

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Efectos del biocarbón derivado del raquis de banano en la
microflora de un suelo forestal, en el área de la concesión
forestal tumbes – 2022**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio
Ambiente

Autor: Bach. Noriega Peña, Greisy Clarita

Tumbes, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Efectos del biocarbón derivado del raquis de banano en la
microflora de un suelo forestal, en el área de la concesión
forestal tumbes – 2022**

Tesis Aprobada en forma y estilo por:

Dr. Francisco Alburquerque Viera



Presidente

Dr. Miguel Antonio Puestas Chully



Secretario

Mg. Victor Santos Guzmán Tripul



Vocal

Tumbes, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL Y MEDIO
AMBIENTE



**Efectos del biocarbón derivado del raquis de banano en la
microflora de un suelo forestal, en el área de la concesión
forestal tumbes – 2022**

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y
forma:

Br. Noriega Peña, Greisy Clarita

Autor

Dr. Gerardo Juan F. Cruz Cerro

Asesor

Dr. Miguel Angel, Garrido Rondoy

Co-Asesor

Tumbes, 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA**



ANEXO VIII
"AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los 19 días del mes de diciembre del dos mil veintitrés, siendo las dieciocho horas, en el aula F2 Pabellón Escuela Ingeniería Forestal y Medio Ambiente ciudad universitaria, se reunieron el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, designado por Resolución N° 0120-2022/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, Dr. FRANCISCO ALBUQUEQUE VIERA, (Presidente) Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY, (Secretario), Mg. VICTOR SANTOS GUZMAN TRIPUL (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al Dr. GERARDO JUAN FRANCISCO CRUZ CERRO como asesor, Dr. MIGUEL ANGEL GARRIDO RONDOY, como Co-Asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: **"Efecto del biacarbón derivado del raquis de banano en la microflora de un suelo forestal, en el área de la concesión forestal Tumbes- 2022"**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, presentado por la : **Bach. GREISY CLARITA NORIEGA PEÑA**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 65 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la **Bach. GREISY CLARITA NORIEGA PEÑA, aprobado, con calificativo**

Bueno

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda *expedido* para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las *Diecinueve* horas y *cinco* minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, *19 de Diciembre de 2023*

DR. FRANCISCO ALBUQUEQUE VIERA DNI N° <i>03605124</i> CODIGO ORCID <i>0000-0002-7468-5386</i> PRESIDENTE	DR. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY DNI N° <i>02660522</i> CODIGO ORCID <i>0000-0003-1979-9572</i> SECRETARIO
 Mg. VICTOR SANTOS GUZMAN TRIPUL DNI N° <i>18030530</i> CODIGO ORCID <i>0000-0002-5304-0407</i> VOCAL	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
JMI/JCO

Informe final de tesis Greisy Noriega

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	1library.co Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	revistafcaunlz.gramaweb.com.ar Fuente de Internet	1%
7	Tasha R. Inniss, Michael O. Ball. "Estimating One-Parameter Airport Arrival Capacity Distributions for Air Traffic Flow Management", Air Traffic Control Quarterly, 2004 Publicación	<1%

terralatinoamericana.org.mx

Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Codigo ORCID N° 0000-001-6096-0183

8	Fuente de Internet	<1 %
9	www.agriculturejournals.cz Fuente de Internet	<1 %
10	www.cio.mx Fuente de Internet	<1 %
11	pmcarbono.org Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.chapingo.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
13	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
14	Qi Fu, Yingbo Qiu, Jiayi Zhao, Jiaxin Li et al. "Monotonic trends of soil microbiomes, metagenomic and metabolomic functioning across ecosystems along water gradients in the Altai region, northwestern China", Science of The Total Environment, 2024 Publicación	<1 %
15	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.xoc.uam.mx Fuente de Internet	<1 %
17	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %



Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Codigo ORCID N° 0000-001-6096-0183

18	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	revistas.unilibre.edu.co Fuente de Internet	<1 %
20	www.agroparlamento.com Fuente de Internet	<1 %
21	livrosdeamor.com.br Fuente de Internet	<1 %
22	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	saber.ucab.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
24	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	congreso2022.suelos.org.ar Fuente de Internet	<1 %
26	eprints.lib.hokudai.ac.jp Fuente de Internet	<1 %
27	publicaciones.fedepalma.org Fuente de Internet	<1 %
28	bdigital.zamorano.edu Fuente de Internet	<1 %
29	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %



Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Código ORCID N° 0000-001-6096-0183

30	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
31	digitum.um.es Fuente de Internet	<1 %
32	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
33	jurnal.uns.ac.id Fuente de Internet	<1 %
34	jebas.org Fuente de Internet	<1 %

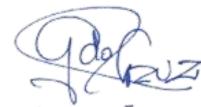
Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro
Codigo ORCID N° 0000-001-6096-0183

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a Dios, por la fortaleza y sabiduría que me otorgó y de esta manera poder cumplir con el objetivo de llegar a ser profesional con vocación de servicio.

A la vez dedico también este trabajo a mis padres Eduardo y Yanet, por inculcarme valores y hábitos en esta travesía universitaria.

Y a todos que aportaron con sus ánimos, enseñanzas, consejos para que me desarrollo como estudiante y futura Ingeniera Forestal y Medio Ambiente.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por protegerme durante mi camino y darme fuerzas para superar cada obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres Eduardo y Yanet, por su demostración de enseñanzas y valores, y por no dejarme desmayar ante los obstáculos de la vida, también por conducirme por el camino del bien.

A la universidad Nacional de Tumbes, a los profesores y amigos que conocí y están presentes en cada momento de mi vida.

Agradezco también a mi asesor al Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro y a mi co- asesor el Dr. Miguel Ángel Garrido Rondoy, por sus enseñanzas en este trabajo de investigación. A todas las personas que estuvieron siempre alentándome en cada momento.

