fósforo)	Digestión Humeda HNO ₃ - HClO ₄ , Relación 1:5	Colorimetría UV	Espectrofotometría UV/VIS
K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn	Abono Orgánico: Agua (1:1:1) Biol Directo	Espectroscopía Atómica	Espectrofotometría Absorción Atómica
pH		Potenciometría	Potenciometría
M.O (Materia Orgánica)	Oxidación con Dicromato de Potasio/Ácido Sulfúrico	Potenciometría	Potenciometría
C.L (Conductividad Eléctrica)	Abono Orgánico: Agua Extracto de Pasta Saturada	Wulkey Black	Volumétrica
	Biol Directo	Conductímetro	Conductímetro
		Electrónico	Conductímetro

NOTA: El Laboratorio no es responsable de la toma de las muestras.

< LC: Menor al Límite de Cuantificación

ND: No detectable


 Ing. Diana Arceño Jurimilo
 RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO

Elaborado por: INIAP, (2026).

APÉNDICES***Apéndice N° 1 Elaboración del biochar con raquis de banano***

Registro fotografico



Recolección de la materia prima de la Finca "Ivonne Alvarado"



Disposición de la materia prima dentro de la Universidad Agraria del Ecuador



Pesaje de la materia prima humeda



Proceso de secado de la materia prima



Recoleccion de la materia prima seca



Pesaje de la materia prima seca



encendido de la biomasa



Biochar producido



Generación de choque termico mezclando agua con biochar



Proceso de secado del agua en el biochar producido



Recoleccion del biochar producido



Pesaje del biochar producido



Almacenamiento del biochar

Apéndice N° 2 Evidencia de falta de aprovechamiento del raquis de banano

Registro fotográfico



Raquis de banano desechado en la orilla del carretero para su recolección por parte del camión municipal



Raquis de banano dispuesto en la orilla del Rio Milagro para su descomposición

Elaborado por: El Autor, (2026).


Apendice N° 3 Manual de buenas prácticas para el manejo de residuos



Contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OBJETIVO	5
3	ALCANCE.....	6
4	Marco normativo referencial	7
5	Clasificación de residuos agrícolas	7
5.1	Residuos orgánicos.....	8
5.2	Residuos inorgánicos.....	8
5.3	Residuos peligrosos.....	9
6	Manual para el manejo de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas	10
6.1	Reducción de residuos.....	10
6.2	Segregación en la fuente	10
6.3	Manejo de residuos orgánicos.....	11
6.4	Manejo de residuos inorgánicos.....	11
6.5	Manejo de residuos peligroso	11
7	Almacenamiento temporal de residuos.....	12
8	Salud y seguridad ocupacional.....	12
8.1	Importancia de la salud y seguridad ocupacional	12
8.2	Riesgos asociados al manejo de residuos agrícolas.....	12
8.3	Medidas de prevención y control.....	13
8.4	Equipos de protección personal (PPE).....	13
8.5	Capacitación en seguridad ocupacional	13
8.6	Responsabilidad y cumplimiento.....	13
9	Capacitación y sensibilización ambiental	14
9.1	Importancia de la capacitación ambiental	14
9.2	Sensibilización del personal.....	14
9.3	Maneras de realizar la capacitación y sensibilización	15


	3
9.4 Frecuencia y responsables.....	15
9.5 Beneficios de la capacitación ambiental	15
10 Monitoreo y seguimiento.....	15
10.1 Objetivo del monitoreo y seguimiento.....	16
10.2 Actividades de monitoreo	16
10.3 Registro y control	16
10.4 Acciones correctivas.....	16
10.5 Evaluación y mejora continua	17
11 Responsabilidades.....	17
12 Conclusiones.....	18

FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 4
		12/02/2026

1 INTRODUCCIÓN

La actividad bananera genera diversos residuos agrícolas que, si no son manejados adecuadamente, pueden provocar impactos negativos en el ambiente y en la salud de los trabajadores. Entre estos residuos se encuentran restos vegetales, materiales plásticos y envases de agroquímicos, los cuales requieren un manejo responsable.


El presente Manual de Buenas Prácticas Ambientales tiene como objetivo establecer lineamientos claros para el manejo sostenible de los residuos agrícolas en una finca bananera, contribuyendo a la reducción de la contaminación, al uso eficiente de los recursos y al fortalecimiento de una producción agrícola ambientalmente responsable.

FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 5
		12/02/2026

2 OBJETIVO

El propósito de este manual es brindar el conocimiento y las herramientas para el manejo sostenible de residuos agrícolas mediante buenas prácticas con el objetivo de mejorar las prácticas ambientales, reducir los impactos negativos al entorno y promover una gestión responsable de los recursos.




FINCA IVONNE ALVRADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 6
		12/02/2026

3 ALCANCE

Este manual ha sido desarrollado para que sirva de ayuda en la finca Ivonne Alvarado este abarca todas las actividades agrícolas que generan residuos, incluyendo labores de campo, mantenimiento del cultivo, cosecha, manejo postcosecha y almacenamiento de insumos. Su aplicación aplica a propietarios trabajadores permanentes y personal eventual que participe en las actividades productivas.

El manual se enfoca en establecer lineamientos, estrategias y recomendaciones para el manejo sostenible de los residuos agrícolas, priorizado la reducción de impactos ambientales, la protección del suelo y del agua, y el aprovechamiento responsable de los residuos orgánicos.


FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 7
		12/02/2026

4 Marco normativo referencial

El marco normativo referencial establece el conjunto de leyes, reglamentos y disposiciones legales que regulan la gestión ambiental y el manejo de residuos agrícolas en el Ecuador. Su inclusión permite asegurar que las prácticas propuestas en el manual se encuentren alineadas con la legislación ambiental vigente y con los principios de protección del ambiente y uso sostenible de los recursos naturales. Además, sirve como base legal para la correcta aplicación de las buenas prácticas ambientales dentro de una finca bananera, garantizando el cumplimiento de las obligaciones ambientales y la prevención de posibles sanciones.

5 Clasificación de residuos agrícolas

En este punto se describen los tipos de residuos que se generan en la actividad bananera y se los agrupa según sus características. La clasificación permite aplicar un manejo adecuado a cada residuo, facilitando su aprovechamiento, reciclaje o disposición final sin causar impactos ambientales.

FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 8
		12/02/2026


5.1 Residuos orgánicos

Son aquellos residuos de origen vegetal que se generan de forma natural durante el ciclo productivo del banano. Estos materiales son biodegradables y, si se manejan adecuadamente, pueden ser aprovechados mediante procesos como la elaboración de biochar, el compostaje le que ayuda a su reincorporación al suelo, contribuyendo a la mejora de la fertilidad y estructura del suelo.

- Raquis de banano
- Hojas y pseudotallos
- Restos de cosecha

5.2 Residuos inorgánicos


Corresponden a materiales no biodegradables generados durante las labores agrícolas, como fundas plásticas, cintas, cuerdas, sacos y empaques. Estos residuos no se descomponen fácilmente en el ambiente y, si no se manejan correctamente pueden causar contaminación visual, del suelo y cuerpos de agua. Su correcta segregación y almacenamiento permite su reutilización o reciclaje a través de gestores autorizados.

FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 9
		12/02/2026

5.3 Residuos peligrosos

Son aquellos residuos que contienen sustancias químicas o tóxicas y representan un riesgo para la salud humana y el ambiente. En la actividad bananera incluyen envases vacíos de agroquímicos, aceites, lubricantes y materiales contaminados. Estos residuos requieren un manejo especial, que contempla el triple lavado, almacenamiento seguro y entrega a gestores ambientales autorizados, con el fin de evitar la contaminación y exposición del personal.



FINCA IVONNE ALVARADO	Manual de manejo de residuos agrícolas	Revisión 1
	Área: Gestión ambiental	Página 10
		12/02/2026

6 Manual para el manejo de buenas prácticas para el manejo de residuos agrícolas

6.1 Reducción de residuos

- Optimizar el uso de insumos agrícolas.
- Priorizar productos reutilizables o biodegradables.
- Evitar el desperdicio de materiales.

Consiste en disminuir la cantidad de residuos generados mediante el uso eficiente de insumos agrícolas, evitando desperdicios y prácticas innecesarias que incrementan la contaminación ambiental

6.2 Segregación en la fuente

- Separar los residuos orgánicos, inorgánicos y peligrosos desde el lugar de generación.
- Utilizar recipientes identificados y rotulados

Es la separación de residuos en el lugar donde se generan, clasificándolos en orgánicos, inorgánicos y peligrosos, para facilitar su manejo, reciclaje o disposición final.

6.3 Manejo de residuos orgánicos

- Reutilizar el raquis y restos vegetales para la elaboración de compost, bocashi o biochar.
- Incorporar residuos vegetales al suelo como cobertura orgánica.
- Evitar la quema de residuos.

