



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**INFORME DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

**Obtención de biochar a partir de residuos agroindustriales (estiércol vacuno y
cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación en cultivo de arroz
(*Pyricularia oryzae Cav.*) combinado con suelo agrícola degradado.**

Autor:

María Fernanda González Quiñonez

Director:

Ing. Barzallo Granizo Diego Geovanny, Msc.

MILAGRO, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **María Fernanda González Quiñonez** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación Agroecología de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 17 de febrero 2024



González Quiñonez María Fernanda

C.I.: 0930314323

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **Barzallo Granizo Diego Geovanny** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **María Fernanda González Quiñonez**, cuyo tema es **Obtención del biocarbón a partir de residuos agroindustriales (estiércol vacuno y cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación como fertilizante orgánico para cultivo de arroz (*Pyricularia oryzae Cav.*) combinado con suelo agrícola**, que aporta a la Línea de Investigación **Agroecología**, previo a la obtención del Grado Magister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 17 de febrero 2024



Barzallo Granizo Diego Geovanny

C.I.: 0603923095

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. GONZÁLEZ QUIÑÓNEZ MARÍA FERNANDA**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "OBTENCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES (ESTIÉRCOL VACUNO Y CASCARILLA DE ARROZ) MEDIANTE PIRÓLISIS TÉRMICA Y SU APLICACIÓN EN CULTIVO DE ARROZ (PYRICULARIA ORYZAE CAV.) COMBINADO CON SUELO AGRÍCOLA DEGRADADO", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	60.00
SUSTENTACIÓN	33.00
PROMEDIO	93.00
EQUIVALENTE	Muy Bueno



JUAN DIEGO
VALENZUELA COBOS

Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



MARÍA FERNANDA
GARCES MONCAYO

Msc GARCES MONCAYO MARÍA FERNANDA
VOCAL



CESAR STALIN GAVÍN
MOYANO

Mgs GAVIN MOYANO CESAR STALIN
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTOS

A Dios, mi familia y al apoyo brindado por mi esposo, que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Con su cariño me ha impulsado a perseguir mis metas y nunca abandonarlas.

Le agradezco muy profundamente a mi Director de Titulación, el Ing. Diego Barzallo Msc., por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Son muchos los docentes que han sido parte de este nuevo proceso universitario, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios en esta nueva etapa. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento.

Resumen

Una gestión ineficaz de los desechos agropecuarios ocasiona un impacto negativo en el medio ambiente, por lo cual el reciclaje térmico es una alternativa prometedora para la obtención de biochar. En este contexto, la presente investigación se enfocó en obtener biochar a partir de residuos agroindustriales (estiércol vacuno y cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación en cultivo de arroz (*Pyricularia oryzae* Cav.) combinado con suelo agrícola degradado. Primero, el biochar obtenido fue caracterizado mediante análisis fisicoquímicos para conocer los nutrientes presentes y los grupos funcionales de cada biomasa mediante FTIR. Posteriormente, el diseño experimental estuvo formado por 5 tratamientos mediante la aplicación de biochar a dos diferentes concentraciones (2% y 3%) con dos biomásas distintas y una muestra testigo (control) únicamente con suelo degradado, el cual además fue caracterizado para conocer su calidad. Las variables que han sido evaluadas en los cultivos de arroz tras la aplicación de biochar, incluye la altura de la planta, longitud de la raíz y carga microbiológica del suelo. Los resultados obtenidos demuestran que el biochar obtenido tiene un impacto positivo como fuente de carbono y nutrientes que pueden ser aprovechados para mejorar la calidad de los cultivos agrícolas y así cambiar la tendencia actual de una economía lineal a una economía circular en el aprovechamiento de los residuos procedentes de los procesos agrícolas.

Palabras claves: Biomasa, Biochar, Caracterización, Arroz, Agricultura.

Abstract

Inefficient management of agricultural waste has a negative impact on the environment; therefore, thermal recycling is a promising alternative for obtaining biochar. In this context, the present research focused on producing biochar from agroindustrial residues (cattle manure and rice husks) through thermal pyrolysis and its application in rice cultivation (*Pyricularia oryzae* Cav.) combined with degraded agricultural soil. First, the obtained biochar was characterized through physicochemical analysis to determine the nutrients present, as well as the functional groups of each biomass through FTIR. Subsequently, the experimental design consisted of 5 treatments by applying biochar at two different concentrations (2% and 3%) with two different biomasses and a control sample (without biochar) using only degraded soil, which was also characterized to determine its quality. The variables evaluated in the rice crops after biochar application include plant height, root length, and soil microbiological load. The results demonstrate that the obtained biochar has a positive impact as a source of carbon and nutrients that can be utilized to enhance the quality of agricultural crops and thus shift from the current linear economy to a circular economy in the utilization of waste from agricultural processes.

Keywords: Biomass, Biochar, Characterization, Rice, Agriculture.

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de pirólisis.....	14
Figura 2. Presentación del proceso de carbonización hidrotermal.....	16
Figura 3. Proceso de gasificación.....	16
Figura 4. Pasos involucrados en el proceso de torrefacción.....	17
Figura 5. Características del Biocarbón.....	20
Figura 6. Delimitación de la población.....	32
Figura 7. Diagrama del equipo de pirólisis.....	35
Figura 8. Toma de submuestra en forma de zigzag.....	36
Figura 9. Distribución de los contenedores por tratamiento.....	37
Figura 10. Distribución de muestras por contenedor.....	37
Figura 11. Diagrama de prueba en campo.....	39
Figura 12. Altura promedio por cada tratamiento a los 21 días de tratamiento.....	45
Figura 13. Espectro de Biochar Cascarilla de arroz y estiércol vacuno.....	46
Figura 14. Concentración microbiológica por tratamiento.....	49

Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables	8
Tabla 2. Técnicas de conversión termoquímica y sus condiciones de proceso.....	13
Tabla 3. Proceso de Carbonización hidrotermal por etapas.	15
Tabla 4. Proceso de Torrefacción.....	18
Tabla 5. Ventajas y limitaciones de las diferentes aplicaciones del biocarbón	25
Tabla 6. Periodos para las variables establecidas.....	38
Tabla 7. Humedad de la biomasa.....	40
Tabla 8. Rendimiento del biocarbono por tipo de biomasa.....	40
Tabla 9. Análisis de pH en muestras de biochar y suelo con distintos tratamientos.....	41
Tabla 10. Muestra de Biochar a base de Cascarilla de arroz.	43
Tabla 11. Muestra de Biochar a base de Estiércol Vacuno	43
Tabla 12. Análisis estadístico del crecimiento del arroz por tratamiento	45
Tabla 13. Análisis estadístico de carga microbiológica por tratamiento a los 21 días....	48

Lista de Abreviaturas

CRA: Capacidad de Retención de Agua

EC: Economía Circular

BE: Biochar a base de estiércol de vaca

BA: Biochar a base de cascarilla de arroz

M.O.: Materia Orgánica

C-org.: Carbono Orgánico

BE: Biochar Estiércol Vacuno

BA: Biochar Cascarilla de arroz

pH: Potencial de hidrógeno

B: Boro

Cu: Cobre

Fe: hierro

K: potasio

N: Nitrógeno

Ca: Calcio

Mn: Manganeseo

Zn: Zinc

Na: Sodio

P: Potasio

S: Azufre

Índice

Derechos de autor	II
Aprobación del director del Trabajo de Titulación	III
AGRADECIMIENTOS	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Lista de Figuras	VIII
Lista de Tablas	IX
Lista de Abreviaturas	X
Índice	xi
Introducción	1
Capítulo I: El problema de la investigación	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Delimitación del problema	5
1.3 Formulación del problema	5
1.4 Preguntas de investigación	6
1.5 Determinación del tema	6
1.6 Objetivo general	6
1.7 Objetivos específicos	6
1.8 Hipótesis	7
1.9 Declaración de las variables	7
1.10 Justificación	9
1.11 Alcance y limitaciones	10
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	12
2.2.1 Métodos de producción del biocarbón	12
2.2.1.1 Pirólisis	13
2.2.1.2 carbonización hidrotermal	15
2.2.1.3 Licuefacción térmica	16
2.2.1.4 Gasificación	16
2.2.1.5 Torrefacción y carbonización instantánea	17
2.2.2 Factores que afectan las propiedades del biocarbón.	18
2.2.2.1 Materias primas	18
2.2.2.2 Temperatura de carbonización	19
2.2.2.3 Tiempo de residencia	19
2.2.2.4 Pretratamiento de la biomasa	19
2.2.3 Caracterización del biocarbón	20
2.2.3.1 Grupos funcionales	21
2.2.3.2 Área de superficie y porosidad	21

2.2.3.3	Microscopía electrónica de barrido (SEM)	21
2.2.3.4	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)	22
2.2.3.5	Difracción de rayos X (DRX)	22
2.2.3.6	Análisis Brunauer-Emmett-Teller	22
2.2.3.7	Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN)	23
2.2.3.8	Espectroscopía Raman	23
2.2.4	Estabilidad del biocarbón	23
2.2.5	Aplicaciones del biocarbón	24
2.2.6	Enmienda del suelo	26
2.2.6.1	Degradación química	27
2.2.6.2	Degradación biológica del suelo	27
2.2.7	Remediación de suelos degradados	27
2.2.8	Biocarbón como opción de mejora en la economía circular	28
2.2.9	Efecto del biocarbón sobre las propiedades físicas del suelo	29
CAPÍTULO III: Diseño metodológico		31
3.1.	Tipo y diseño de investigación	31
3.1.1.	Nivel de investigación	31
3.1.2.	Tipo de investigación	31
3.2.	La población y la muestra	32
3.2.1.	Delimitación de la población	32
3.2.2.	Tipo de muestra	32
3.2.3.	Tamaño de la muestra	33
3.2.4.	Proceso de selección de la muestra	33
3.3.	Los métodos y las técnicas	33
3.3.1	Selección de la materia prima	33
3.3.2	Determinación de humedad en biomasa	33
3.3.3	Tratamiento de la materia prima	34
3.3.4	Elaborar biochar	34
3.3.5	Caracterización del biochar	35
3.3.6	Análisis químico del biochar	35
3.3.7	Rendimientos de biochar	36
3.3.8	Muestreo de suelo desgastado	36
3.3.9	Distribución de muestras	36
3.3.10	Determinación de la cantidad de biochar por prueba	37
3.3.11	Evaluación de la absorción de los componentes del biochar	38
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados		40
4.1	Humedad de la biomasa	40
4.2	Rendimiento del biocarbón	40
4.3	Análisis fisicoquímicos	41
4.4	Caracterización del biochar	46
4.5	Análisis microbiológico	47
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones		50
5.1	Conclusiones	50
5.2	Recomendaciones	51
Bibliografía		52
Anexo I		58
Anexo II		73

Introducción

El rápido desarrollo de la agricultura ha provocado un aumento significativo de los desechos agrícolas y forestales, según publicaciones científicas la cantidad de desechos agrícolas generadas en todo el mundo en el 2019 fue de aproximadamente 20.3 mil millones de toneladas, de las cuales 16 mil millones de toneladas provienen del ganado y estiércol de aves de corral y 4.3 millones de toneladas de paja.(S. Yu et al., 2024). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos – PNGIDS ECUADOR en su proyecto de periodo 2010-2017, declara que hasta el año 2010 la generación de residuos en el país era de 4.06 millones de toneladas métricas al año y una generación per cápita de 0.74 kg, se estimó que para el año 2017 el país generaría 5.4 millones de toneladas métricas anuales; en el Boletín N° 117 emitido el 30 de julio de 2020, esta misma organización informa que la cantidad de desechos producidos por el país diariamente se establece en 14 mil toneladas, de los cuales el 56.2% corresponde a residuos orgánicos y el 43.8% a inorgánicos. Tanto en la industria agrícola como ganadera del país se generan grandes cantidades de residuos, en su mayoría de naturaleza orgánica. La ineficiencia en la gestión de estos puede ocasionar consecuencias ambientales graves, desde contaminación de aguas y suelos, incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero hasta impacto paisajístico. Toda acción que permita incorporar estos residuos en la economía circular será una contribución para reducir sus impactos ambientales.

Entre las técnicas de valorización energética de los residuos, destaca una alternativa que puede combinar la obtención de rendimiento energético, en un entorno de bajas emisiones de gases. El uso del biochar para mejorar el suelo, usado en cultivos, se viene estudiando con gran interés como enmienda orgánica (García Montero et al., 2021)

Diversos autores han atribuido varios beneficios ambientales al carbono, resultante de su aplicación en el suelo, como secuestrador de carbono, reductor de estrés hídrico, reducción de las emisiones de gas de efecto invernadero, reducción de la cantidad necesaria de fertilizante orgánico (Escobar Palacio et al., 2015).

El biochar también conocido como biocarbón se obtiene como producto de carbonización, como resultado de la pirólisis de biomasa y residuos biodegradables,

caracterizado por un contenido alto en carbono orgánico y una baja susceptibilidad a la degradación. Gracias a su densidad aparente, estabilidad alta y la gran capacidad de adsorción, el biocarbón es aplicable en áreas como la agrícola, ambiental, y actividades de biorrefinería; desempeñando un papel importante en la mejora de la fertilidad del suelo, el aumento del carbono en el suelo y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. La obtención y uso del biocarbón es uno de los métodos efectivos de reciclaje de residuos; en la actualidad se han realizado esfuerzos para modificar el biocarbón con el fin de mejorar sus propiedades aplicables en procesos ambientales, particularmente como fuente de carbono y nutrientes en suelos agrícolas. El biochar puede producir una serie de impactos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, gracias a su estructura porosa que depende de la materia prima y las condiciones de pirólisis, la adición de biochar puede reducir la densidad aparente y aumentará la porosidad del suelo, así como las propiedades de agregación del suelo y su CRA (Capacidad de retención de agua). Algunos estudios han revelado que la alteración de la CRA en el suelo, como resultado de la adición de biochar está directamente relacionada con el tamaño y la concentración a usar, sugirieron que después de 3 semanas de incubación de un suelo arenoso con el biochar preparado a partir de lodo biológico, la CRA puede aumentar al usar un 10% del biochar en el suelo. Otras evidencias sugieren que la adición de biochar puede influir en la hidrofobicidad de los suelos. Dependiendo de la presencia de diferentes grupos funcionales superficiales, el biochar puede ser hidrófobo o hidrófilo. La adsorción o degradación de compuestos orgánicos hidrofóbicos como el ácido octadecanoico y el octadecano por biochar también puede causar hidrofobicidad del suelo y reducir la repelencia al agua, aumentando el contenido de esta, así como la aireación. Dada la naturaleza alcalina del biochar, la adición de este puede aumentar el pH del suelo. Esta alteración es especialmente importante para mejorar el pH de suelos ácidos como los suelos mineros con baja fertilidad. La aplicación de biochar mejora la densidad aparente del suelo alrededor del 7.5 % y la estabilidad de los agregados alrededor del 8%, RCA alrededor del 15 % y conductividad del suelo alrededor del 25 %. Además, el tamaño de la partícula de biochar puede determinar el grado de adición de carbono(Kamali et al., 2022).

En Ecuador, la pérdida de los suelos se puede dar por diversas causas entre ellas la tala indiscriminada, la erosión, la actividad ganadera y la agricultura intensiva. Dichas actividades varían según condiciones geográficas del territorio. En la costa la

agricultura intensiva producto de los monocultivos disminuye la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo, teniendo que usar fertilizantes que aporten al déficit nutricional del suelo. En varias zonas las actividades de agricultura y ganadería se desarrollan a la par y es normal ver sembríos de monocultivos junto a granjas ganaderas o porcinas. En los últimos años el uso de enmiendas y abonos orgánicos en procesos de recuperación de suelo agrícola ha permitido generar una economía circular alrededor de procesos agrícolas y ganaderos, ya que sus desechos pueden ser fuentes de materias primas para elaboración de enmiendas y abonos orgánicos, como es el caso del biocarbón elaborado a partir de biomásas en forma de residuos agrícolas y la materia orgánica generada por los animales de granjas.

La siguiente investigación se enfoca en la obtención del biocarbón a partir de residuos agropecuarios (estiércol vacuno y cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación como fertilizante orgánico para cultivo de arroz (*Pyricularia oryzae Cav.*) combinado con suelo agrícola degradado.

En el Capítulo I. Se abarca el planteamiento y formulación del problema basado en bibliografía de consulta, hipótesis, objetivos de la investigación, justificación, fundamentación de la importancia del estudio realizado y el alcance esperado.

En el Capítulo II. Se detalla los antecedentes del tema planteado, obtenido a partir de datos bibliográficos, el fundamento y generalidades de la tecnología ambiental y los procesos a usar, así como los fundamentos de técnicas instrumentales, hipótesis y el sistema de variables.

En el Capítulo III. Se detalla el diseño de la investigación, métodos, materiales, diseño experimental, variables establecidas para monitoreo y el procesamiento de datos.

En el Capítulo IV. Se expone los resultados obtenidos en el monitoreo de las variables (etapa de experimentación), y expone la discusión con base bibliográfica.

En el Capítulo V. Se explica de manera resumida los resultados obtenidos en concordancia con los objetivos planteados, el análisis y las conclusiones, además se detallan recomendaciones para futuras investigaciones que puedan darse a partir de esta.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

El siguiente trabajo de investigación aborda un problema de contaminación ambiental y evalúa el uso del biocarbón como solución innovadora y sostenible para la recuperación de suelos agrícolas degradados.

En su composición, el suelo, presenta diversos elementos químicos en diferentes proporciones (Yang et al., 2021), estos elementos al encontrarse en concentraciones muy bajas pueden alterar la fertilidad del suelo, afectando directamente la productividad agrícola por la implicación de costos adicionales en fertilización del suelo, por ello se ha prestado cada vez más atención a la aplicación y desarrollo de medidas sostenibles que permitan establecer una economía circular alrededor de las actividades agrícolas.