Índice de contenido

I.	Introducción	19
II.	Revisión Literaria (Estado del Arte)	21
III.	Materiales y Métodos	28
3.1.	Zona de estudio	28
3.2.	Muestreo de suelo	29
3.3.	Producción de biocarbón	29
3.3.1.	Recolección de muestra y acondicionamiento de materia prima	29
3.3.2.	Producción de biocarbón	30
3.4.	Caracterización de biocarbón de raquis de banano	31
3.4.1.	Determinar pH carga cero	31
3.4.2.	Determinación de humedad (%)	32
3.4.3.	Determinación de contenido de ceniza	33
3.4.4.	Análisis elemental del biocarbón utilizado	34
3.5.	Tratamientos considerados en el estudio	34
3.6.	Pruebas microbiológicas aplicados a los tratamientos	35
3.6.1.	Análisis microbiológico	36
3.7.	Diagrama de flujo	37
IV.	Resultado Y Discusión	38
4.1.	Rendimiento en la producción de biocarbón de raquis de banano	38
4.2.	Caracterización del biocarbón del raquis de banano	39
4.2.1.	Contenido de humedad (%)	39
4.2.2.	Contenido de ceniza (%)	39
4.2.3.	pH carga cero	39
4.2.4.	Análisis elemental del biocarbón utilizado	40
4.3.	Pruebas microbiológicas	42
4.3.1.	Análisis microbiano	42

4.4. Discusiones	47
V. Conclusiones y Recomendaciones	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones	50
VI. Referencias bibliográficas	51

Índice de tablas

Tabla 1. Aplicación del tratamiento hito A y B.	35
Tabla 2. <i>Unidades experimentales de cada tratamiento.</i>	36
Tabla 3. Rendimiento de producción de biocarbón de raquis de banano.	38
Tabla 4. Contenido de humedad del biocarbón del raquis de banano.	39
Tabla 5. Contenido de ceniza del biocarbón de raquis de banano	39
Tabla 6. Elementos minerales y concentración del biocarbón derivado del raquis de banano.	40
Tabla 7. <i>Coordenadas del área concesión forestal</i>	59
Tabla 8. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito A" del testigo.</i>	64
Tabla 9. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T1 – SF + 0,5B.</i>	64
Tabla 10. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T2 – SF + 1,5B.</i>	65
Tabla 11. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T3 – SF + 3B.</i>	65
Tabla 12. Población de Análisis Microbiano "Hito B" del testigo.	66
Tabla 13. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito B " del T1 – SF + 0,5B.</i>	66
Tabla 14. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito B" del T2 – SF + 1,5B.</i>	67
Tabla 15. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito B" del T3 – SF + 3B.</i>	67
Tabla 16. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito A" de los tratamientos.</i>	68
Tabla 17. <i>Población de Análisis Microbiano "Hito B" de los tratamientos.</i>	68

Índice de figuras

Figura 1. Mapa satelital de la concesión de la UNTumbes.	28
Figura 2. Muestreo de suelo "hito A y B".	29
Figura 3. a) <i>Materia Prima</i> b) <i>Secado de Materia Prima a Temperatura Ambiente</i> c) <i>Molino Triturador</i> d) <i>Materia Prima Molida</i>	30
Figura 4. a) <i>Ingreso de materia prima en el horno tabular</i> b) <i>Lavado de biocarbón con agua destilada caliente</i> c) <i>Tamizado de biocarbón</i> d) <i>Biocarbón tamizado</i>	31
Figura 5. a) <i>Agitador Orbital</i> b) <i>Medición pH</i>	32
Figura 6. a) <i>Peso de biocarbón en la balanza analítica</i> b) <i>Secado en horno</i>	33
Figura 7. a) <i>Biocarbón en la Mufla</i> b) <i>Biocarbón en el Desecador</i> c) <i>Peso de Biocarbón</i>	34
Figura 8. a) <i>Pesaje de la muestra de Biocarbón</i> b) <i>Homogenización de Biocarbón y suelo forestal</i> c) <i>Tratamientos</i>	35
Figura 9. <i>Pruebas de análisis y población microbiana</i>	36
Figura 10. <i>Diagrama de flujo de la investigación</i>	37
Figura 11. Resultado del pH inicial y final de carga cero.	40
Figura 12. Unidades formadoras de colonias los géneros comprometidos con la degradación de la materia orgánica.	43
Figura 13. Unidades formadoras de colonias de bacterias comprometidas con la degradación de la materia orgánica.	44
Figura 14. Población microbiana promedio en los Hito A. Testigo, Tratamiento 1, tratamiento 2 y Tratamiento 3.	45
Figura 15. Población microbiana promedio entre los tratamientos en el Hito A. ..	45
Figura 16. Población microbiana en los días de evaluación en el Hito B. a) testigo. b) T1 – SF + 0,5B. c) T2 – SF + 1,5B. d) T3 – SF + 3B.	46
Figura 17. Población de degradadores de materia orgánica y población total en el Hito B.	47
Figura 18. a) <i>Medición de profundidad de la muestra</i> b) <i>Muestra de suelo</i>	59
Figura 19. <i>Testigo Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4</i>	60
Figura 20. <i>Tratamiento 1 - 0,5% biocarbón Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4</i>	60

Figura 21. <i>Tratamiento 2 – 1,5 % Biocarbón Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.</i>	61
Figura 22. <i>Tratamiento 3 – 3 % Biocarbón Hito A a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.</i>	61
Figura 23. <i>Testigo Hito B. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.</i>	62
Figura 24. <i>Tratamiento 1- 0. 5% Biocarbón a) Repetición 1 b) Repetición 2 c) Repetición 3 d) Repetición 4</i>	62
Figura 25. <i>Tratamiento 2- 1.5 % Biocarbón Hito B. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.</i>	63
Figura 26. <i>Tratamiento 3 - 3 % Biocarbón. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición.</i>	63

Índice de anexos

Anexo 1. Coordenadas del área de concesión forestal – Untumbes	59
Anexo 2. Muestreo de suelo	59
Anexo 3. Resultados de las pruebas microbiológicas	60
Anexo 4. Tablas de análisis microbiano	64

Resumen

En este estudio, nuestro objetivo fue analizar cómo el biocarbón obtenido del banano afecta el microbioma del suelo forestal en el área de concesión de investigación de la Universidad Nacional de Tumbes.

Para llevar a cabo este proceso se tomaron ocho muestras de suelo a una profundidad de 20 cm en dos puntos de muestreo identificados como A y B dentro del área de concesión. La producción de biocarbón a partir de tallos de plátano se llevó a cabo utilizando un horno tubular bajo una atmósfera de N₂ a 600°C durante 2 horas. El producto obtenido se lavó con agua destilada y luego se secó en estufa a 80°C hasta alcanzar peso constante.

Además, se realizaron análisis básicos para caracterizar el biocarbón, incluida la determinación del punto de pH sin carga (pH PZC), contenido de humedad, contenido de cenizas y análisis elemental. El biocarbón fue combinado con el suelo forestal recolectado en diversos porcentajes, teniendo 3 tratamientos (0,5 %, 1,5 % y 3 % de biocarbón) y un testigo (0 % biocarbón) aplicado a cada hito.

Los resultados muestran que el género *Aspergillus* se encontró en mayor proporción en las áreas de evaluación, especialmente en el Hito B. Luego se encontró la presencia de *Penicillium* y *Rhizopus*. En el caso de las bacterias, estas tienden a aumentar en los tres tratamientos del hito B, para el caso del hito A los tratamientos con 0,5 y 1 % de biocarbón fueron los que mejor incremento tuvieron.

Palabras Claves: Biocarbón, Población Microbiana, Pruebas Microbiana.