Se refiere al aprovechamiento adecuado de los residuos vegetales, evitando su acumulación o mala disposición, y promoviendo su uso como abono orgánico mediante el compostaje o como una enmienda orgánica para mejorar la calidad del suelo mediante la elaboración de biochar.

6.4 Manejo de residuos inorgánicos

- Almacenar los residuos plásticos en áreas designadas.
- Entregar los residuos reciclables a gestores autorizados.
- Reutilizar materiales cuando sea posible.

Implica la recolección y almacenamiento correcto de residuos no biodegradables, evitando su dispersión en el ambiente y promoviendo su reutilización o reciclaje.

6.5 Manejo de residuos peligrosos

- Realizar el triple lavado de envases de agroquímicos.
- Perforar los envases para evitar su reutilización.
- Almacenar los residuos peligrosos en lugares seguros y señalizados

- Entregar los residuos a gestores ambientales autorizados.

7 Almacenamiento temporal de residuos

- Designar áreas específicas para el almacenamiento temporal
- Mantener las áreas limpias, techadas y señalizadas.
- Evitar el contacto de residuos con el suelo y cuerpos de agua.

8 Salud y seguridad ocupacional

La seguridad y seguridad ocupacional es un aspecto fundamental dentro del manejo de residuos agrícolas, ya que busca prevenir accidentes laborales y proteger la integridad física de los trabajadores que participen en las actividades productivas de la bananera.

8.1 Importancia de la salud y seguridad ocupacional

La correcta gestión de la seguridad ocupacional reduce la probabilidad de accidentes, enfermedades laborales y exposición a sustancias peligrosas. Además, contribuye al bienestar del personal y mejora el desempeño laboral.

8.2 Riesgos asociados al manejo de residuos agrícolas

Durante el manejo de residuos agrícolas pueden presentarse riesgos como cortes, golpes, contacto con sustancias químicas, inhalación de vapores tóxicos y contaminación biológica.

8.3 Medidas de prevención y control

Para minimizar los riesgos, es indispensable aplicar medidas preventivas como el uso adecuado de equipos de protección personal, la correcta segregación de residuos y la señalización de las áreas de almacenamiento. Asimismo, se debe evitar la manipulación directa de residuos peligrosos sin la protección correspondiente.

8.4 Equipos de protección personal (EPP)

El uso de equipos de protección personal es obligatorio durante el manejo de residuos agrícolas. Entre los principales EPP se incluyen guantes, botas de seguridad, mascarillas, gafas de protección y ropa adecuada. Estos equipos reducen la exposición a contaminantes y previenen lesiones y accidentes.

8.5 Capacitación en seguridad ocupacional

El personal debe recibir capacitaciones periódicas sobre los riesgos asociados al manejo de residuos y uso correcto de los EPP. Esta capacitación permite reforzar conductas seguras, prevenir accidentes y promover una cultura de prevención dentro de la bananera.

8.6 Responsabilidad y cumplimiento

Es responsabilidad del administrador de la bananera garantizar la disponibilidad de los equipos de protección y el cumplimiento de las normas de seguridad. Por su parte, los trabajadores deben utilizar correctamente los EPP y cumplir

con las prácticas establecidas para el manejo seguro de los residuos.

9 Capacitación y sensibilización ambiental

Es un componente clave para asegurar la correcta aplicación de las buenas prácticas dentro de la finca bananera. Su finalidad es fortalecer los conocimientos, actitudes y responsabilidades del personal frente al manejo adecuado de residuos agrícolas, promoviendo una cultura de respeto y cuidado del ambiente.

9.1 Importancia de la capacitación ambiental

Permite que los trabajadores comprendan los impactos ambientales que pueden generarse por un manejo inadecuado de los residuos agrícolas. Además, facilita la correcta identificación, segregación y manejo de los residuos, reduciendo los riesgos para la salud humana y el ambiente, y mejorando la eficiencia operativa de la finca.

9.2 Sensibilización del personal

La sensibilización busca generar conciencia ambiental en los trabajadores, fomentando el compromiso individual y colectivo con las buenas prácticas. A través de este proceso, el personal reconoce la importancia de su rol en la protección del suelo, el agua y los recursos naturales presentes en la finca.

9.3 Maneras de realizar la capacitación y sensibilización

La capacitación puede realizarse mediante charlas ambientales periódicas, talleres prácticos, reuniones informativas y material visual como afiches o cartillas. Estas actividades deben adaptarse al nivel de conocimiento del personal y enfocarse en temas como la clasificación de residuos, el manejo de residuos peligrosos y el uso adecuado de equipos de protección personal.