Al mezclar el biochar con el suelo, mejora la calidad de este, mejorando la densidad aparente, la porosidad del suelo, así como las propiedades de agregación del suelo y su CRA (Kamali et al., 2022a), permitiendo la producción de un amplio rango de especies agronómicas. Estos efectos tienen impacto en el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a la profundidad de penetración de las raíces, la CRA y aire a dicha profundidad. (Osco & Blanco, 2021)

En la actualidad la producción agrícola de monocultivo, las formas convencionales de tratamiento para el suelo, genera el agotamiento del carbono orgánico y el deterioro de la calidad nutritiva del suelo. Esto se da por las malas prácticas y el uso indiscriminado de diversos agroquímicos y pesticidas, con fin de obtener un incremento de la producción. (Roy et al., 2021)

La contaminación por gases de invernadero y el desgaste del suelo por su uso en siembra de monocultivos es un problema que afecta al ecosistema y en un posible futuro a la disponibilidad de los alimentos. La necesidad de encontrar métodos de remediación efectivos y económicamente viables ha llevado a investigar la producción de biochar a partir de materia orgánica de heces vacunas y desechos de las cosechas de arroz (cascarilla) como posible solución no solo a la contaminación ambiental sino también a la regulación de los niveles nutricionales del suelo.

Para los generadores de residuos orgánicos, como las granjas de cerdos y bovinos y los residuos provenientes de las cosechas de arroz, la elaboración de biochar a partir de estos residuos, se presenta como una oportunidad de valorizar y comercializar sus residuos como enmiendas orgánicas y generando plazas de trabajo. Por lo antes expuesto esta investigación pretende aportar información que aporte al reconocimiento del biochar como una solución sostenible, ya que la producción de biochar a partir de residuos orgánicos de animales y desechos de procesos agrícolas ofrece una alternativa sostenible para disminuir la generación de gases de efecto invernadero, evitando la generación de residuos y aprovechando material que de otro modo se descartaría.

Las aplicaciones que se dan al biochar pueden contribuir al conocimiento científico en áreas de química ambiental, ciencia de materiales y tecnologías agrícolas, generando datos y resultados que pueden ser utilizados por la comunidad científica. Los resultados y hallazgos podrían ser valiosos para investigadores y científicos que trabajan en el campo de la química ambiental, la ingeniería de materiales, la gestión de recursos naturales y la economía circular.

La utilidad práctica de esta investigación es analizar un método de producción de biochar a partir de heces de animales y desechos agrícolas; y evaluar los beneficios de usar el biocarbón como un tipo de abono orgánico. Si se logra, se proporcionaría datos científicos que podrían aportar a futuras investigaciones enfocadas en el desarrollo de la agroecología a mayor escala. Además, se contribuiría a la valorización de residuos orgánicos y a la búsqueda de soluciones más sostenibles para los desafíos ambientales contemporáneos.(Kamali et al., 2022b)

1.2 Delimitación del problema

Esta investigación delimita las evaluaciones de eficiencia del uso de biochar obtenido a partir de la cascarilla de arroz y del estiércol de vaca, a la forma estructural a nivel molecular del biochar obtenido y los tipos de nutrientes que posee cada biomasa.

1.3 Formulación del problema

Problema General

¿Cuál es la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados del sector 3

Cerritos, del cantón Naranjal en la provincia del Guayas?

Problema Especifico

¿Influye el tipo de biomasa usada en los parámetros químicos caracterizados del biochar (pH, materia orgánica, N, P, K, Ca, Mg y Zn) para su posterior uso en los suelos agrícolas degradados del sector 3 Cerritos, del cantón Naranjal en la provincia del Guayas?

1.4 Preguntas de investigación

¿Cuál es la concentración más adecuada del biochar por área de sembrado? ¿Qué tipo de biomasa genera el biochar con una calidad nutricional de mayor aprovechamiento para el suelo? ¿Se puede dar un mejoramiento en la calidad del suelo desgastado con el uso de biochar?

1.5 Determinación del tema

La importancia del tema investigado se basa en demostrar por un modelo de experimentación los beneficios de usar el biocarbón en suelos agrícolas desgastados. Además, como la producción del biocarbón a partir de desechos ganaderos y agrícolas pueden contribuir a la disminución de contaminación ambiental y a la mejorar significativa de la sostenibilidad agrícola al permitir una distribución gradual y eficiente de nutrientes a las plantas.

1.6 Objetivo general

Obtener biochar a partir de residuos agroindustriales (estiércol vacuno y cascarilla de arroz) mediante pirólisis térmica y su aplicación en cultivo de arroz (*Pyricularia oryzae* Cav.) combinado con suelo agrícola degradados.

1.7 Objetivos específicos

- Optimizar las condiciones de pirólisis térmica para la producción de biochar y su posterior aplicación en cultivos de arroz.
- Analizar la composición física-química del biochar obtenido y el suelo desgastado usado.

- Evaluar la eficacia del biofertilizante y su potencialidad en cultivos de arroz frente a un tratamiento testigo.

1.8 Hipótesis

Hipótesis general

H1: La influencia del biochar es significativa en los suelos agrícolas degradados del sector 3 Cerritos, del cantón Naranjal en la provincia del Guayas, es significativa.

Hipótesis nula

H0: No existe influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados del sector 3 Cerritos, del cantón Naranjal en la provincia del Guayas.

1.9 Declaración de las variables

Variables Independientes:

Biochar:

- Dosis 2% y 3%
- Parámetros fisicoquímicos: pH, porcentaje de Humedad, Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Potasio (K), Materia orgánica (M.O.), Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Sodio (Na), Fósforo (P), Azufre (S), Carbono orgánico.

Variables dependientes:

Planta:

- Altura de la planta
- Longitud de raíz

Suelo:

- Carga microbológica

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variab les	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador	Escala de medición
INDEPENDIENTE Eficiencia de biochar como enmienda	Características químicas del biochar, que permiten establecer los aportes nutricionales como enmienda.	Dosificación del biochar en suelo, además comprende el análisis para determinar las característica fisicoquímicas.	Cantidad de biochar por tratamiento	%
			pH	%
			porcentaje de Humedad	%
			Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn)	mg/Kg
			Potasio (K), Nitrógeno (N), Calcio (Ca), Manganeso (Mn), Sodio (Na), Fósforo (P), Azufre (S), Carbono orgánico	%p/p
			Materia orgánica (M.O.)	%
DEPENDIENTE Características del desarrollo del cultivo sembrado y la carga microbiológica	Evidencia del crecimiento Del cultivo (<i>Pyricularia oryzae Cav.</i>) con aplicación de biochar. Permite evaluar la incidencia del biochar en el crecimiento de la planta a partir del aporte nutricional al suelo agrícola.	La capacidad de crecimiento de la planta y de la carga micro en suelo	Altura de la planta	cm
			Longitud de raíz	cm
			Carga microbiológica	UFC/g

Fuente: Autor

1.10 Justificación

La degradación del suelo debido a la actividad agrícola en la siembra de monocultivos es un problema que puede generar efectos drásticos y severos. Nuevas tecnologías para la remediación y recuperación se están desarrollando alrededor de este problema.

Los efectos producidos por el biochar al ser aplicado en suelos agrícolas degradados servirán como apoyo para la creación de nuevos modelos teóricos y prácticos, enfocados en la restauración de la calidad del suelo.

La degradación del suelo es uno de los principales problemas agrícolas, con consecuencias significativas para la productividad, la seguridad alimentaria, la biodiversidad y el cambio climático.

El biochar producido a partir de biomasa de fuentes agropecuarias por el proceso de pirólisis, se propone como estrategia para mitigar la degradación del suelo y mejorar su calidad nutricional. Sin embargo, existen muchas interrogantes sobre la efectividad del biochar en la restauración de suelos degradados y su potencial para mitigar la degradación del suelo local. La relevancia de la presente investigación se enfoca en la contribución al conocimiento científico sobre la influencia del biochar en la restauración de suelos degradados, proporcionando información valiosa en la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

Mediante el uso del biocarbón (enmienda orgánica) como alternativa accesible para los agricultores, para el mejoramiento del suelo agrícola, al emplearlo de manera sencilla sin generar costos en su capital agrícola. El uso de biochar mejora la calidad del suelo agrícola, mejorando la densidad aparente, la porosidad del suelo, así como las propiedades de agregación del suelo y su CRA, permitiendo la producción de un amplio rango de especies agronómicas. Estos efectos tienen impacto en el crecimiento y desarrollo de las plantas debido a la profundidad de penetración de las raíces, la CRA y aire a dicha profundidad.

En el presente trabajo de investigación se emplea un aspecto metodológico con un enfoque cuantitativo, definiendo variables independientes como el porcentaje de

biochar o su composición química y variables dependientes como los parámetros físicos de la planta, en la que se pudo valorar el efecto del biochar en los suelos agrícolas degradados, mediante monitoreo del crecimiento de la planta y técnicas instrumentales de medición de las propiedades químicas en el caso del biochar.

El diseño aplicado a este trabajo de investigación es experimental, el cual implica la asignación aleatoria de las concentraciones del biochar a un subconjunto de grupos (sembríos de arroz). Las técnicas usadas fueron la observación y el análisis de resultados que permitieron el tratamiento estadístico de las variables, la población lo conformaron los suelos desgastados de un área en la que se cultivaba arroz en el sector 3 cerritos del cantón Naranjal.

1.11 Alcance y limitaciones

En la presente investigación se muestra información a nivel local, ya que en el sector 3 cerritos del cantón Naranjal no se ha aplicado el biochar en suelos agrícolas degradados. Parte de la información presentada será proveniente de la información obtenida en las diversas muestras que se realizaron en el experimento. El tamaño de la población muestral es una limitante ya que el área superficial de aplicación para cada concentración es de 0.221 m².

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

El actual aumento de la población mundial conduce a la necesidad de incrementar la cantidad de alimentos producidos; por tal razón, la agroecología trasciende con alternativas que permitan mejorar la eficiencia en los procesos de los cultivos y al mismo tiempo mitigando los efectos adversos de los fertilizantes químicos y disminuyendo su uso. Este tipo de diseño de agricultura promueve el empleo de una variedad de sustratos en los cultivos, entre los que se encuentran bioabonos basados en biochar, humus de lombriz, gallinaza, compost y guano (Reyes et al., 2023).

Según Martínez et al. (2017), los efectos de la influencia del uso de biochar sobre las diversas características nutricionales del suelo y sus efectos en el crecimiento de la producción vegetal se relacionan con las características de cada biochar, los cuales varían según la biomasa utilizada. La mayoría de biocarbonos presentan un pH alcalino, alto contenido de carbono y bajo contenido de nutrientes. Muestra que, en común, los cultivos en los que se usa biocarbón, la compactación del suelo y la adición de biochar redujo la densidad aparente y aumentó la capacidad de retención hídrica. También expresa que la adición del biochar, tiene un gran efecto sobre la influencia de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, originando un aumento en la disponibilidad de calcio, potasio, fósforo, magnesio y reduciendo la del nitrógeno. El autor concluye que el biochar es un material rico en carbono y presenta un gran potencial para ser utilizado como remediación y mejorador de la fertilidad del suelo, por último, el autor recomienda que el biochar pudiera mejorar los procesos de remediación y revegetación de los suelos empobrecidos por nutrientes.

Nikolay et al., (2006), al valorar la calidad del suelo posterior a la aplicación de biochar obtenido a partir de *Pinus Patula* y comparar con 2 tratamientos de Bioabonos, obtuvo como resultados, para el biochar altas concentración de N, P, K con respecto a los otros tratamientos obteniendo de estos análisis un abono rico en nutrientes y con un pH óptimo para equilibrar los suelos ácidos, concluyendo que el biochar fue el mejor tratamiento en comparación con los demás tratamientos, esto debido a la mejora en el pH y los nutrientes como son el N y P.

Un enfoque similar expresa Orozco Gutiérrez & Cesar de Lira Fuentes, (2020). Donde se

muestra una discusión sobre la afectación por el tipo de insumo usado en el suelo agrícola. Al final la aplicación de biochar resulta de gran ayuda para tener una agricultura más sostenible y reducir el desperdicio de restos de cosecha; y al mismo tiempo ayudar a nuestro medio para reducir lo que implica el cambio climático y la contaminación de metales pesados por parte de la actividad indiscriminada de la minería, dando una opción más para poder investigar.

Lozano et al. (2021), usaron una metodología, que consta de un diseño de bloques con tres tratamientos de diferentes proporciones de 5, 10, 15 % de biochar, generaron datos significativos de mejora en las características del contenido de P, K, mientras los resultados para el pH, nitrógeno disponible en el suelo y demás propiedades no fueron significativos. Concluye que el tratamiento causó efectos estadísticos positivos en los parámetros de P y K, en cambio no ocurrió lo mismo para el pH, CIC y N.

El uso del biochar podría presentar efectos favorables en el suelo al ser usado como abono y se muestra como alternativa económica y ecológica para el aprovechamiento de residuos de procesos agrícolas y ganaderos.

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 Métodos de producción del biocarbón.

El actual interés en la utilización del biocarbón para diversas aplicaciones ha llevado a usar diversos tipos de biomasa en biocarbón. Esta conversión termoquímica es una técnica comúnmente usada para la producción del biocarbón. Entre los métodos de conversión se encuentran la pirólisis, carbonización hidrotermal, gasificación y torrefacción (Pang, 2019).

Dependiendo del rendimiento deseado se elige una técnica acorde con la biomasa a usar y las condiciones requeridas en el proceso, como velocidad de calentamiento, temperatura, tiempo de residencia (Yaashikaa et al., 2020). Siendo cruciales en la producción y por ende en las características físicas y químicas del biocarbón. Durante el proceso de producción del biocarbón, en su primera etapa se da lugar a la pérdida de agua, alrededor de los 100 °C; continuando con la degradación de la celulosa, hemicelulosa y lignina que se produce por encima de los 220 °C. Finalmente, se presenta una pérdida de peso debido a la quema de residuos carbonosos. (Yaashikaa et al., 2020).

Tabla 2. Técnicas de conversión termoquímica y sus condiciones de proceso.

Técnica	Temperatura (°C)	Tiempo de residencia	Rendimiento del biocarbón (%)	Rendimiento de bioaceite (%)	Producción de gas de síntesis (%)	Fuente
Pirólisis	300-700 (lento)	Hora-día (lento)	35 (lento)	30 (lento)	35 (lento)	Yaashikaa et al., 2020
	500-1000 (rápido)	< 2 segundos (rápido)	12 (rápido)	75 (rápido)	13 (rápido)	Yaashikaa et al., 2020
Carbonización hidrotermal	180-300	1-16 horas	50-80	5-20	2-5	Yaashikaa et al., 2020
Gasificación	750-900	10-20 segundos	10	5	85	Klinghoffer et al., 2015
Torrefacción	290	10-60 minutos	80	0	20	Sánchez et al., 2020
Carbonización instantánea	300-600	< 30 minutos	37	--	--	Cantrell et al., 2012

2.2.1.1 Pirólisis

La pirólisis de biomasa es un proceso de descomposición termoquímica en ausencia de oxígeno con posibles productos de líquido (Bio-oil), sólido (Biochar) y gas. Las fracciones de estos productos dependerán del tipo de biomasa, temperatura de operación, velocidad de calentamiento y tiempo de residencia. Para el producto objetivo de líquido, se requiere una velocidad de calentamiento rápida, un enfriamiento rápido y temperaturas de operación apropiadas de 400 a 650 °C (Pang,

2019). Este proceso es una estrategia alternativa para convertir la biomasa residual en productos de valor agregado como biocarbón, gas de síntesis y bioaceite. Durante el proceso, los componentes lignocelulósicos como la celulosa, la hemicelulosa y la lignina se someten a procesos de reacción como despolimerización, fragmentación y reticulación a temperaturas específicas, lo que da como resultado un estado diferente de productos como sólido, líquido y gas. Los productos sólidos y líquidos comprenden carbón vegetal y bioaceite, mientras que los productos gaseosos son dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrógeno y también gas de síntesis (hidrocarburos C1 -C4). Para la producción del biocarbón se utilizan varios tipos de reactores, como hornos de paletas, lecho fluidizado burbujeante, reactores de vagón y hornos giratorios de arena agitada. El rendimiento del biocarbón durante el proceso de pirólisis depende del tipo y naturaleza de la biomasa utilizada.

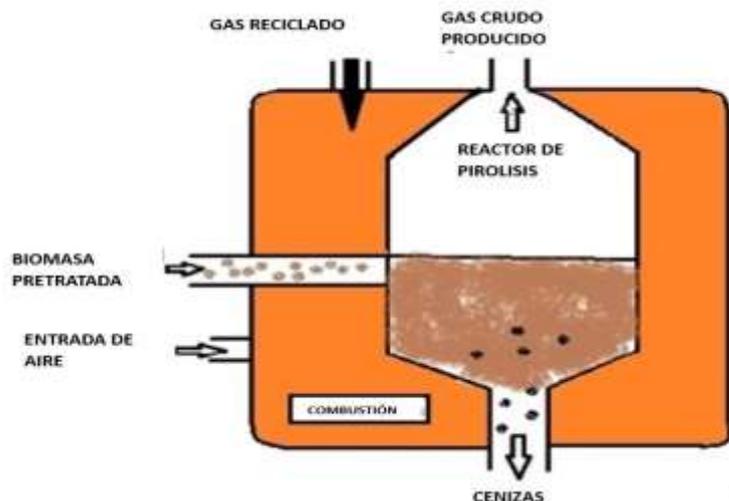


Figura 1. Proceso de pirólisis

Fuente: Safaei Khorram et al., 2016

La temperatura es la principal condición del proceso operativo que decide la eficiencia del producto. Generalmente, el rendimiento del biocarbón disminuye y la producción de gas de síntesis aumenta cuando se aumenta la temperatura durante el proceso de pirólisis (Figura 1). La pirólisis se puede clasificar en un proceso de pirólisis rápido y lento dependiendo de la velocidad de calentamiento, la temperatura, el tiempo de residencia y la presión.

2.2.1.2 carbonización hidrotermal

La carbonización hidrotermal es un proceso que se realiza a baja temperatura, alrededor de 180-250 °C. De este proceso se obtiene el hidrocarburo, denominado así para diferenciar el producto producido de procesos secos como la pirólisis y la gasificación. Este método se basa en mezclar la biomasa con agua y se coloca en un reactor cerrado, aumentando lentamente la temperatura para mantener la estabilidad, con esto se permite obtener productos a diferentes temperaturas. (Safaei Khorram et al., 2016).

Tabla 3. Proceso de Carbonización hidrotermal por etapas.

Temperatura	Etapas	Producto
inferior a 250 °C	carbonización hidrotermal	Biocarbón
entre 250 y 400 °C	licuefacción hidrotermal	Bioaceite
superior a 400 °C	gas de síntesis como CO, CO ₂ , H ₂ y CH ₄	gasificación hidrotermal

Fuente: Safaei Khorram et al., 2016.