Abstract

In this study, we aimed to analyze how biochar obtained from banana affects the forest soil microbiome in the research concession area of the National University of Tumbes.

To carry out this process, eight soil samples were taken at a depth of 20 cm at two sampling points identified as A and B within the concession area. The production of biochar from banana stems was carried out using a tube furnace under a N₂ atmosphere at 600°C for 2 hours. The product obtained was washed with distilled water and then dried in an oven at 80°C until reaching a constant weight.

In addition, basic analyzes were performed to characterize the biochar, including determination of uncharged pH point (pH PZC), moisture content, ash content, and elemental analysis. The biochar was combined with the collected forest soil in various percentages, having 3 treatments (0.5%, 1.5% and 3% biochar) and a control (0% biochar) applied to each milestone.

The results show that the *Aspergillus* genus was found in a greater proportion in the evaluation areas, especially in Milestone B. Then the presence of *Penicillium* and *Rhizopus* was found. In the case of bacteria, these tend to increase in the three treatments of milestone B, in the case of milestone A, treatments with 0.5 and 1 % of biochar had the best increase.

Keywords: Biochar, Microbial Population, Microbial Testing.

I. Introducción

Los estudios realizados en todo el mundo sobre el biocarbón destacan las ventajas de aplicarlo a enfoques de gestión agronómica destinados a aumentar la productividad y preservar los ecosistemas agrícolas (Escalante et al., 2016). El uso de biocarbón como agente para mejorar la calidad del suelo ha sido validado porque aumenta la disponibilidad de agua y materia orgánica, optimiza el ciclo de nutrientes, reduce la densidad aparente, actúa como agente cal y reduce la pérdida de nutrientes por infiltración en el agua subterránea (Panwar et al., 2019). Además, mejora las propiedades físicas y químicas del suelo aumentando su capacidad para retener humedad y nutrientes, equilibrando el pH de los suelos ácidos y creando un ambiente favorable para la colonización microbiana (Santamaria & Rossignoli, 2021).

Actualmente, la producción de biocarbón y su uso como enmienda del suelo ha cobrado gran importancia en la comunidad científica debido a sus beneficios ambientales (Lehmann & Joseph, 2015). Actualmente ya se aplica el uso de la tecnología y se realiza cada vez más investigaciones de biocarbón como una alternativa potencial para hacer frente a la problemática de degradación del suelo, y así contribuir en la recuperación de su fertilidad y la retención de carbono, como la aplicación de biocarbón, considerado un subproducto de la pirolisis de biomasa residual (Escalante et al., 2016).

En los microorganismos del suelo juegan un rol importante en la productividad y salud del mismo. El suelo es un sistema complejo considerado como microcosmos contiene bacterias, cianobacterias, hongos, algas, protozoos y virus, siendo los más abundantes bacterias y hongos (Osorio-Vega, 2009).

Cada microorganismo cumple un rol importante y diferente, siendo de interés particular los que están involucrados en descomposición de materia orgánica y

ciclo de nutrientes. Estos son importantes para manejo de suelo y nutrientes de la planta (Osorio-Vega, 2009).

En Tumbes existen diferentes áreas naturales de bosque: Bosque de manglar, bosque tropical del pacífico y bosques secos. Siendo el bosque seco el predominante en la región. Estos bosques son actualmente se ocupados por crecimiento urbano, agricultura y ganadería, careciendo de un manejo integral. Es evidente que el manejo de los suelos en estas áreas juega un rol importante para mejorar la pobre productividad de los mismos.

Por ellos se realizó esta investigación con el objetivo de evaluar el efecto del uso del biocarbón derivado del raquis de banano en la microflora de un suelo forestal en el área de la concesión forestal Tumbes, además hacer una evaluación de la microflora de un suelo forestal.

La base teórica de esta investigación se basa en el uso de biocarbón para limitar la pérdida de fertilidad y la pérdida de propiedades físicas y bioquímicas del suelo. El biocarbón es carbono limpio y estable. Cuando se agrega al suelo, tiene la capacidad de mejorar las propiedades de nutrientes o aditivos altamente alcalinos que benefician a los microorganismos, cambian el pH del suelo y aumentan la productividad.

II. Revisión Literaria (Estado del Arte)

El biocarbón se produce por la descomposición térmica de materia orgánica en ausencia de aire (pirólisis) y se distingue del carbón por su uso como acondicionador del suelo (Kalina et al., 2022). Sin embargo, también se ha demostrado que el biocarbón cambia la comunidad biológica del suelo (Ahmad et al., 2014). Las propiedades del biocarbón como la composición química, la química de la superficie y los mecanismos físicos y químicos de la estabilidad del biocarbón en el suelo, determinan el efecto del biocarbón en su función (Alkharabsheh et al., 2021).

El biocarbón tiene un alto contenido de carbono orgánico, aumenta las reservas de nutrientes del ambiente, es necesario para el crecimiento de hongos y según su uso es una sustancia que mejora las condiciones físicas, químicas y la interacción con el suelo. El biocarbón es un refugio para hongos y bacterias (Duan et al., 2022). El tratamiento de residuos orgánicos y el uso de biocarbón se han estudiado como forma de limpiar suelos contaminados. La introducción in situ de biocarbón en el suelo cambia sus propiedades físicas como estructura, textura, distribución del tamaño de los poros, etc. Agregar biocarbón a los recursos del suelo incluye una mejor retención de agua, menos lixiviación de nutrientes y más. (Escalante et al., 2016)

Actualmente existe evidencia de que el biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno disuelto en su estructura (Wang et al., 2023). Por tanto, la relación C:N efectiva no aumenta, por lo que no hay efectos secundarios (Xu et al., 2021). Por otro lado, el carbono se encuentra en estructuras aromáticas altamente condensadas, con cantidades menores en formas alifáticas y carboxílicas (Tkachenko et al., 2023). Las mediaciones de densidad del biocarbón deben distinguir entre el verdadero sólido, densidad de partículas y la densidad aparente de las partículas de biocarbón verdaderas publicadas son altas, entre 1,5 y 2,1 g/cm³ para una variedad materias primas (Wangdi et al., 2023).

El uso de biocarbón como enmienda del suelo para mejorar su calidad. Los beneficios han atraído enormemente la atención e interés de los investigadores (Bolan et al., 2022).

Para todas las materias orgánicas, el pH aumenta con una mayor temperatura de pirolisis. Con el tiempo, el pH del biocarbón puede cambiar y disminuir o aumentar dependiendo del tipo de materia prima. Teniendo en cuenta la gran heterogeneidad de sus propiedades, los valores de pH del biocarbón son relativamente homogéneos, es decir, son en gran parte neutrales a básicos (Lang et al., 2021). Los posibles cambios pH del suelo provocados por la enmienda de biocarbón podrían afectar muchos aspectos de la actividad microbiana. En condiciones extremadamente ácidas o alcalinas, disminuye la actividad microbiana. Los niveles de pH de neutros a alcalinos son generalmente favorables para la degradación microbiana de varios compuestos (Palansooriya et al., 2019).