9.4 Frecuencia y responsables

Se recomienda realizar capacitaciones de manera periódica, especialmente al inicio de cada ciclo productivo o cuando se incorporen nuevos trabajadores. El responsable ambiental o el administrador de la finca debe encargarse de planificar, ejecutar y registrar estas actividades.

▲ 9.5 Beneficios de la capacitación ambiental

Una adecuada capacitación mejora el cumplimiento del manual, reduce errores en el manejo de residuos, previene accidentes laborales y fortalece una cultura ambiental sostenible dentro de la finca bananera.

10 Monitoreo y seguimiento

El monitoreo y seguimiento constituyen el proceso mediante el cual se evalúa el cumplimiento y la efectividad de las buenas prácticas ambientales establecidas en el manual. Este proceso

permite verificar que las actividades de manejo de residuos agrícolas se realicen de forma adecuada y conforme a lo planificado.

10.1 Objetivo del monitoreo y seguimiento

El principal objetivo es identificar posibles fallas o incumplimientos en el manejo de residuos, así como oportunidades de mejora. El monitoreo asegura que las prácticas ambientales se mantengan en el tiempo y no se limiten solo a su implementación inicial.

10.2 Actividades de monitoreo

El monitoreo puede realizarse mediante inspecciones periódicas en campo, revisión de áreas de almacenamiento temporal, verificación de la correcta segregación de residuos y observación de las prácticas realizadas por los trabajadores durante sus labores diarias.

10.3 Registro y control

Es fundamental llevar registros simples que documenten la generación, almacenamiento y disposición de los residuos agrícolas. Estos registros permiten evaluar el desempeño ambiental de la finca y sirven como evidencia del cumplimiento de las buenas prácticas ambientales.

10.4 Acciones correctivas

Cuando se detecten incumplimientos o malas prácticas, se deben aplicar acciones correctivas de manera inmediata. Estas pueden incluir capacitaciones adicionales, mejoras en la

infraestructura de almacenamiento o ajustes en los procedimientos de manejo de residuos.

10.5 Evaluación y mejora continua

El monitoreo y seguimiento deben enfocarse en la mejora continua del sistema de manejo de residuos agrícolas. A partir de los resultados obtenidos, se pueden actualizar las prácticas, fortalecer la capacitación del personal y optimizar la gestión ambiental dentro de la finca.

11 Responsabilidades

La correcta aplicación del presente Manual de Buenas Prácticas Ambientales depende de la asignación clara de responsabilidades a cada uno de los actores involucrados en las actividades de la finca bananera Ivonne Alvarado. Definir responsabilidades permite asegurar el cumplimiento de las prácticas establecidas, evitar omisiones en la gestión de residuos y fortalecer el compromiso ambiental del personal.

El administrador de la finca es responsable de garantizar la implementación del manual, proporcionar los recursos necesarios, supervisar el cumplimiento de las buenas prácticas y coordinar las actividades relacionadas con el manejo de residuos agrícolas. Asimismo, debe asegurar que el personal reciba capacitación periódica y que se cumpla la normativa ambiental vigente.

El responsable ambiental, en caso de existir, debe encargarse del seguimiento técnico del manejo de residuos, la elaboración de registros, la supervisión de las áreas de almacenamiento y la coordinación con gestores ambientales autorizados. Además, debe proponer mejoras continuas en la gestión ambiental de la finca.

Los trabajadores tienen la responsabilidad de cumplir con las prácticas establecidas en el manual, realizar la correcta segregación de residuos, utilizar adecuadamente los equipos de protección personal y participar activamente en las capacitaciones ambientales. Su compromiso es fundamental para garantizar un manejo sostenible de los residuos agrícolas.

12 Conclusiones

El presente Manual de Buenas Prácticas Ambientales constituye una herramienta fundamental para mejorar la gestión de los residuos agrícolas generados en la finca bananera Ivonne Alvarado. Su aplicación permite reducir los impactos negativos sobre el suelo, el agua y el aire, promoviendo prácticas agrícolas más responsables y sostenibles.

La implementación de las buenas prácticas propuestas contribuye al aprovechamiento adecuado de los residuos orgánicos, a la correcta disposición de residuos inorgánicos y peligrosos, y a la prevención de riesgos ambientales y laborales. Además, fortalece la cultura ambiental del personal

y mejora la eficiencia en las actividades productivas de la finca.

En conclusión, el manual no solo apoya el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que también promueve una producción bananera sostenible, alineada con los principios de protección ambiental y uso racional de los recursos naturales, aportando al desarrollo sostenible del sector agrícola.