El producto hidrolizado es la consecuencia de una serie de reacciones como deshidratación, fragmentación e isomerización para formar el producto intermedio 5-hidroximetilfurfural y sus derivados. Estas reacciones se producen mediante condensación, polimerización y deshidratación intramolecular para producir el hidrocarburo (Yaashikaa et al., 2020).



Figura 2. Presentación del proceso de carbonización hidrotérmica

Fuente: Yaashikaa et al. (2020).

2.2.1.3 Licuefacción térmica

La licuefacción de biomasa al igual que la pirólisis tienen como producto principal el bioaceite. Sin embargo, la etapa de licuefacción de la biomasa se produce en medio líquido a bajas presiones, gracias a esto, el proceso de licuefacción se puede aplicar a biomásas con un alto contenido de humedad, mientras que la pirólisis necesita que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 10% para reducir el contenido de agua en el bioaceite. (Pang, 2019)

2.2.1.4 Gasificación

La gasificación de biomasa es otro proceso termoquímico, en el que la biomasa se convierte en un producto gaseoso, que se compone principalmente de CO, H₂, CO₂ y CH₄, así como otras especies de hidrocarburos. Este proceso se realiza a temperaturas entre 700 a 1200 °C.

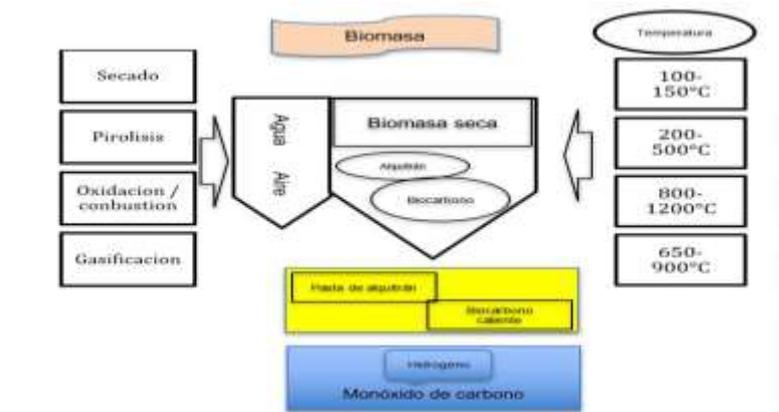


Figura 3. Proceso de gasificación.

Fuente: Yaashikaa et al., 2020.

En este proceso se utilizan agentes de gasificación como O₂, aire, vapor y CO₂. A diferencia de la pirólisis y la licuefacción térmica, en la gasificación el principal producto es el gas de síntesis y el biocarbón se obtiene como el subproducto con menor rendimiento. El proceso de gasificación se muestra en la figura 3.

2.2.1.5 Torrefacción y carbonización instantánea

La torrefacción es una técnica usada para la producción del biocarbón, en la que se emplea una baja velocidad de calentamiento. El oxígeno, la humedad y el dióxido de carbono; elementos presentes en la biomasa, se eliminan utilizando aire atmosférico inerte en ausencia de oxígeno a una temperatura de 300 °C con ayuda de diversos procesos de descomposición. El proceso de torrefacción transforma las propiedades de la biomasa, como el tamaño de las partículas, el contenido de humedad, el área de superficie, la velocidad de calentamiento, la densidad de energía, entre otros.

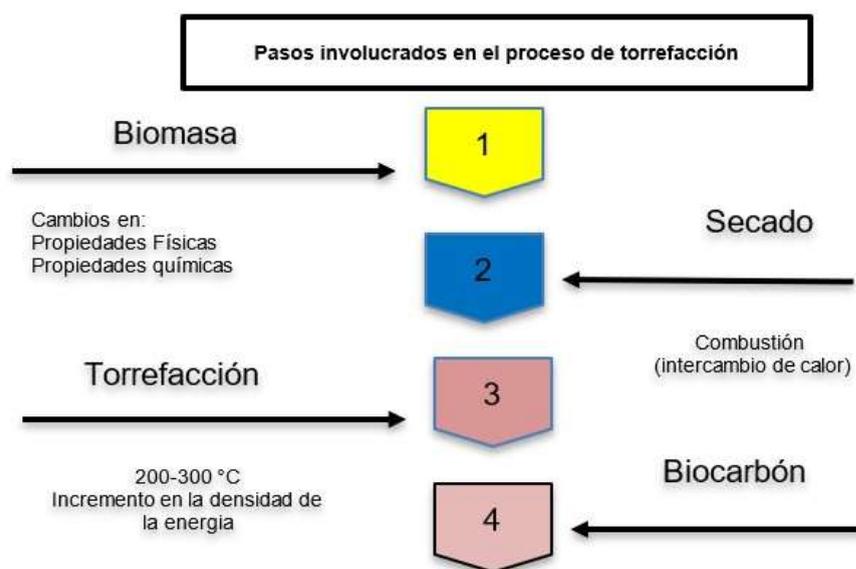


Figura 4. Pasos involucrados en el proceso de torrefacción.

Fuente: Yaashikaa et al. (2020).

Tabla 4. Proceso de Torrefacción.

ETAPA	DESCRIPCIÓN	TEMPERATURA
Calefacción	La biomasa se calienta hasta que se mantiene la temperatura de secado deseada y se evapora el contenido de humedad	-
Pre calentamiento	Contenido de humedad presente en la biomasa se evapora por completo	100 °C
post-secado	Contenido de agua se evapora por completo	200 °C
Torrefacción	Etapa de obtención del biocarbón	300 °C-600 °C
Enfriamiento	Se deja enfriar antes de que entre en contacto con el aire	-

Fuente: Yaashikaa et al., 2020.

2.2.2 Factores que afectan las propiedades del biocarbón.

Los factores como las materias primas, la temperatura, el tamaño de las partículas, la velocidad de calentamiento y en mayor importancia las condiciones de reacción durante el proceso de pirólisis influyen en las propiedades del biocarbón. Estos factores tienen un efecto directo sobre el rendimiento del biocarbón. El análisis a detalle de las propiedades del biocarbón es importante para determinar la aplicación del biocarbón. Para la producción del biocarbón se utilizan diversas biomásas de diferentes fuentes, como materiales vegetales, residuos agrícolas, biomasa de madera, desechos sólidos, entre otros. (Orozco Gutiérrez & Cesar de Lira Fuentes, 2020)

2.2.2.1 Materias primas

La biomasa es considerada como un material sólido complejo, compuesto de material biológico, orgánico o inorgánico que se deriva de organismos vivos. La biomasa se clasifica como biomasa leñosa incluye esencialmente residuos de árboles y residuos forestales (Tripathi et al., 2016) y biomasa no leñosa. Los atributos de la biomasa

leñosa son baja humedad, pocos residuos, menos huecos, alta densidad y poder calorífico; por otra parte, la biomasa no leñosa procede de desechos animales, desechos sólidos industriales y agrícolas, cuyos atributos son alto contenido de desechos, alta humedad, alto vacío, baja densidad y poder calorífico. (Jafri et al., 2018).

2.2.2.2 Temperatura de carbonización

La temperatura influye en las propiedades fisicoquímicas y la estructura del biocarbón, por ejemplo, componentes elementales, estructura de poros, área de superficie y grupos funcionales. El impacto de la temperatura de pirólisis en tales propiedades se puede atribuir a la entrada de volátiles a altas temperaturas. La pirólisis es el método más usado para transformar biomasa en biocarbón a través de un proceso de descomposición termoquímica en un ambiente sin oxígeno a temperatura elevada, siendo la temperatura la variable más importante del proceso. (Lin et al., 2016)

2.2.2.3 Tiempo de residencia

La ampliación del tiempo de residencia a baja temperatura en el caso de la pirólisis provoca una lenta disminución en el rendimiento del biocarbón y una expansión reformista en el pH y el número de adsorción de yodo del biocarbón. No obstante, ampliar el tiempo de residencia a alta temperatura de pirólisis (600 °C) tuvo poco impacto en el rendimiento del biocarbón o el pH, mientras que disminuyó el número del biocarbón que adsorbe yodo. (López et al., 2021)

2.2.2.4 Pretratamiento de la biomasa

El tratamiento de la biomasa previo a la pirólisis influye en las características del biocarbón. Métodos como la inmersión de las materias primas en solución y la reducción del tamaño de las partículas de biomasa, son pretratamientos comunes. Al reducir el tamaño de las partículas de biomasa permite tener un alto rendimiento del biocarbón. (Rebolledo et al., 2016) Los métodos considerados pretratamiento, como el dopaje con nitrógeno y metal, pueden influir en la producción del biocarbón y el tratamiento en solución, como vaporización o remojo, puede influir en la composición y las propiedades del biocarbón, mientras que el método de horneado

permite aumentar el contenido de carbono y reducir el contenido de oxígeno y humedad del biocarbón. (López et al., 2021)

2.2.3 Caracterización del biocarbón

Las técnicas de caracterización del biocarbón están basadas en la estructura, los grupos funcionales de la superficie y el análisis elemental. Actualmente, se han informado numerosas técnicas modernas de caracterización usadas en el análisis del biocarbón, como la microscopía electrónica de barrido (SEM), la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la difracción de rayos X (DRX), el análisis termogravimétrico (TGA), la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN), Brunauer-Emmett-Teller (BET), análisis próximo y último, espectroscopía Raman, etc. (Yaashikaa et al., 2020)

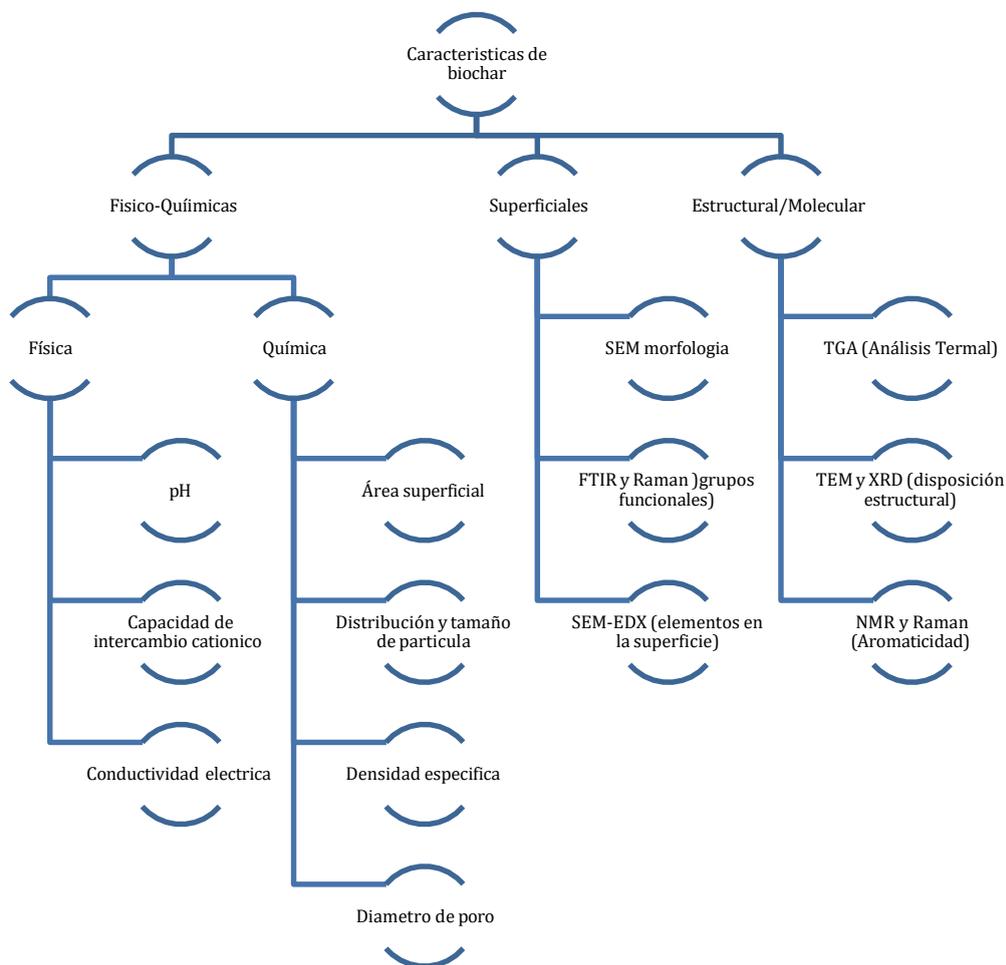


Figura 5. Características del Biocarbón.

Fuente: Yaashikaa et al., 2020.

La caracterización del biocarbón permite saber las aplicaciones en las que se pueda usar. El análisis estructural y elemental también ayuda a predecir el impacto del biocarbón en el medio ambiente.(Yaashikaa et al., 2020).

2.2.3.1 Grupos funcionales

Los grupos funcionales que componen la superficie del biocarbón que aumentan sus propiedades de sorción incluyen grupos carboxílicos (-COOH), hidroxilo (-OH), amina, amida y lacónicos. Los factores que influyen en los grupos funcionales componentes superficiales del biocarbón son la biomasa y la temperatura. Al aumentar otras propiedades como el pH, el área de superficie y la porosidad, existe la posibilidad de que se reduzcan los grupos funcionales del biocarbón. El método de caracterización usado en el análisis de los grupos funcionales de la superficie es espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

2.2.3.2 Área de superficie y porosidad

El biocarbón con mayor área superficial y alta porosidad poseerá una alta propiedad de sorción. La superficie porosa del biocarbón formada durante el proceso de pirólisis cuando hay un aumento en la pérdida de agua durante el proceso de deshidratación. El área de la superficie es la clave para determinar la capacidad de sorción del biocarbón, mientras que la temperatura es importante en la formación del biocarbón.

2.2.3.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Las estructuras superficiales del biocarbón identificadas por SEM. Las imágenes SEM del biocarbón demostraron que diversos procedimientos y temperaturas provocaron cambios generosos en la morfología de la superficie de las primeras partículas; en gran medida mantenían la forma visible. Además, la mejora de los poros en las pruebas del biocarbón que se actualizan con la temperatura de expansión puede provocar una gran mejora en las propiedades de los poros del biocarbón. La mayoría de los estudios sobre aplicaciones del biocarbón han utilizado SEM-EDX para determinar la superficie del biocarbón después de que adsorbe los contaminantes. El

principal inconveniente es que SEM-EDX no es adecuado para contaminantes orgánicos.

2.2.3.4 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía FTIR es una técnica vibratoria para investigar los grupos funcionales presentes en el biocarbón. Al aumentar la temperatura, se producen grandes cambios en el biocarbón en la mezcla y en los arreglos auxiliares, estas progresiones podrían observarse mediante un sistema FTIR no dañino. En el rango de temperatura más alto de 650 a 800 °C. En DRIFTS (espectroscopía de transformada infrarroja de Fourier de reflectancia difusa), la muestra se convierte en forma de gránulos utilizando bromuro de potasio. La muestra del sedimento se pone en contacto con un cristal ATR (reflectancia total atenuada) y los grupos funcionales se predicen en ATR-FTIR.(Yaashikaa et al., 2020)

2.2.3.5 Difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X se usa para determinar la cristalinidad y la estructura del biocarbón. En XRD, el difractograma ha indicado atributos particulares del material nebuloso que se ha creado a más de 350 °C y es confiable. El XRD computarizado está equipado con un monocromador, una fuente de radiación y un motor (Yaashikaa et al., 2020). Al pasar el tiempo, el diámetro de las partículas aumenta. Por lo tanto, los patrones XRD ayudan a producir biocarbón de alta calidad, rápido y no destructivo con una alta eficiencia de sorción.

2.2.3.6 Análisis Brunauer-Emmett-Teller

El estudio de la superficie del biocarbón es importante porque esta propiedad del biocarbón es de gran utilidad en la eliminación de contaminantes del suelo y del medio acuoso, esta propiedad puede ser examinada mediante análisis BET. Lo más notable es que en la materia prima crudas presenta microporos, mientras que se crean nuevos microporos en el carbón durante la pirólisis. (Yaashikaa et al., 2020). La liberación de una gran cantidad de materia volátil en la pirolisis da como resultado un biocarbón de alta porosidad con diversas estructuras de poros y baja densidad.

2.2.3.7 Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN)

La espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) hace uso de un campo atractivo sólido y pulsos de radiofrecuencia (RF) permitiendo estudiar la estructura de las partículas a través de las frecuencias de reverberación de núcleos específicos dentro del átomo.

Para representar el biocarbón, se pueden utilizar métodos de estado sólido que permiten decidir la cantidad general de grupos funcionales de carbono, el nivel supuesto de formación de anillos aromáticos y la estructura general de las moléculas de carbón; también mediante este método de análisis se puede investigar el contenido de hidrocarburos alifáticos y aromáticos (Yaashikaa et al., 2020). Uno de los inconvenientes al utilizar la espectroscopía de RMN es que la presencia de minerales ferromagnéticos en el biocarbón puede interrumpir las señales de RMN y además el biocarbón producido por pirólisis a alta temperatura presenta un resultado una relación señal-ruido baja.

2.2.3.8 Espectroscopía Raman

La dispersión Raman es un tipo de espectroscopía subatómica que depende de los avances vibratorios de los átomos mientras se iluminan con radiación electromagnética. La radiación Raman consta de una luz que se dispersa con una recurrencia conmovedora de la radiación incidente debido a la pérdida o ingestión de la energía vibratoria en el átomo. La alta sensibilidad, la menor preparación de la muestra y la menor interferencia permiten que la espectroscopía Raman sea adecuada para la caracterización del biocarbón, aunque es menos aplicable debido a su alto costo (Yaashikaa et al., 2020).

2.2.4 Estabilidad del biocarbón

La resistencia o estabilidad que presenta el biocarbón a la degradación del suelo tanto biótica como abiótica se usa para determinar la capacidad del biocarbón para secuestrar carbono. Los métodos de evaluación de la estabilidad del biocarbón se pueden dividir en tres clases, de la siguiente forma:

- a) Calificación o cuantificación directa o indirecta de las estructuras del carbono de la aromaticidad similar al biocarbón
- b) Cuantificación o calificación del carbono estable mediante métodos térmicos o químicos o termoquímicos como oxidación química, degradación térmica, etc.
- c) Incubación del biocarbón en el suelo y modelado de mineralización del carbono.