Esto requiere el uso de nuevos métodos y tecnologías de producción, la adaptación a diferentes condiciones ambientales y el uso de fertilizantes biológicos, microbianos y minerales para mejorar la fertilidad del suelo y su protección apoyada en el uso de biocarbón. (Gamboa, 2021).

Consideraron el uso de biocarbón como un mecanismo de secuestro de carbono en el suelo que puede permanecer en el suelo durante mucho tiempo y realizaron un análisis del ciclo de vida del carbono (Escalante et al., 2016; Lehmann & Joseph, 2015). La incorporación de biocarbón en el suelo se está promoviendo actualmente como una de las herramientas que podrían desplegarse para combatir antropogénicamente aumentos inducidos en las concentraciones atmosféricas de CO₂ (Goswami et al., 2021).

La investigación sobre el impacto más amplio del biocarbón en áreas secas y arenosas y las propiedades microbianas del suelo es muy importante porque es una variable del cambio ambiental y un indicador de la calidad del suelo. Se considera que el beneficio del carbono en el suelo es una reducción en la cantidad de fertilización. El biocarbón forma una matriz que preserva los

nutrientes que quedan en el suelo durante años o décadas, ganando así potencial biológico (Chen et al., 2023).

Hay evidencia de investigaciones y experiencias muy positivas de la aplicación del biocarbón en los diferentes tipos de suelos, favoreciendo sus propiedades biológicas, nutricionales en el crecimiento de cultivos, manifestando un aumento en la productividad del suelo (Gamboa, 2021). Cambios en la comunidad microbiana la composición o actividad inducida por el biocarbón puede no solo puede afectar ciclos de nutrientes y desarrollo de las plantas, puesto que también el ciclo de la materia orgánica del suelo (Lang et al., 2021).

La aplicación de biocarbón redujo la densidad aparente entre un 3 y un 31 % en 19 de 22 suelos, lo que indica que la densidad aparente generalmente disminuye con la aplicación de biocarbón (Blanco-Canqui, 2017). Los efectos beneficios de agregar biocarbón al suelo incluyen: Aumento de pH y retención de nutrientes (Rajendiran et al., 2023), disminución de las emisiones de N₂O Y CH₄, reducciones en la lixiviación de N inorgánico (Ndoung et al., 2021), la adsorción de sustancias químicas antropogénicas como las hormonas esteroides y la adsorción de metales pesados (Lang et al., 2021).

Estos efectos inconsistentes del biocarbón en las emisiones de N₂O podrían ser relacionados con diferentes biocarbón y características del suelo que muestran efectos divergentes del biocarbón sobre la aireación y la humedad del suelo condiciones, disponibilidad de nutrientes o comunidad microbiana del suelo estructura (Ndoung et al., 2021).

Las diferencias en la estructura física entre el biocarbón y los suelos conducen a un suelo alterado resistencia a la tracción, hidrodinámica y transporte de gas en un suelo biocarbón mezcla; todo lo cual se puede esperar que tenga un impacto importante en biota del suelo. El alcance de estos efectos dependerá del biocarbón. Condiciones de producción y materia prima, que en conjunto controlan la macro y microestructura de partículas de biocarbón (Lehmann & Joseph, 2015).

Enmienda de biocarbón mejora las propiedades fisicoquímicas y bioquímicas del suelo. Aumenta el pH del suelo y el intercambio catiónico capacidad (CEC), mejora la estructura del suelo, altera las poblaciones microbianas del suelo y mejora retención de nutrientes (Brtnicky et al., 2019).

Ejemplos de preocupaciones sobre la degradación de la tierra incluyen la degradación de su calidad y su impacto en el bienestar humano y el medio ambiente. Una métrica es una herramienta analítica que permite simplificar, medir y comunicar. Los indicadores de calidad del suelo orientan la toma de decisiones sobre el uso de los recursos naturales. (García et al., 2012)

Los microorganismos del suelo desempeñan un papel importante en los ecosistemas naturales y gestionados, ya que son responsables de la descomposición de los desechos orgánicos, el reciclaje y la disolución de los nutrientes, la fertilidad del suelo, la fijación del suelo, el nitrógeno, la protección de las plantas, etc (Maćik et al., 2020). La actividad microbiana tiene factores tales como: Temperatura, pH, humedad, disponibilidad de O₂, nutrientes inorgánicas, etc. Estas influyen dentro de la descomposición de las clases de materiales orgánicos; los residuos frescos agregados en el suelo y los compuestos orgánicos humificados (Hu et al., 2020).

Los microorganismos presentes en un suelo rizosféricos tienen un papel importante en los ecosistemas terrestres, las comunidades microbianas son afectadas por los cambios climáticos (Pascual et al., 2014).

La fauna y microflora edáfica se emplea como bioindicadores en la calidad del suelo para así establecer un grado de recuperación o degradación (Pascual et al., 2014). Los microorganismos del suelo conforman parte de los componentes bióticos de la materia orgánica, dentro del equilibrio biológico estas juegan un papel importante, lo mencionado antes se le conoce como actividad microbiana, la cual se utiliza el bagaje orgánico (Reyes-Pallazhco et al., 2023). Los microorganismos realizan alrededor del 80 % al 90 % de sus funciones edáficas principales filtración, degradación de sustancias, etc (Warren, 2022). Los microorganismos del suelo juegan un papel importante en el mantenimiento de las

funciones del suelo, incluyendo descomposición ciclo de nutrientes, biorremediación, estabilización de la materia orgánica del suelo y formación de agregados del suelo (Dangi et al., 2020).

El biocarbón como componente del compost puede tener beneficios sinérgicos. El biocarbón puede aumentar la actividad microbiana y reducir las pérdidas de nutrientes durante el compostaje (Warren, 2022). Los estudios han sugerido que la adición de biocarbón al suelo puede estimular la actividad de bacterias Gram-Positivas (Aponte & Rodríguez, 2021).

El biocarbón afecta la actividad microbiana del suelo y la biomasa, los cambios la proporción de bacterias del suelo a hongos y la actividad de las enzimas del suelo, remodela la estructura de la comunidad microbiana (Paolini, 2018). El impacto y efectos del biocarbón sobre los microorganismos del suelo han recibido menos atención que las propiedades fisicoquímicas del suelo, en consecuencia, en lo ambiental de los contaminantes del suelo, siguen siendo no conocidas (Palansooriya et al., 2019; Tong et al., 2014).

El uso de biocarbón afecta la diversidad y abundancia microbiana del suelo. Microbios del suelo desempeña un papel clave en el ciclo de los nutrientes del suelo, pero aún hay escasez de conocimiento sobre las respuestas de los microbios del suelo en las enmiendas con biocarbón (Nguyen et al., 2018).

El biocarbón es un producto de la tierra negra de los indios amazónicos de Brasil, también conocida como "Terra Preta", según el documento, estos suelos que se encuentran en la Amazonía tienen características específicas de los suelos oscuros y fértiles, que son productos del aprovechamiento de materia orgánica obtenida de la quema de biomasa. Lo interesante de su estudio es que confirma que el suelo fertilizado con biocarbón puede convertirse en un suelo rico en nutrientes con altos niveles de nutrientes importantes como P, Ca y K (Hossain et al., 2020)

La investigación muestra que el biocarbón aplicado al suelo mejora las propiedades físicas y químicas, aumenta la capacidad de retención de humedad y

los nutrientes, incluido el nitrógeno, se observen como compuestos estructurales y luego se liberan como productos inorgánicos lo que aumenta la edificabilidad y el rendimiento (Ippolito et al, 2012).

La investigación y uso del biocarbón tiene muchas ventajas por la capacidad de regeneración y prolongación de los suelos, el suelo tratado con biocarbón retiene el 56 % de humedad en comparación con el suelo convencional que es del 20 %. Esto también muestra un aumento en la actividad de los microorganismos benéficos en estos suelos, ayudando a las plantas a absorber más nutrientes. El biocarbón altera la disponibilidad de nutrientes a través de la entrada y retención directa, por lo general aumenta el contenido de nutrientes como P, K, Ca, Mg, Cu y Zn, además, debido a sus beneficiosas propiedades de retención, que evitan la pérdida de nutrientes durante la filtración, que tienen un efecto positivo a largo plazo, el biocarbón mejora el rendimiento de los cultivos y las plantas, al tiempo que aumenta su biomasa (Flesch et al, 2016; FAO, 1983; Randón et al, 2006).

De manera similar, el biocarbón puede aumentar bioactividad del suelo y promover la formación de humus, creando un hábitat ideal para los microorganismos que pueden alterar el contenido mineral del suelo y causar pequeños cambios en el pH. Ayudan en la liberación y asimilación de los nutrientes de las plantas (Ding et al., 2016).

La combinación de biocarbón con desechos orgánicos en forma de compost también puede cambiar las propiedades fisicoquímicas, los tipos microbianos, las capacidades de descomposición y humectación y las emisiones de gases del suelo y aumentar los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, la materia orgánica y la actividad microbiana. Estos cambios pueden aumentar la eficacia del biocarbón para la restauración y mejora del suelo (Guo et al., 2020).

Debido a su gran volumen de poros y, por lo tanto, a su alta capacidad de adsorción, el biocarbón se utiliza como tratamiento de suelo agrícola para reparar daños en el suelo, como deficiencia de nutrientes, contaminación microbiana, etc. Por esta razón, se ha utilizado en diversos estudios para evaluar el crecimiento de diversos cultivos. Para la mayoría de las aplicaciones, los rendimientos

aumentaron significativamente después de modificar las tierras agrícolas con biocarbón. Es importante señalar que, además de restaurar la calidad del suelo, el biocarbón también puede fijar carbono en el suelo en forma de CO₂ y metano. (C. Tang et al., 2022)

III. Materiales y Métodos

3.1. Zona de estudio

El área de estudio fue el área de la concesión taller de investigación de la Universidad Nacional de Tumbes que está constituida por 127,63 hectáreas. Aquí se seleccionarán dos zonas denominadas hito A y B localizadas de acuerdo con la figura 1. El área de concesión se encuentra ubicada en el distrito San Juan de la Virgen, provincia de Tumbes, región Tumbes.

Los hitos antes mencionados se seleccionaron teniendo en consideración criterios como accesibilidad al área, presencia de riesgos debido a invasiones, tala ilegal, ganadería, se trataron de evitar zonas intervenidas como ejemplo presencia de botaderos informales, con la finalidad de tener muestras de áreas lo más prístinos posibles.

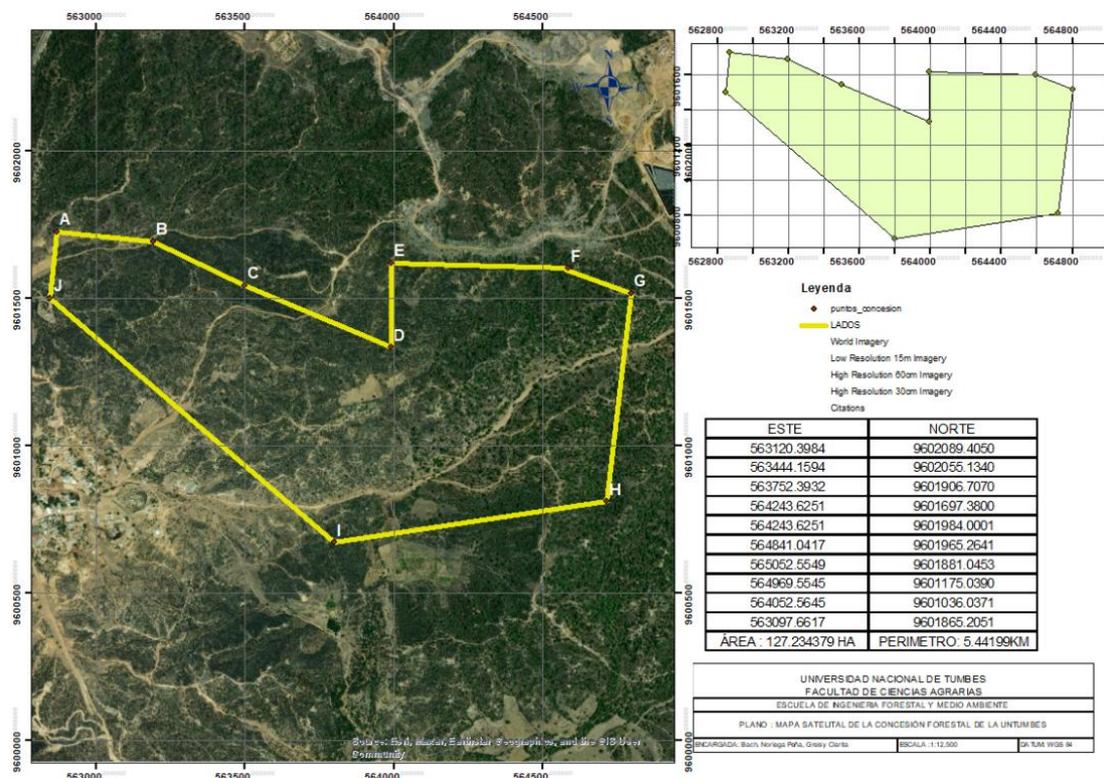


Figura 1. Mapa satelital de la concesión de la UNTumbes.