Una propiedad definida del biocarbón es la presencia de una estructura de carbonos que comprende una fase cristalina y una fase amorfa. La evaluación de la estabilidad del biocarbón se puede realizar analizando la cantidad de carbono presente en el biocarbón o en estructuras del carbono estables; por esta razón, la estructura del carbono es el elemento determinante a la hora de evaluar la estabilidad del biocarbón.

Mediante estudios se ha demostrado que el biocarbón que posee un alto grado de condensación aromática y aromaticidad resiste la degradación termoquímica y biológica, por lo que muestra una alta estabilidad.

La composición elemental del biocarbón representa enlaces carbono-carbono o aromaticidad. Las propiedades del biocarbón, como la estructura de los poros, el pH, los minerales, el mecanismo de sorción, el área de superficie y el tamaño de las partículas, también contribuyen a la estabilidad del biocarbón.

La evaluación de la estabilidad del biocarbón mediante técnica de incubación y modelado se considera una clase importante debido a los resultados directos y precisos obtenidos. Este método muestra valores de longevidad que permanecen en condiciones de incubación. Estos valores se basan en el modelado de datos (Yaashikaa et al., 2020).

2.2.5 Aplicaciones del biocarbón

La fuente ecológica, económica y sencilla de diversas biomásas utilizadas en técnicas termoquímicas para abordar diversas aplicaciones ambientales hace que el biocarbón sea un área de gran interés entre los investigadores.

El biocarbón se puede utilizar para una amplia gama de aplicaciones, como catalizadores, tratamiento de aguas residuales, compostaje, almacenamiento de energía, secuestro de carbono y enmienda del suelo.

Tabla 5. Ventajas y limitaciones de las diferentes aplicaciones del biocarbón.

Aplicaciones	Descripción	Beneficios	Limitaciones
Catalizador	Actúa como material para la catálisis directa.	Bajo costo, más grupos funcionales, mayor superficie de contacto	Eficiencia baja
Almacén de energía	Utilizado como material para electrodos.	Bajo costo, alta porosidad y gran superficie de contacto.	Rendimiento bajo
Enmienda del suelo	Mejora la fertilidad y la calidad del suelo y el secuestro de carbono	Bajo costo, minimiza emisión de gases de efecto invernadero, ayuda a retener nutrientes y agua, controla la pérdida de nutrientes.	Persistir la contaminación de metales pesados e hidrocarburos poliaromáticos.
Adsorbentes	Elimina contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo y el sistema acuoso.	El bajo costo y la mayor cantidad de grupos de oxígeno presentes en el biocarbón mejoran la adsorción de contaminantes	La eficiencia de eliminación de contaminantes varía y los metales pesados se retienen en el suelo.
Compostaje	Mejora de la estructura de la población microbiana y la mineralización de carbono.	Poroso, reduce la emisión de gases de efecto invernadero, gran superficie y retiene nutrientes.	Posibilidades de que metales pesados y otros contaminantes invadan el suelo.

Fuente: Yaashikaa et al. (2020).

2.2.6 Enmienda del suelo

Una mala gestión de los desechos agropecuarios provoca emisión de mayores cantidades de CO₂ y el aumento de la degradación de los compuestos orgánicos del suelo. Muchas investigaciones han sido precedidas en el aumento del contenido de carbono orgánico en el suelo mediante la incorporación de biomasa de cultivos y desechos animales. La aplicación del biocarbón en el suelo ayuda no solo a la fijación de carbono en el suelo, sino también mejora la calidad del suelo al neutralizar el pH, aumentar la capacidad de intercambio catiónico y fortalecer el crecimiento microbiano en el suelo. Los grupos funcionales presentes en el biocarbón, como los carboxílicos, hidroxilo y fenólicos interactúan con los iones de hidrógeno en el suelo y reducen la concentración de iones de hidrógeno, aumentando así el pH del suelo. Los carbonatos, bicarbonatos y silicatos del biocarbón reaccionan con los iones de hidrógeno y neutralizan el pH del suelo (Yaashikaa et al., 2020). La aplicación del biocarbón en la recuperación de suelos de uso agrícola ha aumentado el interés debido a sus propiedades superficiales y composición elemental. En el campo agrícola el biocarbón se puede aplicar de la siguiente manera:

- a) Mejorar la fertilidad y la estructura del suelo
- b) Aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo y minimizar la toxicidad del aluminio;
- c) Apoyar el secuestro de carbono y reducir el efecto de los gases de efecto invernadero
- d) Mejorar la productividad manteniendo la retención de agua
- e) Mejorar la actividad microbológica al aliviar la lixiviación de nutrientes.

El uso del biocarbón se ha considerado un método aplicable para remediación de suelos contaminados con contaminantes tóxicos, incluidos metales pesados, pesticidas, hidrocarburos, etc. La biomasa utilizada en la producción del biocarbón se compone de cationes básicos. Estos cationes se transfieren al suelo cuando al aplicar biocarbón al suelo. Esta actividad permite mejorar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, ya que, al aumentar la superficie del suelo permite absorber más cationes. La presencia de altas concentraciones de Ca, K, N y P en el biocarbón logra

la introducción de nutrientes al suelo y como fuente de nutrientes para la comunidad microbiana en el suelo. La porosidad del suelo aumenta cuando se utiliza biocarbón como enmienda, esta mejora en la cantidad de poros permite el crecimiento microbiano, lo que aumenta el tiempo de residencia de la humedad, el aire y los nutrientes, mejorando el crecimiento, la supervivencia y la actividad de los microbiana, contribuyendo al crecimiento de las plantas. El biocarbón producido a alta temperatura es difícil de degradar y, por esta razón, está presente en el suelo durante más tiempo en comparación con el biocarbón producido a baja temperatura. La aplicación del biocarbón como un tipo de abono orgánico reduce las emisiones de gases que causan el calentamiento global.(Yaashikaa et al., 2020)

2.2.6.1 Degradación química

La degradación química es causada por la pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, aumento de toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. (Suquilanda, 2008)

Durante la degradación química se presenta pérdida de fertilidad y de materia orgánica, salinización y alcalinización.

2.2.6.2 Degradación biológica del suelo

La disminución de la materia orgánica y por consiguiente la pérdida de la actividad microbiana es la principal evidencia de que hay presente una degradación biológica. El suelo es un hábitat lleno de diversidad de grupos microbianos tales como hongos, actinomicetos, bacterias, protozoos, etc., que mejoran las condiciones del suelo acelerando la descomposición y mineralización de la materia orgánica en los procesos de sinergia donde permiten un balance entre poblaciones dañinas y benéficas, reduciendo ataques de plagas y enfermedades.

2.2.7 Remediación de suelos degradados

Las tecnologías de remediación agroecológicas se presentan como una alternativa oportuna para suelos con niveles nutritivos bajos y amigables con el ecosistema, su éxito radica en el uso bajo las condiciones específicas de un sitio. (Martínez-Prado et al., 2011)

Existen numerosas tecnologías de remediación de suelos contaminados, clasificados en:

a) Biológicos como son biorremediación, bioestimulación, fitorremediación, biolabranza, y entre otros, en donde las actividades metabólicas dan paso a la degradación o la transformación de los contaminantes a productos metabólicos inocuos.

b) Fisicoquímicos, tales como la electrorremediación, lavado, solidificación/estabilización, y otros, donde se toma ventaja de las propiedades físicas y químicas que presentan los contaminantes para luego ser destruida, separada o contenida.

c) Térmicos, como son la incineración, vitrificación, desorción térmica, etc., en los cuales se maneja la temperatura alta para permitir la volatilización, descomposición o inmovilización de los contaminantes en el suelo.

2.2.8 Biocarbón como opción de mejora en la economía circular

Estudios mencionan que los métodos termoquímicos usados en la producción del biocarbón, especialmente en zonas rurales, mejoran el desarrollo de esa región específica y también de las pequeñas y medianas empresas, permitiéndoles producir suficiente energía, aumentando así los ingresos de los agricultores y proporcionando soluciones para la gestión de residuos en el sector agrícola. Gracias a esto, los sistemas de producción a pequeña escala pueden conectarse con otros sistemas, creando modelos de sistemas cerrados en los que los residuos de un proceso puedan utilizarse como insumo para el otro con altos resultados sociales, económicos y ecológicos en la economía circular (Yaashikaa et al., 2020). Se requieren interacciones similares entre diferentes metodologías de producción del biocarbón y reutilización de residuos para desarrollar nuevas oportunidades. Al utilizar los desechos de una industria de procesamiento agropecuario para uso como alternativa de enmienda aplicable al suelo, se ha establecido una bioeconomía circular para el avance de nuevos productos y procedimientos y el potencial para la formación de nuevos negocios. Se podrían incorporar metodologías que den paso a un equilibrio entre facilidad de uso, eficiencia energética y descargas limitadas a la red local para la generación factible del biocarbón, teniendo en cuenta puntos de vista económico,

recuperando adicionalmente el biocarbón y el calor producido (Yaashikaa et al., 2020). Al llevar a cabo un plan de economía circular vinculado a la producción del biocarbón se pueden obtener beneficios medioambientales, tales como, menos emisión de gases de efecto invernadero, beneficio económico al reducir el coste respecto a la eliminación de residuos; mostrando una puerta abierta para el avance de una Economía Circular (CE) utilizando una combinación creativa de metodologías y enfoques estratégicos beneficiosos para abordar el uso de desechos de la agropecuarios, coproductos y subproductos. El marco propuesto podría volverse una base energética rural inteligente y gestionable, en redes de cultivo provinciales, que se ajuste a las directrices de la economía circular. Tanto la digestión anaeróbica como el proceso de gasificación, en el que las granjas proporcionan rendimiento y purines y la industria proporciona residuos de alimentos, pueden producir energía y estiércol, que luego podrían ser aprovechado por la comunidad cercana, en lugar de concentrarse en las ventajas sociales que supone un cambio de un sistema lineal a un sistema circular. (Yaashikaa et al., 2020)

El estudio realizado por (Yaashikaa et al., 2020) muestran que el desempeño ambiental de la pirólisis puede cambiar según numerosos elementos, incluidos materia prima de biomasa, proceso de pirólisis, rendimiento de coproductos e identificación de innovaciones periféricas.

2.2.9 Efecto del biocarbón sobre las propiedades físicas del suelo.

El uso del biocarbón en el suelo produce un fuerte impacto en las propiedades físicas del suelo al alterar diversos parámetros como la densidad aparente, la estructura del suelo, los macro agregados, la porosidad, y el contenido de carbono. Los estudios en suelos meteorizados han mostrado un impacto positivo, al aplicar biocarbón, con mayor énfasis en los atributos físicos que en los indicadores químicos. (Yaashikaa et al., 2020)

A continuación, se presentan los efectos de diferentes biocarbons sobre las propiedades físicas del suelo.

En el estudio realizado por Basak et al. (2022) se muestra que la adición del biocarbón en combinación con compost en suelos tropicales altamente meteorizados ha resultado en una mejora significativa de la biodisponibilidad y la porosidad del suelo

solo después de un año de aplicación, lo que indica que el biocarbón puede incluirse como una estrategia de adaptación a largo plazo para restaurar el suelo erosionado.

Debido a la naturaleza altamente porosa del biocarbón, al aplicar en el suelo resultó en una mejora de la retención del agua en términos de capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible, lo que posteriormente ayudaría al crecimiento y rendimiento de los cultivos. La agregación del suelo es de suma importancia para la agricultura sostenible, debido a su influencia en las propiedades físicas y biológicas del suelo (Basak et al., 2022).

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio se considera descriptivo con diseño experimental, teniendo como propósito describir la significancia de la influencia del biochar en los suelos agrícolas degradados (o desgastados); es decir, suelos que presentan pérdida de equilibrio de sus propiedades, lo que limita su productividad (Ochoa et al., 2020), gracias a la determinación de las porciones de biochar definido como variable independiente; se realiza un análisis de la incidencia de las concentraciones de biochar y la tasa de crecimiento de las plantas y la disponibilidad de los nutrientes en el suelo usado.

El método de investigación tuvo un enfoque hipotético – deductivo, donde las hipótesis fueron puntos de partida para nuevas deducciones, en la que se inicia de una hipótesis inferida a partir de los datos empíricos y al aplicar las reglas de la deducción se someten a verificación para comprobar la veracidad o no de la hipótesis de partida. Uno de los rasgos más importantes de este método se encuentra en su naturaleza cuantitativa para asegurar su precisión y rigor, por eso es un conocimiento sistemático comprobable.

3.1.1. Nivel de investigación

El nivel de investigación usado fue descriptivo - explicativo, descriptivo por qué consistió en el estudio de un fenómeno o situación concreta tomando rasgos peculiares o diferenciados; explicativo porque se buscó establecer la relación causa–efecto, mediante la prueba de hipótesis, donde se determinó el efecto del biochar sobre el suelo agrícola.(González, 2021)

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación realizada en este trabajo tuvo un enfoque experimental de laboratorio y campo, se analizó variables independientes, en este caso, la concentración de biochar y la materia prima usada para su elaboración, con el fin de observar los resultados al tiempo que procura evitar que otros factores intervengan en la observación.

3.2. La población y la muestra

3.2.1. Delimitación de la población

La población estuvo compuesta por los suelos agrícolas degradados que se encuentran en la provincia del guayas, cantón Naranjal, parroquia Taura, sector 3 cerritos, en las coordenadas geográficas -2.387843, -79.614727; el muestreo se ejecutó en una hectárea. Las muestras de estiércol y cascarilla de arroz fueron obtenidas de áreas aledañas, al sector en la misma parroquia Taura.



Figura 6. Delimitación de la población

Fuente: Autor

3.2.2. Tipo de muestra

El suelo agrícola utilizado en esta investigación es de tipo vertisol con textura arcillosa, con pH levemente ácido (Victoria Cremona & Soledad Enriquez, 2020) y materia orgánica en concentración de 0.9% menor a lo requerido para suelos fértiles. Además, por presentar concentraciones de 17.22 ppm para fósforo, de 0.28 meq/100g para potasio y 6.96 meq/100g para manganeso disponibles se puede clasificar como suelo de calidad media. (Quirós & Ramírez, 2019)

Con el fin de evaluar la incidencia del biocarbón en el crecimiento de cultivos (Whalen et al., 2022), se realiza la siembra de granos de arroz (*Pyricularia oryzae Cav*) en su variedad SFL 11.

3.2.3. Tamaño de la muestra

Se usaron 88.4 kg de suelos agrícolas degradados los cuales fueron tratados con distintos porcentajes de biochar. Esta decisión fue tomada debido a dificultades suscitadas durante las pruebas experimentales, el periodo establecido y la limitada cantidad de biomasa no permitieron obtener la cantidad de biochar necesario para que la prueba se pueda realizar en campo abierto.

Se sembraron 3 granos por punto, con el fin de disponer de réplicas, siguiendo la distribución detallada en la figura 10.

3.2.4. Proceso de selección de la muestra

El muestreo aplicado al suelo fue de tipo no probabilístico, debido a que la elección de la cantidad de puntos representativos (8 puntos) del área elegida (población), se eligieron según el criterio del investigador. El tipo de grano elegido fue el arroz (*Pyricularia oryzae Cav.*) al ser un cultivo de ciclo corto, compatible con el periodo establecido para pruebas de campo, y originario de la zona. (González, 2021)

3.3. Los métodos y las técnicas

3.3.1 Selección de la materia prima

Se seleccionaron 2 biomásas con un nivel de disponibilidad alto en el lugar geográfico escogido, como es la cascarilla de arroz y el estiércol, ambos desechos agropecuarios de la zona de estudio.

3.3.2 Determinación de humedad en biomasa

La determinación del porcentaje de humedad se realizó en el analizador de humedad marca RADWAG, modelo PMR 50/1.

3.3.3 Tratamiento de la materia prima

Para el proceso de pirólisis se necesitó que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 10% (Pang, 2019), por esta razón la materia prima escogida para este estudio debió ser evaluado con el fin de verificar si disponía de la humedad máxima permitida para el ingreso al proceso.

La muestra de estiércol debió ser sometida a un proceso previo de secado en una estufa a 105°C, por el tiempo requerido (4 horas).

3.3.4 Elaborar biochar

La elaboración del biochar se llevó a cabo en un reactor discontinuo de acero inoxidable de 5 litros de capacidad MFG marca WEIHAI GLOBAL CHEMICAL, modelo GSH-5, con agitador incorporado, rango de trabajo de 0 a 750 RPM y sistema condensado con rango de trabajo de -0.1 a 8 MPa. Acoplado a un sistema de refrigeración que funciona a 10 °C (Figura 7). La biomasa es colocada en el reactor, que se calienta mediante electricidad a una potencia de 3.5 kW.

El equipo dispone de un sistema de control de temperatura en la chaqueta del reactor (T1), en el interior del reactor (T2), y en la entrada del condensador (T3). La fracción líquida (compuestos condensables) son enfriados en el condensador y se recogen en los separadores bifásicos del equipo (S1).

La fracción gaseosa (compuestos no condensables) es recolectada a la salida de la bomba de vacío (S2). La temperatura de trabajo usada fue de 650 °C.