3.2. Muestreo de suelo

Se tomaron 8 muestras de suelo de aproximadamente 3kg a una profundidad de 20 cm de cada hito (A y B) en el área de la concesión del taller de investigación de la Universidad Nacional de Tumbes utilizando el método de zigzag.

Una vez tomadas las 8 muestras de cada hito se mezclaron y homogenizaron para obtener una muestra compuesta por cada uno de los hitos. Esto se realizó con ayuda de una manta y utilizando el método de cuarteo. De cada una de las muestras compuestas se extrajo 7 kg para realizar el presente estudio. Cada muestra se colocó en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se llevaron al laboratorio para el análisis correspondiente.



Figura 2. Muestreo de suelo "hito A y B".

3.3. Producción de biocarbón

3.3.1. Recolección de muestra y acondicionamiento de materia prima

El residuo de banano fue recolectado en unas parcelas de cultivo de banano, ubicado en el centro poblado de San Isidro, distrito de Corrales en la región de Tumbes. Se recolectaron 20 kg aproximadamente de raquis de banano.

Luego de la recolección, las muestras se trasladaron al laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes, donde se lavaron debidamente para eliminar las impurezas. El raquis trazado de 20 cm se fraccionó y luego se secó en estufa a 100 °C hasta masa constante.

La materia prima seca se molió hasta alcanzar un tamaño de particular menor 1 mm. El material molido se almacena en bolsas de polietileno a temperatura terma caliente.



Figura 3. a) *Materia Prima* b) *Secado de Materia Prima a Temperatura Ambiente*
c) *Molino Triturador* d) *Materia Prima Molida.*

3.3.2. Producción de biocarbón

En la producción de biocarbón se utilizó plátano como materia prima, utilizando el método propuesto por (Cruz et al., 2020). La muestra se coloca en un tubo de acero inoxidable para alimentar el reactor según un horno tubular adecuado para la producción de biocarbón (Nabertherm GmbH, Alemania) a 600 °C durante 2 h bajo una atmósfera de nitrógeno. Finalmente, el material resultante se lavó con agua destilada y luego se secó en estufa a 80 °C hasta obtener un peso constante.



Figura 4. a) *Ingreso de materia prima en el horno tabular* b) *Lavado de biocarbón con agua destilada caliente* c) *Tamizado de biocarbón* d) *Biocarbón tamizado.*

3.4. Caracterización de biocarbón de raquis de banano

Se caracterizó el biocarbón obtenido, incluyendo pH carga cero, humedad (%), cenizas (%) y análisis elemental (%).

3.4.1. Determinar pH carga cero

Se utilizó el método de deriva del pH para determinar el pH de carga cero (pH_{pzc}). Aquí, se preparó una solución de nitrato de potasio (KNO_3) 0,1 M y se saturó con gas nitrógeno durante 30 minutos para reducir el efecto del dióxido de carbono (CO_2). Luego, se dividieron 50 ml de la solución en ocho matraces Erlenmeyer. El valor del pH se ajusta a 3-10 usando una solución diluida de hidróxido de sodio (NaOH) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se agregaron 0,1 g de biocarbón de cáñamo de plátano a cada matraz Erlenmeyer, luego se taparon y se agitaron continuamente durante 48 h en un agitador orbital (Gesellschaft Für Labertechnik, Alemania). Luego tomar una alícuota de cada matraz Erlenmeyer y filtrar a través de

Whatman no. 42 papeles de filtro con jeringa de 20 ml. Finalmente, el valor final del pH se determinó con un medidor multiparamétrico (Multi 3620 IDS). El pH_{pzc} se determina trazando la intersección de las curvas de $pH_{inicial}$ vs pH_{final} .

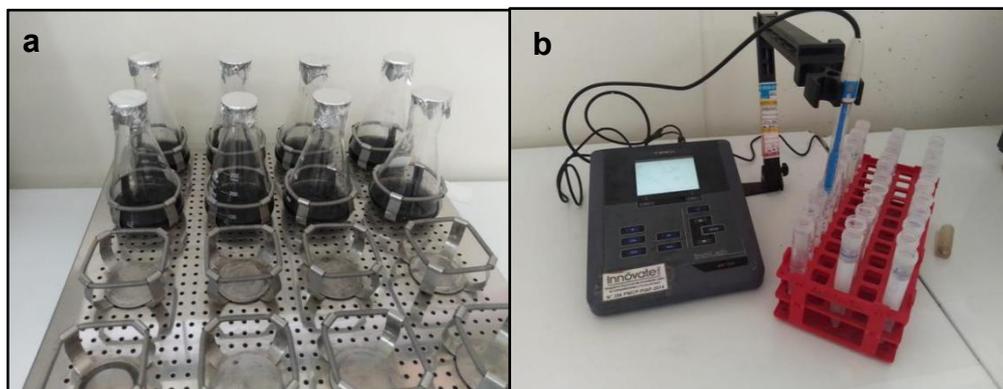


Figura 5. a) Agitador Orbital b) Medición pH.

3.4.2. Determinación de humedad (%)

Para la determinación de la humedad se utilizó la norma ASTM - O - 2867 - 4, la cual requiere que se pesen 0,5 g de la muestra de biocarbón obtenida en una balanza analítica. De acuerdo al método de secado en horno, la muestra se coloca en una estufa (Memmert SNB 400) a una temperatura de 105 °C por 24 horas e inmediatamente después del tiempo se coloca en un desecador para que no absorba la humedad del ambiente. La muestra se enfrió y peso, registrándose y aplicando la siguiente formula:

$$CH\% = \left[\frac{(C - D)}{(C - B)} \right] \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad

B = Peso de la placa Petri, g.

C = Peso de la placa Petri más muestra de biocarbón, g.

D = Peso de la placa Petri más muestra de biocarbón seca, g.

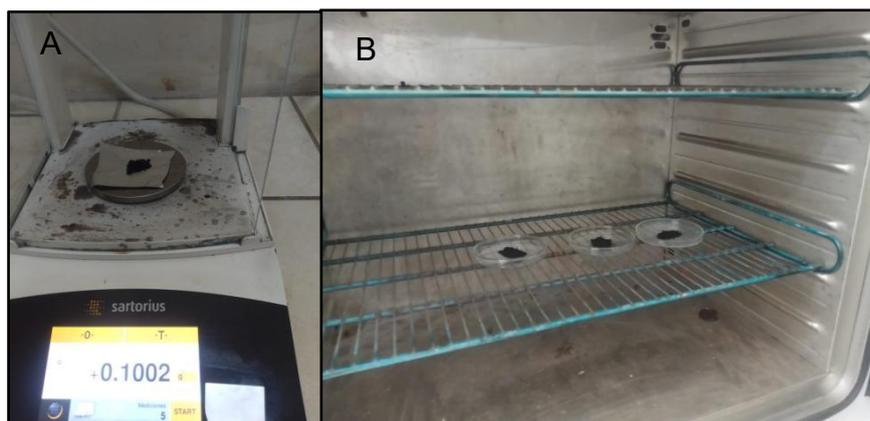


Figura 6. a) *Peso de biocarbón en la balanza analítica* b) *Secado en horno.*

3.4.3. Determinación de contenido de ceniza

Se utilizó la norma ASTM 2866-94 (reafirmada en 2004) para determinar el contenido de cenizas; Pesar 0,5 g de la muestra de biocarbón y colocarlo en un crisol previamente secado y tapado y luego colocarlo en un crisol (Hobersal, XB – 1-115) a 650 °C durante 4 horas. Después de la incubación en el horno, el crisol se coloca en un desecador y la muestra se pesa en una balanza analítica para determinar el contenido de cenizas según la siguiente fórmula.:

$$CT\% = \left[\frac{(D - B)}{(C - B)} \right] \times 100$$

Donde:

CT = Cenizas totales de humedad

B = Peso del crisol, g.

C = Peso del crisol más la muestra de biocarbón, g.

D = Peso del crisol más la muestra de biocarbón incinerada, g.

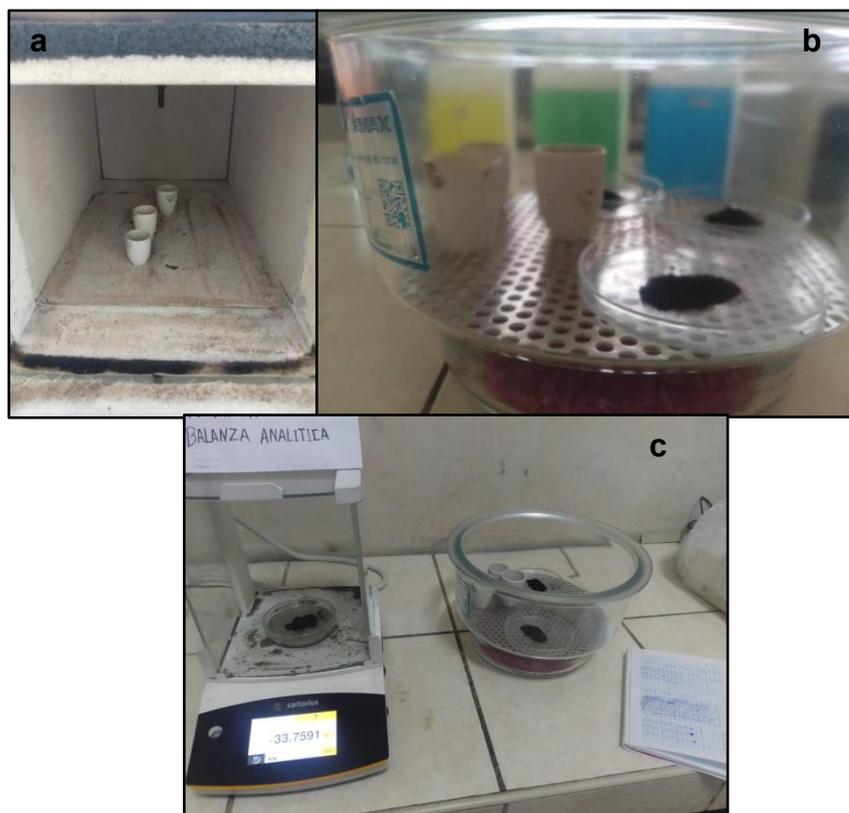


Figura 7. a) *Biocarbón en la Mufla* b) *Biocarbón en el Desecador* c) *Peso de Biocarbón.*

3.4.4. Análisis elemental del biocarbón utilizado

Los análisis elementales de la muestra de biocarbón se realizaron equipados analizadores de elementos de la marca LECO del Instituto de Tecnología Ambiental de la Universidad Técnica de Ostrava. Se incluyó análisis de C, H, N, S EN %. Así mismo se utilizó un equipo de espectrometría de fluorescencia de rayos X (XRF) para el análisis de elementos minerales que incluyeron Al, Si, P, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, entre otros.

3.5. Tratamientos considerados en el estudio

Las muestras de suelo de los hitos A y B, fueron llevadas al laboratorio de Fitopatología en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes; en el cual las muestras de suelo fueron divididas en 7 kilos por cada tarrina siendo un total de 4 tratamientos, por cada hito. 4 muestras se le adicionó biocarbón de acuerdo a lo estipulado en la tabla 1.

A cada tratamiento se le aplicó agua destilada para mantenerlos húmedos y así obtener resultados óptimos en la microflora del suelo.

Tabla 1.

Tabla 1. Aplicación del tratamiento hito A y B.

Tratamientos para cada hito
Testigo
T1 – 7 Kg Suelo forestal + 0,5% de biocarbón (SF+0,5B)
T2 – 7 Kg Suelo forestal + 1,5% de biocarbón (SF+1,5B)
T3 – 7 Kg Suelo forestal + 3,0% de biocarbón (SF+3B)



Figura 8. a) Pesaje de la muestra de Biocarbón b) Homogenización de Biocarbón y suelo forestal c) Tratamientos.

3.6. Pruebas microbiológicas aplicados a los tratamientos

Estas pruebas incluyen análisis microbiológico y análisis de población microbiana de los diferentes tratamientos considerados.

Para ello, se usaron 4 unidades experimentales por cada tratamiento y en cada fecha de evaluación, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. *Unidades experimentales de cada tratamiento.*

	27/09/2022	18/10/2022	07/11/2022	27/11/2022
Testigo	4	4	4	4
T1 - SF 0,5B	4	4	4	4
T2 - SF 1,5B	4	4	4	4
T3 - SF 3B	4	4	4	4

3.6.1. Análisis microbiológico

De cada tratamiento de los hitos A y B, se sacó 100 g de muestra de suelo, tomando al azar 5 g. Estos se colocaron en un vaso precipitado estéril con 50 ml, de agua destilada estéril, luego se colocó en un agitador magnético durante un tiempo de 5 minutos a 500 r.p.m.

Luego de 40 minutos de reposo y con ayuda de una pipeta digital, se tomaron 0,25 ml del sobrenadante y se colocaron en 4 platos placas petri con medio PDA (Agar, Potato and Dextrose) por cada tratamiento, la muestra fue esparcida con una espátula de Digalsky y se llevaron a incubación. Luego de 24 horas se realizó el conteo de hongos y bacterias.