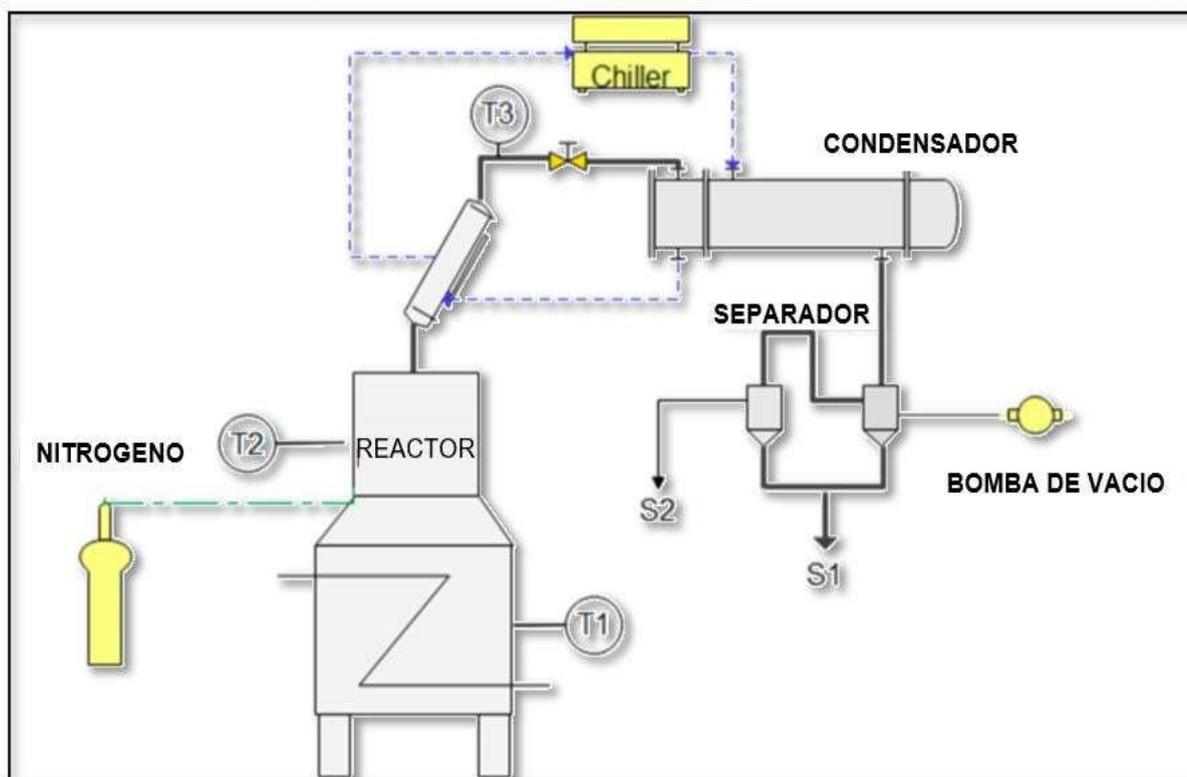


Figura 7. Diagrama del equipo de pirólisis

Fuente: Autor

3.3.5 Caracterización del biochar

Las muestras fueron analizadas por espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) utilizando un espectrómetro JASCO FT/IR-4100. El método utilizado ha sido ejecutado con el programa Spectra Analysis, que realiza la adquisición y tratamiento de datos, y proporciona un valor numérico basado en la altura o área del pico en un rango de escaneo de trabajo de 4000 a 550 cm^{-1} .

3.3.6 Análisis químico del biochar

El biocarbón obtenido de los tratamientos de pirólisis se sometieron a los siguientes análisis por triplicado: pH (relación Biocarbón: agua 1:2), materia orgánica M.O. (pérdida por incineración, (Ben-Dor & Banin, 1989), porcentaje de humedad (pérdida de peso a 105 °C), K, P, K, Mg disponibles (FAO, 2008), S y P por Espectrofotometría UV-VIS, composición elemental (B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na) por digestión ácida y Espectrofotometría de Absorción Atómica y (N) Kjeldahl.

3.3.7 Rendimientos de biochar

El rendimiento de biochar se expresa como la relación entre la masa del biochar y la masa inicial de la biomasa sometida al proceso de pirólisis.

$$\text{Rendimiento (\%)} = (\text{Masa de biochar}) / (\text{Masa de las materias primas}) \times 100.$$

3.3.8 Muestreo de suelo desgastado

Se establecieron 8 puntos de muestreo, cuya distribución cumple con lo sugerido por el instructivo de muestreo para suelos AGROCALIDAD, 2021.

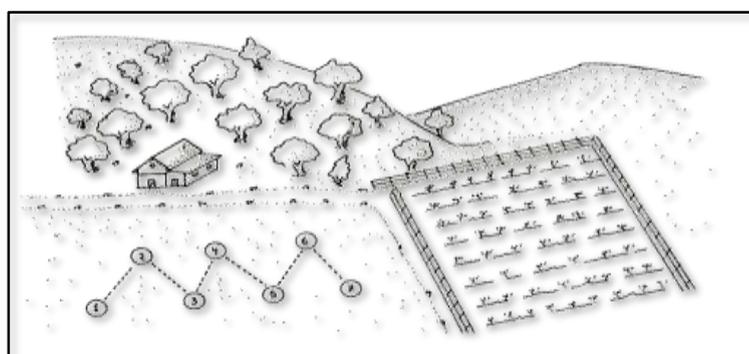


Figura 8. Toma de submuestra en forma de zigzag

Fuente: AGROCALIDAD, 2021

Las muestras fueron recabadas a una profundidad de 20 cm. La época del muestreo fue en noviembre del 2023.

3.3.9 Distribución de muestras

Con el fin de obtener resultados significativos y representativos a la población de estudio, se utilizó 1 contenedor, con 5 cámaras de 2.21 m². En cada cámara se colocaron 22.11 kg de suelo degradado, se delimitaron 20 puntos de siembra por cámara, a una distancia de 10 cm entre filas y 13 cm entre columnas. Los tratamientos en cada cámara fueron, BE 3%: Tratamiento con concentración del 3% (300 g/m²) del biocarbón a base de estiércol vacuno; BE 2%: Tratamiento con concentración del 2% (200 g/m²) del biocarbón a base de estiércol vacuno; BA 3%: Tratamiento con concentración del 3 % (300 g/m²) Biocarbón a base de cascarilla de arroz; BA 2%:

Tratamiento con concentración del 2% (300 g/m²) Biocarbón a base de cascarilla de arroz y MT: Muestra testigo.

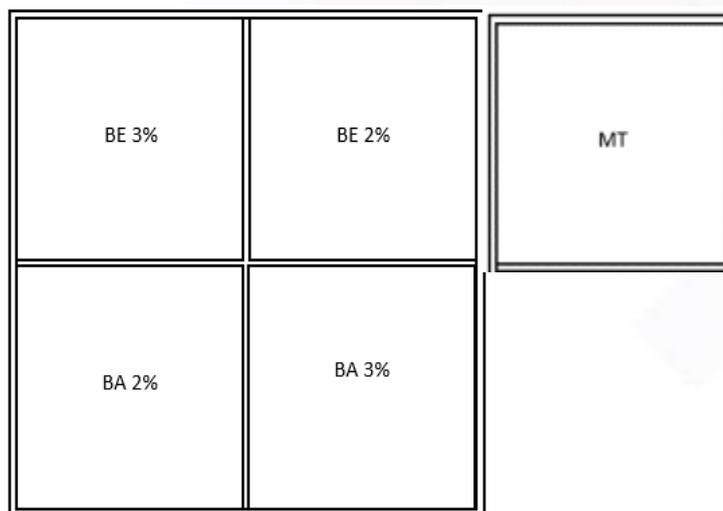


Figura 9. Distribución de los contenedores por tratamiento.

Fuente: Autor

11	12	13	14	15
21	22	23	24	25
31	32	33	34	35
41	42	43	44	45
51	52	53	54	55

Figura 10. Distribución de muestras por contenedor. El primer número corresponde a la fila, el segundo número corresponde a la columna.

Fuente: Autor

3.3.10 Determinación de la cantidad de biochar por prueba

Se realizó el cálculo de la cantidad de biochar a usar por prueba según la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de biochar} = (\text{Masa de suelo} \times \text{porcentaje de biochar}) / 100$$

3.3.11 Evaluación de la absorción de los componentes del biochar

Monitoreo de variables

El monitoreo de las variables se estableció, para las muestras de biochar antes de aplicación en suelo, en periodos de 3 días para la altura de las plantas, 21 días en caso del recuento microbiológico (final del experimento) y longitud de la raíz (tabla 5).

Tabla 6. Periodos para las variables establecidas

Muestra	Variable	Periodo de monitoreo
Planta	Altura de planta	Cada 3 días.
	Longitud de raíz	21 días, posterior a la aplicación de los tratamientos.
Suelo	Carga microbiológica	21 días, posterior a la aplicación de los tratamientos.
Biochar	pH, M.O., densidad aparente B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, N, P, S, Zn, C-org.	Antes de aplicación al suelo

Fuente: Autor

3.1 Procesamiento estadístico de la información.

Se realizó un análisis estadístico, mediante prueba ANOVA y una prueba de tukey. Se usaron datos del monitoreo de crecimiento de las plantas durante 42 días, en periodo establecido de 3 días y el análisis de composición química del suelo antes y 21 días después de aplicar el tratamiento. Con el uso de estos datos se podrá concluir si existe

o no influencia entre dosis de aplicación de biochar, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y el crecimiento de la planta.

El análisis ANOVA permite saber si existe diferencia significativa entre los diferentes contenedores antes de aplicar los tratamientos de biochar. Mientras que el análisis de Tukey permite comparar las medias de los diversos tratamientos e identificar si hay diferencias significativas entre ellos o en comparación con la muestra testigo.

Método de aplicación de biochar, se tomó como referencia el artículo de revisión titulado “GUÍA PARA LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE ARROZ” (Castilla & Tirado, 2018).

Se realizó un análisis de los promedios y las desviaciones estándares de los resultados obtenidos en la composición química de las muestras de biochar. El procesamiento de los datos estadísticos se realizó mediante el uso del software InfoStat.



Figura 11. Diagrama de prueba en campo.

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1 Humedad de la biomasa

El cálculo de la humedad presente en cada biomasa permitió saber el pretratamiento requerido, en el caso de la muestra correspondiente a la cascarilla de arroz la humedad presente se encontraba dentro de lo requerido para el proceso de pirólisis. Para la muestra del estiércol vacuno se necesitó realizar un secado previo debido al contenido de humedad (tabla 6). Siendo la humedad una variable indirecta relacionada con la temperatura; en el proceso de pirólisis la biomasa con contenidos altos de humedad (mayor a 10%), da lugar a que la temperatura de trabajo sea más baja de la fijada, debido a que para eliminar la humedad de la biomasa (evaporación) se requiere una cantidad de calor mayor. (Tripathi et al., 2016)

Tabla 7. Humedad de la biomasa.

Biomasa	Humedad %
Cascarilla de Arroz	5.01526%
Estiércol vacuno	71.0896%

Fuente: Autor

4.2 Rendimiento del biocarbón

El rendimiento del proceso de pirólisis usado mostró como promedio un 20% en comparación a la cantidad de biomasa inicial.

Tabla 8. Rendimiento del biocarbón por tipo de biomasa.

Biomasa	Peso antes de ingreso al proceso de pirólisis (Kg)	Peso de biochar (Kg)	Rendimiento (%)
Cascarilla de Arroz	31.4	6.28	20.00
Estiércol vacuno	25.8	5.01	19.4

Fuente: Autor

4.3 Análisis fisicoquímicos

El biocarbón presenta una capacidad de retener y proporcionar nutrientes biodisponibles para la absorción de las plantas; también puede presentar efectos diversos sobre el pH del suelo, dependiendo de la biomasa, las condiciones de producción y la cantidad aplicada (Haque et al., 2021), por esta razón se realizó un análisis comparativo del pH en las muestras de biochar, el suelo con tratamiento y el suelo de la muestra testigo (tabla 8).

Los resultados muestran un pH básico en ambas muestras de biochar y una elevación en el pH del suelo, llevándolos a valores óptimos (neutro) una vez aplicados los tratamientos, lo que permitiría tener una mejor solubilidad de nutrientes en el suelo (Penn & Camberato, 2019).

En general el biochar formado a partir de residuos agrícolas tiende a ser más alcalino, mientras que el biochar creado a partir de residuos animales, como estiércol, son significativamente menos alcalinos debido a los grupos funcionales que proporcionan al biocarbón (H. Yu et al., 2019)

Tabla 9. Análisis de pH en muestras de biochar y suelo con distintos tratamientos.

Muestras y Tratamientos	BA	BE	MT	BA 2%	BA 3%	BE 2%	BE 3%
Resultado	9.0	8.1	5.0	5.9	5.9	5.2	5.2

Fuente: Autor

El análisis fisicoquímico realizado a cada biochar fue evaluado por triplicado con el fin de obtener una media representativa de la muestra, los resultados y su análisis estadístico se detallan en la tabla 9 en el caso de la cascarilla de arroz y tabla 10 para la muestra correspondiente al estiércol vacuno.

El biochar presenta la capacidad de ayudar a remediar las deficiencias en los suelos desgastados, los cuales presentan problemas como mala estabilidad de los agregados, alta salinidad, niveles extremos de pH (demasiado alto o demasiado bajo)

o la carencia de nutrientes (Hestrin et al., 2019); estos suelos se pueden mejorar incluso con una sola aplicación de biochar (H. Yu et al., 2019). Siendo de particular importancia para cultivos que no son capaces de fijar su propio nitrógeno.

Las concentraciones de materia orgánica (M.O.) en la muestra BE fue de 50.8413% mientras que en la muestra BA fue de 29.6317% (Tabla 9 y 10), observando una clara diferencia entre ambas muestras; lo mismo ocurre al comparar concentraciones de B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, N, P, S y Zn, con la particularidad en las concentraciones de K donde BA presenta una concentración de 2.19113 % mientras que BE presenta valores de 1.6609 %. En el caso del nitrógeno (N) si bien existe variación mayor en la muestra BE en comparación con BA, ambas muestras presentaron valores menores que 1%, siendo 0.9217% y 0.2016% respectivamente.

En base a la bibliografía de consulta ambas muestras presentan nutrientes requeridos para nutrición del suelo que puede verse reflejado en el crecimiento del cultivo, sin embargo, el aporte nutricional de BE es mayor debido a la fuente de la materia prima; los nutrientes que no son absorbidos por el ganado en su proceso digestivo permiten su disposición en el estiércol (Whalen et al., 2022).

Es particularmente interesante comprender que el potasio presente en el biocarbón se encuentra en formas que están disponibles para la absorción de las plantas (Joseph et al., 2010). El biocarbón también hace que el nitrógeno esté más disponible para absorción de plantas para cultivos que no son capaces de fijar su propio nitrógeno (Zheng et al., 2013).

La retención de nitrógeno aumenta con la adición del biocarbón, demostrado en un experimento con arroz, donde la aplicación de biochar permitió que el cultivo absorbiera más fertilizante nitrogenado.(Allohverdi et al., 2021).

Tabla 10. Muestra de Biochar a base de Cascarilla de arroz.

	Humedad	B	Ca	Cu	Fe	K	M.O.	Mg
\bar{X}	4.6908	9.78053	2.86203	7.60197	615.600	2.19113	29.6317	0.37120
S	0.00243	0.00159	0.00620	0.00597	0.00000	0.00342	0.00493	0.00365
S ²	0.00001	0.00000	0.00004	0.00004	0.00000	0.00001	0.00002	0.00001

	Mn	Na	N	P	S	Zn	C-org
\bar{X}	294.400	-	0.2016	2.872	2.5173	5.20177	17.191
S	0.00000	-	0.0046	0.006083	0.0524	0.005359	0.002645
S ²	0.00000	-	2.25E-05	3.,E-05	2.5E-05	2.87E-05	7E-06

	K2O	P2O5	CaO	MgO	SO4
\bar{X}	2.641	6.57137	4.001133	0.610833	8.8422
S	0.003041	0.00414	0.003419	0.002548	0.006691
S ²	9.25E-06	1.71E-05	1.16E-05	6.49E-06	4.47E-05

Los valores expresados para B, Cu, Fe, Mn y Zn se encuentran expresados en ppm; mientras que los valores reportados de Ca, Humedad; K, M.O., Mg, Na, N, P, S y C-org se encuentran expresados en %p/p.

Fuente: Autor

Tabla 11. Muestra de Biochar a base de Estiércol Vacuno.

	Humedad	B	Ca	Cu	Fe	K	M.O.	Mg
\bar{X}	5.2005	40.8513	3.5610	39.2020	7027.9667	1.6609	50.8413	1.1820
S	0.0014	0.0046	0.0029	0.0061	0.0577	0.0028	0.0038	0.0060
S ²	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	0.0000	0.0000	0.0000

	Mn	Na	N	P	S	Zn	C-org
\bar{X}	294.400	-	0.9217	4.8021	4.5312	683.9967	29.4907
S	0.00000	-	0.0052	0.0063	0.0036	0.0058	0.0023
S ²	0.00000	-	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

	K2O	P2O5	CaO	MgO	SO4
\bar{X}	2.0119	10.9913	4.9805	1.9606	13.5717
S	0.0059	0.0038	0.0016	0.0018	0.0049
S ²	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Los valores expresados para B, Cu, Fe, Mn y Zn se encuentran expresados en ppm; mientras que los valores reportados de Ca, Humedad; K, M.O., Mg, Na, N, P, S y C-org se encuentran expresados en %p/p.

Fuente: Autor

En el trabajo realizado por Allohverdi et al., 2021, la tasa de fijación de nitrógeno

aumentó después de la adición del biocarbón y provocó un aumento entre 8% al 10 % en el rendimiento del arroz. En nuestra investigación el parámetro a monitorear fue la altura de la planta, longitud de la raíz y carga microbiológica del suelo.

En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de la altura de la planta a diferentes tiempos (0-12-18-21 días), teniendo en cuenta que a los 0 días es la etapa inicial, donde se colocó las diferentes concentraciones de biochar de estiércol y de cascarilla de arroz (2% y 3%) al suelo. Como se puede notar en la etapa inicial no existe diferencia significativas entre los diversos tratamientos aplicados, esto fue corroborado al realizar un análisis ANOVA (Anexo II), por lo cual no se ven afectados por otros parámetros que puedan influir en el crecimiento, sino que, únicamente van a depender en función a la cantidad de biochar que se adicione. A partir de los 12 días con la prueba de tukey se observa que existe diferencia significativa entre todos los tratamientos (BA 2%, BA 3%, BE 2%, BE 3%) aplicados y la muestra testigo (MT), al evaluar las diferencia significativas entre las medias o promedios resultante de cada tratamiento, se evidencia una diferencia entre los valores del tratamiento testigo de 34.25 cm frente al tratamiento con BE (3%) con un valor de 50.9 cm, lo cual denota el mayor valor en la altura de la planta en este tiempo. En cualquier caso, al evaluar la altura de planta a los 21 días, los valores más altos se presentan con el mismo tratamiento de BE (3%) con un valor de 58.55 cm, reportando que asimismo existe diferencias significativas entre los diversos tratamientos aplicados frente al tratamiento testigo (MT) con un valor de 42.13 cm. Al evaluar solo el grupo de los tratamientos (BA 2%, BA 3%, BE 2%, BE 3%), notamos que al día 12 aunque los valores para BA 2% son de 40.95 cm son menores los valores de BA 3% 45.35 cm y a los expresados para BE 2% 45.55 cm, la evaluación estadística muestra que no existe variación significativa entre estos 3 tratamientos, pero si existe variación significativa entre el tratamiento BA 2% y BE 3%, este fenómeno se evidencia en los monitoreos posteriores hasta el día 21.

En cuanto a la longitud de las raíces, la evaluación es similar a la altura de planta, donde de igual manera, se muestra diferencia significativa entre los diversos tratamientos aplicados frente al tratamiento testigo, expresando valores de 8.22 cm para la muestra testigo (MT) y 10.56 cm para el tratamiento BE 3%. Los valores entre los 4 tratamientos no presentan diferencia significativa.

Tabla 12. Análisis estadístico del crecimiento del arroz por tratamiento.

Variables	Tratamientos						PRO.	SIG.
	MT	BA2%	BA3%	BE2%	BE3%	E.E.		
Altura de planta 0 días	24.5 ^A	24.7 ^A	25.45 ^A	25.45 ^A	27.15 ^A	1.19	0.0001	
Altura de planta 12 días	34.25 ^A	40.95 ^B	45.35 ^{BC}	45.55 ^{BC}	50.9 ^C	1.63	0.0001	**
Altura de planta 18 días	39.06 ^A	45.75 ^B	49.85 ^{BC}	50.3 ^{BC}	55.45 ^C	1.63	0.0001	**
Altura de planta 21 días	42.13 ^A	48.8 ^B	53.05 ^{BC}	53.35 ^{BC}	58.55 ^C	1.63	0.0001	**
Longitud de las raíces 21 días	8.22 ^A	9.75 ^B	9.83 ^B	9.86 ^B	10.56 ^B	0.29	0.0001	**

Promedios con letra igual no difieren estadísticamente y promedios con letras diferentes (A, B, C) difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey $P < 0.05$. EE: error estadístico. PROB: Probabilidad. SIG: Significancia. **Los tratamientos son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

En la figura 12, se puede observar las medias de los diferentes tratamientos con la altura de planta a los 21 días, donde se evidencia que existe un mayor promedio en el tratamiento BE 3% en comparación al testigo, que probablemente se debe a la mayor cantidad de nutrientes que tiene esto en comparación al control. Trabajos reportados en literatura indican que la presencia de estos elementos favorece asimismo el crecimiento en la altura de la planta del arroz. (Chen et al., 2013)

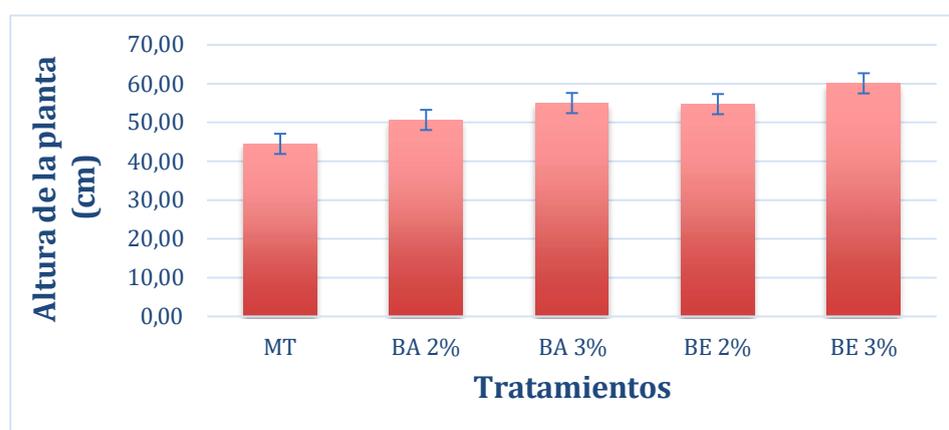


Figura 12. Altura promedio por cada tratamiento a los 21 días de tratamiento.

Fuente: Autor

4.4 Caracterización del biochar

El biocarbón obtenido a partir de la cascarilla de arroz, muestra una banda ancha cercana al número de onda 2888.84 cm^{-1} esto debido al estiramiento de grupos hidroxilo unido por enlaces de hidrógeno, lo que indica la presencia de fenoles y alcoholes. La longitud de onda 1531.2 cm^{-1} se atribuye al grupo funcional carboxilato. El espectro de cada biocarbón se caracterizó por los grupos funcionales inorgánicos, mostrando que los picos alrededor de 1419.35 cm^{-1} podría ser la presencia de estiramiento O–H ó C–O, vibración del fenol y estiramiento C = O de anillos aromáticos, respectivamente; en la misma longitud de onda se puede apreciar una deformación de lignina y celulosa C–H₂. Fueron observados tramos de amina primaria C–N a 1029 cm^{-1} .

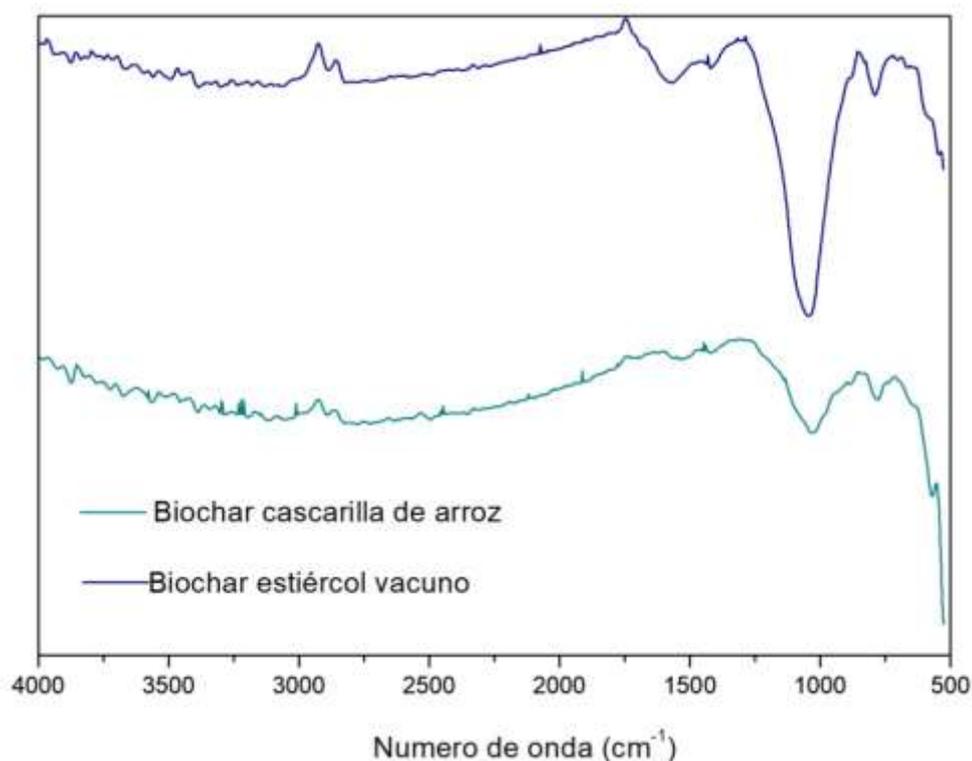


Figura 13. Espectro de Biochar Cascarilla de arroz y estiércol vacuno.

Fuente: Autor

En el caso de la muestra de biochar proveniente del estiércol vacuno la banda ancha observada alrededor de 2884 cm^{-1} ocurre debido a la vibración de estiramiento del grupo funcional hidroxilo (O-H), se puede atribuir a el agua adsorbida en todos los

materiales orgánicos. También se observó presencia de grupos carboxilo (C=O) en la longitud 1565.92 cm^{-1} , se detectó baja intensidad de la unión C-H del grupo funcional carbonilo a 1419 cm^{-1} y la deformación de lignina y celulosa C-H₂. La transmitancia representativa de la vibración de estiramiento de CO aromático u OH fenólico detectada alrededor de 1045.23 cm^{-1} es intensa. La transmitancia indicada en 790.671 cm^{-1} muestra la unión de C-H.

4.5 Análisis microbiológico

En presencia de poblaciones microbianas, se producen una variedad de reacciones dentro del suelo (Gruss et al., 2019). Muchos factores del biochar afectan a la calidad de las poblaciones microbianas, entre ellas la materia prima, condiciones de la pirólisis, tamaño de partículas y propiedades del suelo (Allohverdi et al., 2021). Existe evidencia que sugiere que el biocarbón ayuda al aumento de las poblaciones de micorrizas y rizobios a nivel de raíz (García Montero et al., 2021). Varios compuestos orgánicos que están unidos a estructuras de biochar, pueden ser absorbidos por la planta. La adición de materia orgánica generalmente ayuda a las especies microbianas (García Montero et al., 2021).

Se analiza la carga microbiológica en los tratamientos, como en la muestra testigo, con la finalidad de evaluar cuál de los tratamientos presenta condiciones favorables para la proliferación microbiana, o, si la presencia de materia orgánica favorece a la calidad de los microorganismos que permiten a la planta la absorción de nutrientes.

Las propiedades microbianas del suelo son variables sensibles a los cambios en el medio y es un indicador de la calidad de los suelos. Sin embargo, al ser moléculas más simples las presentes en el biochar, el cultivo puede aprovechar los nutrientes de una forma directa sin un proceso enzimático, propio de los microorganismos.

Entre los tratamientos y la muestra testigo se nota una diferencia significativa en el potencial biológico (Tabla 12), al realizar la prueba de turkey, para la muestra testigo (MT) se obtuvieron valores de 4.50×10^5 UFC/g, mientras que para el tratamiento BE 3% los valores fueron 3.65×10^6 UFC/g, permitiendo argumentar que existe una

incidencia entre el tratamiento aplicado y la carga microbológica del suelo. Al evaluar los promedios entre los tratamientos BE 2% y BE 3% se observa que ambas difieren significativamente, mientras que entre los tratamientos BA 2% y BA 3% no existe una diferencia significativa.

Tabla 13. Análisis estadístico de carga microbológica por tratamiento a los 21 días.

Variables	MT	BA 2%	BA 3%	BE 2%	BE 3%	PRO.	SIG.
Carga microbológica 21 días	4.50x10 ^{5A}	1.28x10 ^{6B}	1.55x10 ^{6B}	2.55x10 ^{6C}	3.65x10 ^{6D}	0.0001	**

Promedios con letra igual no difieren estadísticamente y promedios con letras diferentes (A, B, C, D) difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey $P < 0.05$. PROB: Probabilidad. SIG: Significancia. **Los tratamientos son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

En bibliografías reportadas se expone que el biochar aplicado en tratamientos para suelos agrícolas mejora la diversidad y el recuento de genes bacterianos (Chen et al., 2013).

En los tratamientos aplicados en el presente estudio, las concentraciones fueron de 200 g/m² para los tratamientos al 2% y 300 g/m² para los tratamientos al 3% (tanto para tratamiento BA como BE), mientras que en bibliografía (Chen et al., 2013) , sugieren que en aplicaciones del biocarbón en relaciones de 2000 g/m² y 4000 g/m² se permitió palpar alteraciones en las poblaciones de microbiomas. En los resultados se observa que las concentraciones entre grupos de tratamientos son cercanas, aunque presentan diferencia en promedio con la de la muestra testigo y entre ellas (Figura 14). Según Li et al. (2020), se muestra que en pruebas similares no hubo un aumento de la diversidad microbiana sino más bien, un aumento de la biomasa microbiana al adicionar biochar de diversas fuentes de biomasa. El mismo trabajo sugiere que la razón de esto es porque los grupos bacterianos en los suelos se ven afectados más fácilmente y son más sensibles al biocarbón.

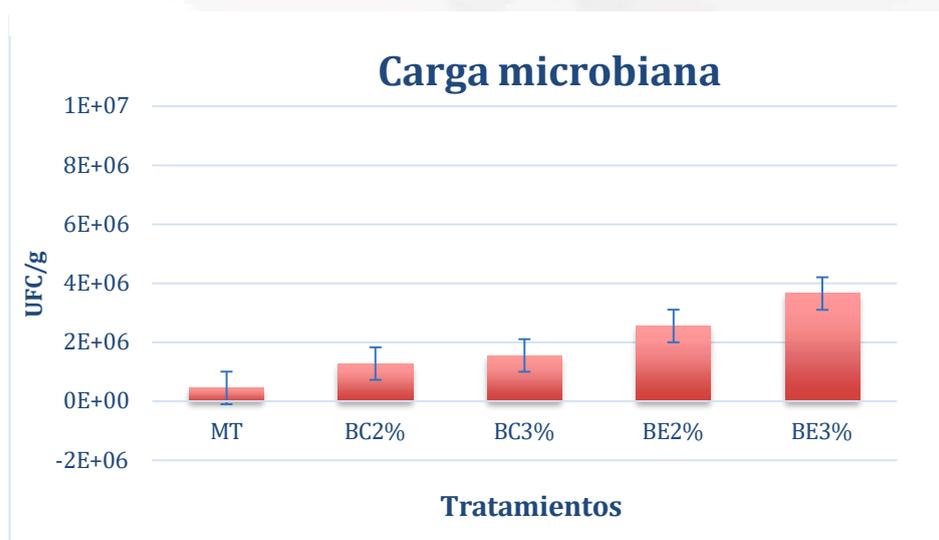


Figura 14. Concentración microbiológica por tratamiento.

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos, de forma general se evidencia la potencialidad del biochar en las variables de los cultivos de arroz evaluados, pudiendo argumentar que siendo el tiempo un aliado en la fijación de nutrientes y favorecedor de la calidad y cantidad de microorganismos al usar biochar, un tiempo más prolongado de exposición en el experimento nos hubiera permitido tener una base más sólida que se pueda relacionar lo expuesto en bibliografía.

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

En suelos que han sufrido un alto grado de meteorización, la retención de nutrientes es un problema muy recurrente. Se ha demostrado que la aplicación del biocarbón en suelos agrícolas como enmienda promueve el crecimiento de las plantas. En general, el aumento del rendimiento de los cultivos y la ingesta de nutrientes podría deberse principalmente a las adiciones directas de nutrientes presentes en el biocarbón aplicado. El rendimiento en la producción de biochar a partir de la biomasa de fuente de residuo agrícola en relación con la de fuente de residuo pecuario fueron cercanos, siendo el de cascarilla 20% y el de estiércol vacuna 19.4%

En el aporte nutricional de cada biochar podemos concluir que el biochar proveniente del estiércol vacuno, presenta mayor porcentaje de nutrientes requeridos como son N, Cu, Fe, Mn, Zn, Ca y Mg, S y P. Además, el contenido de materia orgánica es mucho mayor en el biocarbón cuya biomasa provino de residuos pecuarios.

El análisis de caracterización FTIR nos permitió establecer que el carbono estructural proviene de fuentes de fenoles y alcoholes en el caso del biocarbón a base de cascarilla de arroz, mientras que en la muestra de biochar proveniente de estiércol vacuno existía presencia de grupos carboxilo, fenoles y aromáticos; en ambos casos una fuente del carbono orgánico proviene de la lignina y celulosa.

Al analizar el aprovechamiento agrícola de los tratamientos a distintas concentraciones se evidenció que, si bien existe diferencia significativa que demuestra la variación entre el crecimiento de las plantas sin tratamiento con respecto a las sometidas a cada tratamiento, la variación entre tratamientos con la aplicación de biochar provenientes de diferentes biomásas a concentraciones cercanas, es significativa, como fue el caso de BA 2% y BE 3%. Las propiedades microbianas del suelo son variable sensible a los cambios en el medio y es un indicador de la calidad de los suelos, después de ser aplicados los tratamientos al suelo, posterior a los 21 días, los resultados mostraron relevancia de la concentración microbiológica entre los

suelos con los diferentes tratamientos y la muestra testigo. El biocarbón puede tener el potencial de neutralizar la acidez del suelo, haciéndolo apto para microorganismos y también favoreciendo el aumento de adiciones de carbono orgánico.

Por lo antes expuesto podemos concluir que se puede obtener una mejora en el crecimiento de cultivos a partir de una mejora de las concentraciones de nutrientes al agregar biochar elaborado a partir de desechos agropecuarios y que el biochar elaborado a partir de desechos ganaderos presentan mejores aportes al ser usado como enmienda en suelos desgastados.

5.2 Recomendaciones

Es recomendable para futuras investigaciones:

- Evaluar concentraciones mayores de biochar en los tratamientos de suelo desgastado, con el fin de evaluar si existe un mayor aprovechamiento de los nutrientes a dosis mayores, a su vez realizar pruebas desde la etapa de germinación hasta la de cosecha.
- Evaluar el porcentaje de humedad para determinar la necesidad de un pretratamiento antes de realizar la pirólisis.
- Evaluar la incidencia del uso de biochar como enmienda en periodos más largos, pudiendo ser desde la germinación hasta la cosecha de cultivo a elegir.
- Analizar el tipo de microorganismo presente en el suelo y estudiar el tipo de microorganismo que presenta aumento en su tasa de crecimiento y así poder observar la relación de este fenómeno con el aporte nutricional del biochar a usar.

Bibliografía

- AGROCALIDAD. (2021). Muestreo para Análisis de suelos. In *Nuevos sistemas de comunicación e información*.
- Allohverdi, T., Mohanty, A. K., Roy, P., & Misra, M. (2021). A review on current status of biochar uses in agriculture. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/molecules26185584>
- Basak, B. B., Sarkar, B., Saha, A., Sarkar, A., Mandal, S., Biswas, J. K., Wang, H., & Bolan, N. S. (2022). Revamping highly weathered soils in the tropics with biochar application: What we know and what is needed. *Science of The Total Environment*, 822, 153461. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.153461>
- Ben-Dor, E., & Banin, A. (1989). Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple “loss-on-ignition” method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 20(15–16). <https://doi.org/10.1080/00103628909368175>
- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.084>
- Castilla, L., & Tirado, Y. (2018). *GUÍA PARA LA FERTILIZACIÓN EN EL CULTIVO DE ARROZ*.
- Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z., Pan, G., Li, L., Zheng, J., Zhang, X., Wang, J., & Yu, X. (2013). Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.003>
- Escobar Palacio, J. C., Rúa Orozco, D. J., Silva Lora, E., Venturini, O. J., & Mambeli Barros, R. (2015). Procesos biológicos de conversión. *Bioenergía: Fuentes, Conversión y Sustentabilidad*, 123–164.
- García Montero, R., Pizarro Medina, P., Rodríguez Rastroero, M., José Sierra Herráiz, M., Guirado Torres, M., & Millán Gómez, R. (2021). Biochar y sus

aplicaciones potenciales en el suelo ORIGINAL Biochar and its potential uses in soils. *Técnica Industrial, Marzo*, 328, 44–53. <https://doi.org/10.23800/10503>

- González, O. H. (2021). An approach to the different types of nonprobabilistic sampling. In *Revista Cubana de Medicina General Integral* (Vol. 37, Issue 3).
- Gruss, I., Twardowski, J. P., Latawiec, A., Medyńska-Juraszek, A., & Królczyk, J. (2019). Risk assessment of low-temperature biochar used as soil amendment on soil mesofauna. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05153-7>
- Haque, A. N. A., Uddin, M. K., Sulaiman, M. F., Amin, A. M., Hossain, M., Solaiman, Z. M., & Mosharrof, M. (2021). Biochar with alternate wetting and drying irrigation: A potential technique for paddy soil management. In *Agriculture (Switzerland)* (Vol. 11, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/agriculture11040367>
- Hestrin, R., Torres-Rojas, D., Dynes, J. J., Hook, J. M., Regier, T. Z., Gillespie, A. W., Smernik, R. J., & Lehmann, J. (2019). Fire-derived organic matter retains ammonia through covalent bond formation. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08401-z>
- Jafri, N., Wong, W. Y., Doshi, V., Yoon, L. W., & Cheah, K. H. (2018). A review on production and characterization of biochars for application in direct carbon fuel cells. In *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 118, pp. 152–166). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.036>
- Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., Van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B. P., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R. J., & Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. *Australian Journal of Soil Research*, 48(6–7). <https://doi.org/10.1071/SR10009>
- Kamali, M., Sweygers, N., Al-Salem, S., Appels, L., Aminabhavi, T. M., & Dewil, R. (2022a). Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131189. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2021.131189>
- Kamali, M., Sweygers, N., Al-Salem, S., Appels, L., Aminabhavi, T. M., & Dewil, R. (2022b). Biochar for soil applications-sustainability aspects, challenges and future prospects. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131189. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2021.131189>

- Li, X., Wang, T., Chang, S. X., Jiang, X., & Song, Y. (2020). Biochar increases soil microbial biomass but has variable effects on microbial diversity: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141593>
- Lin, Y., Ma, X., Peng, X., Yu, Z., Fang, S., Lin, Y., & Fan, Y. (2016). Combustion, pyrolysis and char CO₂-gasification characteristics of hydrothermal carbonization solid fuel from municipal solid wastes. *Fuel*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.031>
- López, D. P., Rubio-Clemente, A., & Pérez, J. (2021). Use of biochar as an alternative material for the treatment of polluted wastewater. *UIS Ingenierías*, 20.
- LOZANO REÁTEGUI, R. M., ALEGRE ORIHUELA, J. C., VELAZCO CASTRO, E. V., MENDOZA CARLOS, M. M., & NIETO ITURRI, W. G. (2021). Biocarbón de cáscaras de semilla de palma aceitera enriquecido en biol de estiércol para mejorar suelos sobre pastoreados. *Llamkasun*, 2(2), 15–37. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v2i2.39>
- Martínez C, M. J., España A, J. C., Díaz V, J. D. J., Martínez C, M. J., España A, J. C., & Díaz V, J. D. J. (2017). Effect of Eucalyptus globulus biochar addition on the availability of phosphorus in acidic soil. *Agronomía Colombiana*, 35(1), 75–81. <https://doi.org/10.15446/AGRON.COLOMB.V35N1.58671>
- Martínez-Prado, A., Pérez-López, M. E., Pinto-Espinoza, J., Gurrola-Nevárez, B. A., & Osorio-Rodríguez, A. L. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(3).
- Nikolay, A., Sven, G., Michael, W., & Bernd, S. (2006). *Enrichment of Pinus patula plantations with native species in southern Ecuador* (Vol. 10, Issue 1). <http://www.lyonia.org/downloadPDF.php?pdfID=2.400.1>
- Ochoa, R., Nava, N., & Fusil, D. (2020). EPISTEMOLOGICAL UNDERSTANDING OF THE TESTIST ON QUANTITATIVE, QUALITATIVE AND MIXED INVESTIGATIONS COMPRENSIÓN EPISTEMOLÓGICA DEL TESISTA SOBRE INVESTIGACIONES CUANTITATIVAS, CUALITATIVAS Y MIXTAS. *Revista Científica Electrónica de Ciencias Humanas / Scientific e-Journal of Human Sciences*, 45, 13–22. www.revistaorbis.org.ve/núm45

- Orozco Gutiérrez, G., & Cesar de Lira Fuentes, R. (2020). ELABORACIÓN DEL BIOCARBÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS PROVENIENTE DE LAS PODAS DE BAMBÚ (*Guadua angustifolia*) 1 [ELABORATION OF BIOCHAR FOR THE USE OF RESIDUES FROM BAMBOO (*Guadua angustifolia*) PRUNES WASTES]. In *Revista Mexicana de Agroecosistemas* (Vol. 7, Issue 1).
- Osco, T. C., & Blanco, V. M. (2021). USO DEL BIOCHAR EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA. *Revista Estudiantil AGRO-VET, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés*, 2, 83–87.
- Pang, S. (2019). Advances in thermochemical conversion of woody biomass to energy, fuels and chemicals. In *Biotechnology Advances* (Vol. 37, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.004>
- Penn, C. J., & Camberato, J. J. (2019). A critical review on soil chemical processes that control how soil ph affects phosphorus availability to plants. *Agriculture (Switzerland)*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture9060120>
- Quirós, R., & Ramírez, C. (2019). Rastrojos, materia orgánica y nitrógeno en un arrozal inundado. *Revista de Ciencias Ambientales*, 29(1), 53–62. <https://doi.org/10.15359/rca.29-1.5>
- Rebolledo, A. E., González, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34(3).
- Reyes, M. P., Castro, E. B. N., Scull, Y. S. O., & Fernández, G. P. (2023). Bioabonos con biochar de morera (*Morus alba* L.) en la germinación y desarrollo inicial de *Crotalaria juncea* L. en cepellón. *Avances En Investigación Agropecuaria*, 27(1), ágs 51-64. <https://doi.org/10.53897/REVAIA.23.27.05>
- Roy, D., Datta, A., Jat, H. S., Choudhary, M., Sharma, P. C., Singh, P. K., & Jat, M. L. (2021). Impact of long term conservation agriculture on soil quality under cereal based systems of North West India. *Geoderma*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115391>
- Safaei Khorram, M., Zhang, Q., Lin, D., Zheng, Y., Fang, H., & Yu, Y. (2016). Biochar: A review of its impact on pesticide behavior in soil environments and its potential applications. In *Journal of Environmental Sciences (China)* (Vol. 44, pp. 269–279). Chinese Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.027>

- Suquilanda, M. (2008). El deterioro de los suelos en el Ecuador y la producción agrícola. *XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo XI Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*.
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 55, pp. 467–481). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
- Victoria Cremona, M., & Soledad Enriquez, A. (2020). Presencia N°73-2020 5 ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO QUE CONDICIONAN SU COMPORTAMIENTO. *EEA Bariloche*, 73, 5–8.
- Whalen, E. D., Grandy, A. S., Sokol, N. W., Keiluweit, M., Ernakovich, J., Smith, R. G., & Frey, S. D. (2022). Clarifying the evidence for microbial- and plant-derived soil organic matter, and the path toward a more quantitative understanding. In *Global Change Biology* (Vol. 28, Issue 24). <https://doi.org/10.1111/gcb.16413>
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. In *Biotechnology Reports* (Vol. 28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
- Yang, S., Taylor, D., Yang, D., He, M., Liu, X., & Xu, J. (2021). A synthesis framework using machine learning and spatial bivariate analysis to identify drivers and hotspots of heavy metal pollution of agricultural soils. *Environmental Pollution*, 287. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117611>
- Yu, H., Zou, W., Chen, J., Chen, H., Yu, Z., Huang, J., Tang, H., Wei, X., & Gao, B. (2019). Biochar amendment improves crop production in problem soils: A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 232). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.117>
- Yu, S., Zhang, W., Dong, X., Wang, F., Yang, W., Liu, C., & Chen, D. (2024). A review on recent advances of biochar from agricultural and forestry wastes: Preparation, modification and applications in wastewater treatment. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 12, Issue 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111638>

- Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S., & Xing, B. (2013). Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.018>
- FAO, 2008. Boletín de nutrición fertilizante y vegetal #19. Roma, 220 pp. Cap. 3

Anexo I Datos de Monitoreo

Monitoreo de altura de planta MT																				
Posición																				
Días	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44	51	52	53	54
0	10	7	8	5	6	4	5	7	7	4	5	5	7	5	7	5	7	6	9	7
	9	6	7	4	6	4	5	7	7	4	5	5	7	5	7	5	7	6	9	7
	10	7	8	5	6	4	5	7	8	5	6	6	7	5	7	5	8	7	10	8
3	11	8	9	6	8	6	7	9	8	5	6	6	9	7	9	7	8	7	10	8
	11	11	13	7	8	8	10	13	9	7	9	9	9	9	13	9	9	10	16	12
	11	12	13	8	8	7	9	13	9	8	10	10	9	9	12	9	10	12	17	14
6	13	10	11	8	10	8	9	11	11	8	9	9	11	9	11	9	11	10	13	11
	13	23	27	15	10	16	20	28	11	15	19	19	11	20	27	20	11	22	33	25
	13	22	25	15	10	14	17	24	11	15	18	18	11	17	24	17	11	23	33	26
9	16	13	14	11	12	10	11	13	13	10	11	11	13	11	13	11	13	12	15	13
	15	25	29	18	12	18	22	30	13	17	21	21	13	22	29	22	13	24	35	27
	15	24	27	17	12	16	20	26	13	17	21	21	13	19	26	19	14	25	35	28
12	18	15	16	13	15	13	14	16	15	12	13	13	16	14	16	14	15	14	17	15
	17	27	31	20	14	20	24	32	15	19	23	23	15	24	31	24	15	26	37	29
	17	26	30	19	14	18	22	29	15	19	23	23	15	21	28	21	16	27	37	31
15	21	18	19	16	17	15	16	18	18	15	16	16	18	16	18	16	18	17	20	18
	20	30	33	22	17	23	27	34	17	22	25	25	18	26	34	26	17	28	39	32
	20	29	32	22	17	21	24	31	18	22	25	25	17	23	30	23	18	30	40	33
18	23	20	21	18	20	18	19	21	20	17	18	18	21	19	21	19	20	19	22	20
	22	32	36	25	19	26	29	37	20	24	28	28	20	29	36	29	20	31	42	35

	22	31	34	24	19	23	26	33	20	24	27	27	20	26	33	26	20	32	42	35
21	26	23	24	21	23	21	22	24	23	20	21	21	23	21	23	21	23	22	25	23
	25	35	39	27	22	28	32	39	23	27	31	31	23	32	39	32	22	33	45	37
	25	34	37	27	22	26	29	36	23	27	30	30	22	28	35	28	23	35	45	38
24	28	25	26	23	25	23	24	26	25	22	23	23	26	24	26	24	25	24	27	25
	27	37	41	30	24	31	34	42	25	29	33	33	25	34	41	34	25	36	47	40
	27	36	40	29	24	28	32	39	25	29	33	33	25	31	38	31	26	37	47	41
27	31	28	29	26	28	26	27	29	28	25	26	26	28	26	28	26	28	27	30	28
	30	40	43	32	27	33	37	44	27	32	35	35	28	36	44	36	27	38	49	42
	30	38	42	32	27	31	34	41	28	32	35	35	27	33	40	33	28	39	50	43
30	33	30	31	28	30	28	29	31	30	27	28	28	31	29	31	29	30	29	32	30
	32	42	46	34	29	35	39	47	30	34	38	38	30	39	46	39	30	41	52	44
	32	41	44	34	29	33	36	43	30	34	37	37	30	36	42	36	30	42	52	45
33	35	32	33	30	32	30	31	33	33	30	31	31	33	31	33	31	33	32	35	33
	34	44	48	37	32	38	41	49	32	37	40	40	33	41	49	41	32	43	54	47
	34	43	47	36	31	35	39	45	32	36	40	40	32	38	45	38	33	44	54	48
36	38	35	36	33	35	33	34	36	35	32	33	33	35	33	35	33	35	34	37	35
	37	47	51	39	34	40	44	51	35	39	43	43	35	44	51	44	35	45	57	49
	37	45	49	39	34	38	41	48	35	39	42	42	34	40	47	40	35	47	57	50
39	40	37	38	35	37	35	36	38	37	34	35	35	38	36	38	36	37	36	39	37
	39	49	53	42	36	42	46	54	37	41	45	45	37	46	53	46	37	48	59	51
	39	48	51	41	36	40	43	50	37	41	44	44	37	43	49	43	37	49	59	52
42	43	40	41	38	39	37	38	40	40	37	38	38	40	38	40	38	40	39	42	40
	42	52	55	44	39	45	49	56	39	44	47	47	40	48	56	48	39	50	61	54
	41	50	53	43	38	42	46	52	39	43	47	47	39	45	52	45	40	51	61	55

Monitoreo de longitud de Tallo MT																				
42	7,9	7,3	7,5	6,9	7,3	6,9	7,1	7,4	7,3	6,8	7,0	7,0	7,4	7,0	7,4	7,0	7,3	7,1	7,7	7,3
	7,7	9,5	10,2	8,1	7,1	8,3	9,0	10,3	7,3	8,0	8,7	8,7	7,3	8,9	10,3	8,9	7,2	9,2	11,3	9,9
	7,6	9,2	9,9	8,0	7,0	7,8	8,4	9,7	7,3	8,0	8,6	8,6	7,2	8,3	9,5	8,3	7,3	9,4	11,3	10,0

Recuento microbiológico MT					
	Conteo en placa	Porción	factor 1	factor 2	Recuento
1	8	0,25	4	0	4,00E+05
2	10	0,25	4	0	5,00E+05

Monitoreo de altura de planta tratamiento BA 2%

Monitoreo de altura de planta tratamiento BA 2%																				
Posición																				
días	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44	51	52	53	54
0	9	6	5	6	9	6	6	8	5	5	6	6	5	10	7	5	4	7	8	8
	8	5	4	5	10	7	7	9	4	4	5	5	4	9	6	4	4	7	8	8
	8	5	4	5	9	6	6	8	4	4	5	5	4	9	6	4	4	7	8	8
3	11	8	7	8	11	8	8	10	6	6	7	7	6	11	8	6	6	9	10	10
	10	9	8	9	11	11	11	15	6	7	9	9	6	16	11	7	6	13	14	14
	10	9	7	9	10	10	10	14	6	8	9	9	6	16	10	7	6	12	14	14
6	13	10	9	10	13	10	10	12	8	8	9	9	8	13	10	8	8	11	12	12
	12	18	15	18	13	21	21	28	8	14	18	18	8	31	21	14	8	24	27	27
	12	17	14	17	13	20	20	28	8	15	19	19	8	32	21	14	8	24	28	28
9	15	12	11	12	15	12	12	14	11	11	12	12	11	16	13	11	10	13	14	14
	14	20	17	20	15	24	24	30	10	17	20	20	10	33	23	17	10	26	30	30
	14	19	16	19	15	23	23	30	10	18	21	21	10	34	23	16	10	27	30	30
12	17	14	13	14	17	14	14	16	13	13	14	14	13	18	15	13	12	15	16	16
	16	22	19	22	17	26	26	32	12	19	22	22	12	35	25	19	12	28	32	32
	16	22	18	22	17	25	25	32	12	20	23	23	12	36	25	18	12	29	32	32
15	19	16	15	16	20	17	17	19	15	15	16	16	15	20	17	15	15	18	19	19
	19	24	21	24	20	28	28	35	15	21	24	24	15	37	27	21	15	31	34	34
	19	24	21	24	20	28	28	35	15	22	26	26	15	39	28	21	15	31	35	35
18	22	19	18	19	22	19	19	21	18	18	19	19	17	22	19	17	17	20	21	21
	21	27	24	27	22	30	30	37	17	23	27	27	17	40	30	23	17	33	36	36
	21	27	23	27	22	30	30	37	18	25	29	29	17	41	30	23	17	34	38	38

21	24	21	20	21	24	21	21	23	20	20	21	21	20	25	22	20	20	23	24	24
	24	29	26	29	25	33	33	40	19	26	29	29	19	42	32	26	19	36	39	39
	23	29	26	29	24	32	32	40	20	27	31	31	19	43	33	26	19	36	40	40
24	28	29	27	29	27	29	27	27	29	27	29	27	27	26	28	27	27	29	27	28
	27	47	40	47	27	50	43	43	29	43	49	43	28	42	49	46	27	49	43	46
	27	49	42	49	26	49	42	42	28	41	47	41	28	43	49	46	26	47	41	44
27	31	32	30	32	30	32	30	30	31	29	31	29	30	29	31	30	30	32	30	31
	29	49	42	49	29	52	46	46	31	45	52	45	30	45	51	48	29	52	45	48
	30	51	45	51	29	51	45	45	30	43	50	43	30	45	52	49	28	50	43	47
30	33	34	32	34	32	34	32	32	34	32	34	32	32	31	33	32	32	34	32	33
	32	51	45	51	32	55	48	48	33	47	54	47	32	47	54	50	31	54	47	51
	32	53	47	53	31	53	47	47	33	45	52	45	32	48	54	51	31	52	46	49
33	36	37	35	37	34	36	34	34	36	34	36	34	35	34	36	35	34	36	34	35
	34	54	47	54	34	57	50	50	36	50	56	50	35	49	56	53	34	56	50	53
	34	56	49	56	33	56	49	49	35	48	54	48	35	50	56	53	33	54	48	51
36	38	39	37	39	37	39	37	37	39	37	39	37	37	36	38	37	37	39	37	38
	36	56	49	56	36	59	53	53	38	52	59	52	37	52	58	55	36	59	52	55
	37	58	52	58	36	58	52	52	37	50	57	50	37	52	59	56	36	57	50	54
39	40	41	39	41	39	41	39	39	41	39	41	39	40	39	41	40	39	41	39	40
	38	58	51	58	38	61	55	55	40	54	61	54	39	54	60	57	38	61	54	57
	39	61	54	61	38	61	54	54	40	52	59	52	40	55	61	58	38	59	53	56
42	43	44	42	44	42	44	42	42	43	41	43	41	42	41	43	42	42	44	42	43
	41	61	54	61	41	64	57	57	43	57	63	57	42	56	63	60	41	63	57	60
	42	63	56	63	41	63	56	56	42	55	61	55	42	57	64	60	40	62	55	58

Monitoreo de longitud de Tallo BA 2%																				
	8,3	8,5	8,1	8,5	8,1	8,5	8,1	8,1	8,4	8,0	8,4	8,0	8,2	8,0	8,4	8,2	8,1	8,5	8,1	8,3
	7,9	11,8	10,5	11,8	7,9	12,4	11,1	11,1	8,3	11,0	12,3	11,0	8,1	10,9	12,2	11,6	7,9	12,3	11,0	11,6
42	8,1	12,3	11,0	12,3	7,9	12,3	11,0	11,0	8,2	10,7	11,9	10,7	8,1	11,1	12,4	11,8	7,8	12,0	10,7	11,4

Recuento microbiológico BA 2%					
	Conteo	Porción	factor 1	factor 2	Recuento
1	23	0,25	4	4	1,15E+06
2	28	0,25	4	4	1,40E+06

Monitoreo de altura de planta tratamiento BA 3%

Monitoreo de altura de planta tratamiento BA 3%																				
Posición																				
días	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44	51	52	53	54
0	4	9	4	5	9	7	9	4	9	10	5	9	7	10	7	9	4	7	7	7
	5	10	5	6	9	7	9	4	8	9	4	8	6	9	6	8	4	7	7	7
	4	9	4	5	9	7	9	4	9	10	5	9	6	9	6	8	4	7	7	7
3	6	11	6	7	11	9	11	6	11	12	7	11	8	11	8	10	5	8	8	8
	6	17	8	10	11	13	17	8	10	16	7	14	7	16	10	14	6	13	13	13
	6	16	7	9	11	13	16	8	10	17	8	15	8	16	10	14	6	13	13	13
6	8	13	8	9	12	10	12	7	12	13	8	12	10	13	10	12	7	10	10	10
	8	32	15	19	13	25	32	15	12	30	13	27	9	30	19	26	8	25	25	25
	8	33	15	19	13	26	34	16	12	34	16	31	10	32	21	28	8	26	26	26
9	10	15	10	11	14	12	14	9	14	15	10	14	12	15	12	14	9	12	12	12
	10	35	18	21	15	27	34	17	14	32	15	29	12	32	22	28	10	27	27	27
	10	35	17	21	15	28	36	18	14	36	18	33	12	34	23	30	10	28	28	28
12	12	17	12	13	17	15	17	12	17	18	13	17	14	17	14	16	11	14	14	14
	13	37	20	23	18	30	36	19	16	35	18	31	14	34	24	31	13	30	30	30
	12	38	20	23	18	31	38	20	17	39	21	35	14	36	25	33	12	30	30	30
15	15	20	15	16	19	17	19	14	19	20	15	19	17	20	17	19	14	17	17	17
	15	40	23	26	20	32	39	22	19	37	20	34	17	37	27	34	15	32	32	32
	15	40	22	26	20	33	41	23	19	41	23	38	17	39	28	35	15	33	33	33
18	17	22	17	18	22	20	22	17	22	23	18	22	20	23	20	22	17	20	20	20
	18	42	25	29	23	35	42	25	21	40	23	37	19	40	29	36	18	35	35	35
	17	43	25	28	23	36	43	25	22	44	26	40	19	41	31	38	17	35	35	35

21	20	25	20	21	24	22	24	19	24	25	20	24	22	25	22	24	19	22	22	22
	21	45	28	31	26	37	44	27	24	43	26	39	22	42	32	39	21	38	38	38
	20	45	27	31	25	38	46	27	24	46	28	43	22	44	33	40	20	38	38	38
24	32	28	29	32	27	27	28	31	28	30	28	28	28	30	27	31	29	29	30	29
	31	47	51	62	27	48	52	63	27	55	47	47	29	60	49	64	29	56	59	56
	31	44	47	57	27	45	48	58	27	53	46	46	28	56	45	59	29	51	54	51
27	34	30	31	34	30	30	31	34	30	32	30	30	31	33	30	34	32	32	33	32
	34	50	53	64	30	51	54	65	30	57	50	50	31	63	51	66	32	58	62	58
	33	46	50	60	29	47	51	61	30	55	49	49	31	58	48	61	31	53	57	53
30	37	33	34	37	32	32	33	36	33	35	33	33	33	35	32	36	34	34	35	34
	36	52	56	67	32	53	57	68	32	60	52	52	34	65	54	69	35	61	65	61
	35	48	52	62	32	49	53	63	32	58	51	51	33	60	50	64	33	55	59	55
33	39	35	36	39	35	35	36	39	35	37	35	35	36	38	35	39	37	37	38	37
	38	54	58	69	35	55	59	70	35	62	55	55	36	67	56	71	37	63	67	63
	38	51	54	64	34	52	55	65	34	60	53	53	35	63	52	66	36	58	61	58
36	41	37	38	41	37	37	38	41	37	39	37	37	38	40	37	41	39	39	40	39
	41	57	60	71	37	58	61	72	37	64	57	57	38	69	58	73	39	65	69	65
	40	53	56	66	36	54	57	67	37	62	55	55	37	65	55	68	38	60	63	60
39	44	40	41	44	39	39	40	43	40	42	40	40	40	42	39	43	41	41	42	41
	43	59	63	74	39	60	64	75	39	67	59	59	40	72	61	75	41	68	71	68
	42	55	59	69	38	56	60	70	39	64	58	58	40	67	57	70	40	62	66	62
42	46	42	43	46	42	42	43	46	42	44	42	42	43	45	42	46	44	44	45	44
	45	61	65	76	42	62	66	77	42	69	62	62	43	74	63	78	44	70	74	70
	45	58	61	71	41	59	62	72	41	67	60	60	42	69	59	73	43	65	68	65

Monitoreo de longitud de Tallo BA 3%																				
	8,2	7,5	7,7	8,2	7,5	7,5	7,7	8,2	7,6	7,9	7,6	7,6	7,7	8,0	7,5	8,2	7,8	7,8	8,0	7,8
	8,2	11,0	11,7	13,7	7,5	11,2	11,9	13,9	7,5	12,4	11,1	11,1	7,7	13,3	11,3	14,0	7,9	12,6	13,3	12,6
42	8,0	10,4	11,0	12,8	7,3	10,5	11,1	13,0	7,4	12,0	10,8	10,8	7,6	12,5	10,7	13,1	7,7	11,6	12,2	11,6

Recuento microbiológico BA 3%					
	conteo	porción	factor 1	factor 2	recuento
1	32	0,25	4	4	1,60E+06
2	30	0,25	4	4	1,50E+06

Monitoreo de altura de planta tratamiento ME 2%

Monitoreo de altura de planta tratamiento ME 2%																				
Posición																				
días	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44	51	52	53	54
0	8	8	4	4	9	9	9	4	7	9	6	6	8	6	4	4	5	6	7	5
	9	9	5	5	9	9	9	4	7	9	6	6	8	6	4	4	5	6	7	5
	9	9	5	5	10	10	10	5	7	9	6	6	8	6	4	4	5	6	7	5
3	9	9	5	5	11	11	11	6	9	11	8	8	10	8	6	6	7	8	9	7
	11	16	8	8	11	16	16	7	8	15	10	10	10	11	8	8	7	11	13	10
	11	16	8	8	11	17	17	8	9	16	11	11	10	10	7	7	7	11	13	9
6	11	11	7	7	13	13	13	8	11	13	10	10	12	10	8	8	9	10	11	9
	13	31	17	17	13	33	33	15	10	31	20	20	12	23	16	16	9	23	26	19
	12	29	16	16	13	32	32	15	11	30	20	20	11	20	13	13	9	21	24	17
9	13	13	9	9	15	15	15	10	13	15	12	12	14	12	10	10	11	12	13	11
	15	33	19	19	15	35	35	17	12	33	22	22	14	25	18	18	11	25	28	21
	15	32	18	18	15	34	34	17	13	33	23	23	14	22	15	15	11	23	26	19
12	15	15	11	11	17	17	17	12	15	17	14	14	16	14	12	12	13	14	15	13
	17	36	21	21	17	37	37	19	15	35	25	25	17	27	20	20	14	27	31	24
	17	34	20	20	17	36	36	20	15	35	25	25	16	24	17	17	13	25	28	22
15	18	18	14	14	19	19	19	14	17	19	16	16	18	16	14	14	16	17	18	16
	20	38	24	24	20	40	40	22	17	38	27	27	19	30	23	23	16	30	33	26
	19	36	23	23	20	39	39	22	17	37	27	27	18	26	20	20	16	27	31	24
18	20	20	16	16	22	22	22	17	20	22	19	19	21	19	17	17	18	19	20	18

	22	41	27	27	22	42	42	25	20	41	30	30	22	32	25	25	19	32	36	29
	22	39	25	25	22	41	41	24	20	40	30	30	21	29	22	22	18	30	33	26
21	23	23	19	19	24	24	24	19	23	25	22	22	23	21	19	19	21	22	23	21
	24	43	29	29	25	45	45	27	22	43	32	32	24	35	28	28	21	35	38	31
	24	41	28	28	25	44	44	27	22	42	32	32	23	31	25	25	21	32	36	29
24	28	29	30	31	32	31	30	28	30	32	31	29	30	31	28	31	30	28	29	27
	27	49	52	55	31	55	52	45	29	57	54	48	29	55	46	55	30	49	52	45
	28	49	52	55	32	56	52	46	29	57	54	47	30	55	45	55	30	47	50	44
27	31	32	33	34	35	34	33	31	32	34	33	31	32	33	30	33	33	31	32	30
	30	51	54	58	34	58	54	48	32	60	57	50	32	58	48	58	33	51	54	48
	30	51	55	58	34	58	55	48	32	60	56	50	32	57	48	57	33	49	53	46
30	33	34	35	36	37	36	35	33	35	37	36	34	35	36	33	36	35	33	34	32
	32	53	57	60	36	60	57	50	34	62	59	53	34	60	51	60	35	53	57	50
	33	54	57	60	37	60	57	51	34	62	59	52	34	59	50	59	35	52	55	48
33	35	36	37	38	40	39	38	36	37	39	38	36	37	38	35	38	38	36	37	35
	35	56	59	62	39	62	59	53	36	65	61	55	37	63	53	63	38	56	59	53
	35	56	59	62	39	63	60	53	36	64	61	54	37	62	52	62	37	54	57	51
36	38	39	40	41	42	41	40	38	39	41	40	38	39	40	37	40	40	38	39	37
	37	58	62	65	41	65	62	55	39	67	64	57	39	65	55	65	40	58	62	55
	37	58	62	65	41	65	62	55	39	66	63	57	39	64	54	64	40	56	60	53
39	40	41	42	43	44	43	42	40	42	44	43	41	42	43	40	43	42	40	41	39
	39	61	64	67	43	67	64	57	41	69	66	60	41	67	58	67	42	61	64	57
	40	61	64	67	44	67	64	58	41	69	65	59	41	66	57	66	42	59	62	55
42	42	43	44	45	47	46	45	43	44	46	45	43	44	45	42	45	45	43	44	42
	42	63	66	70	46	70	66	60	43	72	69	62	44	70	60	70	45	63	66	60
	42	63	66	69	46	70	66	60	43	71	68	61	44	69	59	69	44	61	64	58

Monitoreo de longitud de Tallo BE 2%																				
	7,6	7,7	7,9	8,1	8,3	8,1	8,0	7,6	7,8	8,2	8,0	7,7	7,8	8,0	7,5	8,0	8,0	7,6	7,8	7,4
	7,4	11,2	11,8	12,4	8,2	12,4	11,8	10,7	7,7	12,8	12,2	11,1	7,8	12,5	10,7	12,5	8,0	11,2	11,8	10,7
42	7,5	11,2	11,8	12,4	8,2	12,4	11,8	10,7	7,7	12,7	12,1	10,9	7,8	12,3	10,5	12,3	7,9	10,9	11,4	10,3

Recuento microbiológico BE 2%					
	conteo	porción	factor 1	factor 2	recuento
1	53	0,25	4	4	2,65E+06
2	49	0,25	4	4	2,45E+06

Monitoreo de altura de planta tratamiento BE 3%																				
		Posición																		
días	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	33	34	41	42	43	44	51	52	53	54
0	6	9	4	9	8	8	4	5	5	8	7	6	10	7	8	5	8	9	6	7
	6	9	4	9	8	8	4	5	4	7	6	5	9	6	7	4	7	8	5	6
	7	10	5	10	9	9	5	6	4	7	6	5	9	6	7	4	7	8	5	6
3	8	11	6	11	10	10	6	7	6	9	8	7	12	9	10	7	9	10	7	8
	8	15	7	15	10	14	7	9	6	13	11	9	11	11	12	7	9	14	9	11
	8	17	8	17	11	16	9	10	6	12	10	9	11	11	13	7	9	14	9	11
6	10	13	8	13	12	12	8	9	8	11	10	9	14	11	12	9	11	12	9	10
	10	30	13	30	12	28	14	17	8	25	21	18	13	21	25	14	11	29	18	22
	10	31	15	31	12	29	16	19	7	22	19	16	13	20	23	13	11	26	16	19
9	12	15	10	15	14	14	10	11	10	13	12	11	16	13	14	11	13	14	11	12
	12	33	15	33	14	30	16	20	10	27	24	20	15	23	27	17	13	31	21	24
	13	34	17	34	15	31	18	21	10	25	21	18	15	22	26	16	13	28	18	22
12	14	17	12	17	17	17	13	14	13	16	15	14	18	15	16	13	16	17	14	15
	14	35	18	35	16	32	18	22	12	29	26	22	17	25	29	19	15	33	23	26
	15	36	20	36	17	34	21	24	12	27	24	21	18	25	28	18	15	31	21	24
15	17	20	15	20	19	19	15	16	15	18	17	16	21	18	19	16	18	19	16	17
	16	37	20	37	19	34	21	24	15	32	28	25	20	28	31	21	18	35	25	29
	18	39	22	39	20	36	23	26	15	30	26	23	20	27	31	21	18	33	23	27
18	19	22	17	22	22	22	18	19	18	21	20	19	23	20	21	18	21	22	19	20
	19	40	23	40	21	37	23	27	17	34	31	27	22	30	34	24	20	38	28	31
	20	41	25	41	22	38	25	29	17	32	29	25	22	30	33	23	20	35	26	29
21	22	25	20	25	24	24	20	21	20	23	22	21	26	23	24	21	23	24	21	22

	21	42	25	42	24	39	26	29	20	37	33	30	25	33	36	26	23	40	30	34
	22	43	27	43	24	41	28	31	19	34	31	28	25	32	35	25	22	38	28	31
24	30	34	32	33	32	31	32	30	33	34	31	32	32	32	34	33	32	32	29	31
	30	65	59	62	32	56	59	52	33	67	57	60	32	61	67	64	32	59	49	56
	30	69	62	65	32	57	60	53	33	69	58	62	32	61	68	64	32	60	50	57
27	32	36	34	35	34	33	34	32	36	37	34	35	34	34	36	35	34	34	31	33
	32	68	61	65	34	58	62	55	36	69	59	63	35	63	70	67	34	62	52	58
	32	71	64	68	34	59	62	56	35	71	60	64	34	63	70	67	34	62	52	59
30	35	39	37	38	37	36	37	35	38	39	36	37	37	37	39	38	37	37	34	36
	35	70	64	67	37	61	64	57	38	72	62	65	37	66	72	69	37	64	54	61
	35	74	67	70	36	61	65	58	38	73	63	66	36	65	72	69	36	65	54	61
33	37	41	39	40	39	38	39	37	41	42	39	40	39	39	41	40	39	39	36	38
	37	73	66	69	39	63	66	60	40	74	64	67	40	68	75	71	39	66	56	63
	37	76	69	72	38	63	67	60	40	75	65	68	39	68	75	71	38	67	57	63
36	39	43	41	42	41	40	41	39	43	44	41	42	41	41	43	42	41	41	38	40
	39	75	68	72	41	65	69	62	43	76	66	70	42	70	77	74	41	69	59	65
	39	78	71	75	41	66	69	62	42	78	67	71	41	70	77	74	41	69	59	66
39	42	46	44	45	44	43	44	42	45	46	43	44	44	44	46	45	44	44	41	43
	42	77	71	74	44	68	71	64	45	79	69	72	44	73	79	76	44	71	61	68
	41	80	73	77	43	68	72	65	44	80	69	73	43	72	79	76	43	72	61	68
42	44	48	46	47	46	45	46	44	48	49	46	47	46	46	48	47	46	46	43	45
	44	80	73	76	46	70	73	67	48	81	71	74	47	75	82	78	46	73	63	70
	44	83	76	79	45	70	74	67	47	82	72	75	45	74	81	78	45	74	63	70

Monitoreo de longitud de Tallo BE 3%																				
	7,7	8,4	8,1	8,2	8,1	7,9	8,1	7,7	8,4	8,6	8,0	8,2	8,1	8,1	8,5	8,3	8,1	8,1	7,6	7,9
	7,8	14,0	12,9	13,4	8,1	12,3	12,9	11,7	8,4	14,3	12,5	13,1	8,2	13,2	14,4	13,8	8,1	12,9	11,2	12,3
42	7,7	14,5	13,3	13,9	7,9	12,4	13,0	11,7	8,2	14,4	12,6	13,2	8,0	13,1	14,3	13,7	7,9	13,0	11,1	12,4

Recuento microbiológico BE 3%					
	conteo	porción	factor 1	factor 2	recuento
1	70	0,25	4	4	3,50E+06
2	76	0,25	4	4	3,80E+06

Anexo II

Análisis de varianza de un factor. Altura de plantas antes del tratamiento

Obtenido los datos primarios del monitoreo del crecimiento de las plantas, se realizó una evaluación de relación entre las medias de los grupos (contenedores) previo a la aplicación de ellos tratamientos.

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
MT	20	556.209333	27.8104667	18.9870807
BA2%	20	544.660293	27.2330147	25.7183325
BA3%	20	593.68628	29.684314	38.8392123
BE2%	20	560.2373	28.011865	28.4960754
BE3%	20	557.359173	27.8679587	24.805216

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	68.096	4	17.024	0.6220	0.64791	2.4675
Dentro de los grupos	2600.07	95	27.369			
Total	2668.1	99				

UNEMI
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