Figura 9. *Pruebas de análisis y población microbiana.*

3.7. Diagrama de flujo

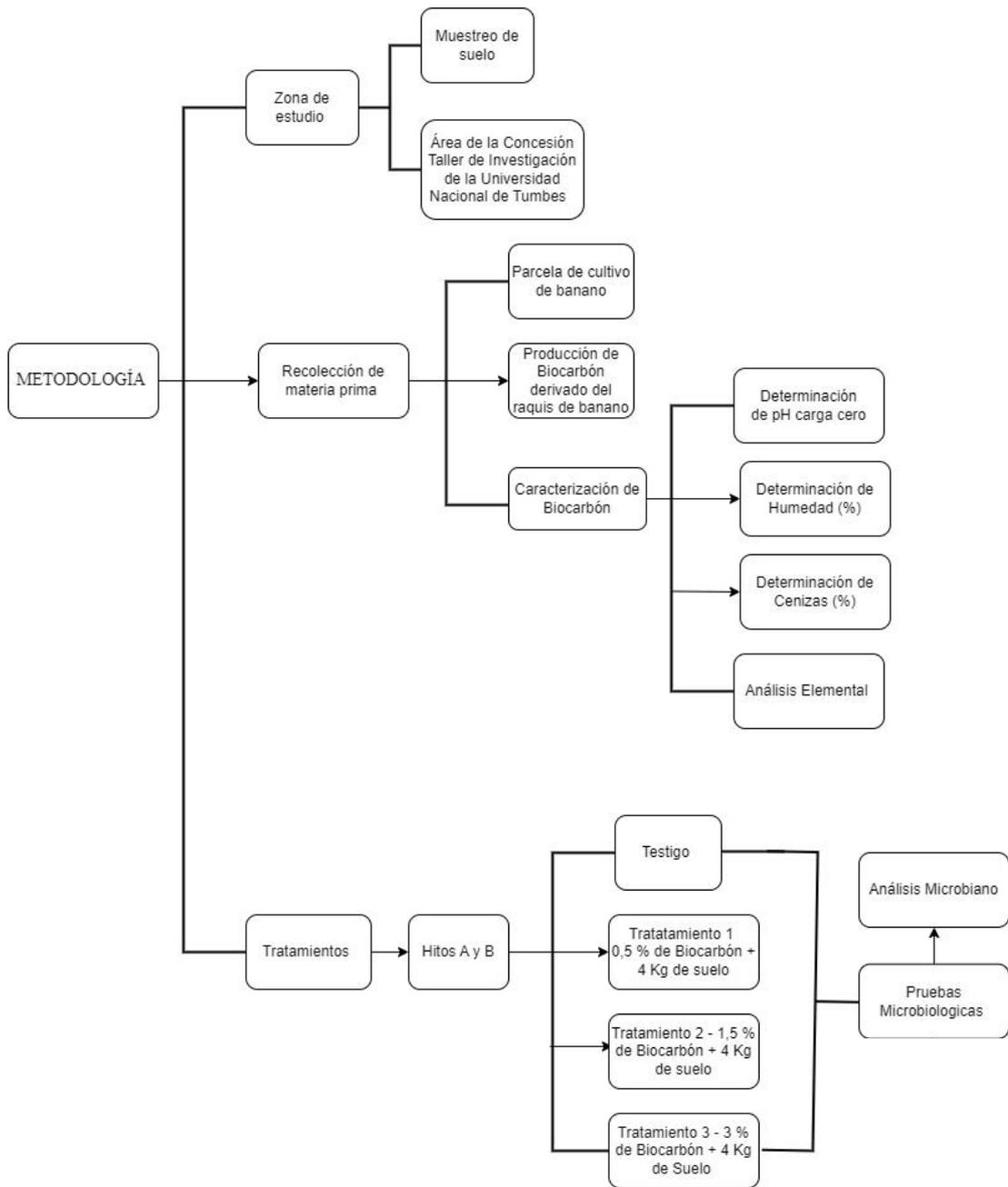


Figura 10. Diagrama de flujo de la investigación.

IV. Resultado Y Discusión

4.1. Rendimiento en la producción de biocarbón de raquis de banano

En la tabla 3 se presenta los resultados para la producción de biocarbón derivado del raquis del banano, mostrando la masa de la materia prima y la masa de biocarbón obtenida en gramos. El rendimiento promedio es de $36,26 \pm 3,23$ %; siendo un valor inferior a los 40,68% obtenidos de (Castillo, 2022) pero superior a lo encontrado por (Infante, 2022) con un 34,9%. Sin embargo, no se observa mucha diferencia entre rendimientos.

Tabla 3. Rendimiento de producción de biocarbón de raquis de banano.

Día	Raq. de Banano (g)	Biocarbón (g)	Rendimiento (%)	Prom. (%) \pm DE
1	370	136	36,76	
2	355	137	38,59	
3	364	142	39,01	
4	353	129	36,54	
5	353	133	37,68	
6	293	89	30,38	
7	390	153	39,23	
8	312	120	38,46	
9	345	135	39,13	
10	349	128	36,68	
11	358	134	37,43	
12	362	135	37,29	
13	334	120	35,93	36,26 \pm 3,23
14	338	119	35,21	
15	368	129	35,05	
16	387	130	33,59	
17	317	115	36,86	
18	312	119	38,14	
19	338	119	35,10	
20	472	118	25,00	
21	288	102	35,42	
22	324	133	41,05	
23	333	118	35,44	
24	350	127	36,29	

4.2. Caracterización del biocarbón del raquis de banano

4.2.1. Contenido de humedad (%)

En la tabla 4, se muestra que el contenido de humedad de biocarbón derivado de raquis de banano fue de $0,50 \pm 0,10$ %. Este valor estuvo por debajo de lo encontrado en (Espinoza, 2022) e Infante (2022) donde encontraron valores de 4,3% y 2,97% respectivamente.

Tabla 4. Contenido de humedad del biocarbón del raquis de banano.

Biocarbón	Placa	Placa + Biocarbón	Placa + Biocarbón (seco)	% de Humedad	Total \pm DE
0,502	33,261	33,762	33,759	0,599	
0,501	42,321	42,822	42,820	0,399	0,50 \pm0,10
0,500	33,934	34,434	34,431	0,500	

4.2.2. Contenido de ceniza (%)

La tabla 5, muestra que el contenido de cenizas del raquis de banano fue de $11,17 \pm 1,12$ %. Este valor estuvo por debajo de lo encontrado en Espinoza (2022) e Infante (2022) donde encontraron valores de 23,26% y 28,18% respectivamente.

Tabla 5. Contenido de ceniza del biocarbón de raquis de banano

Biocarbón	Crisol	Crisol + biocarbón	Crisol + Biocarbón (ceniza)	% de ceniza	Total \pm DE
0,500	19,486	19,986	19,536	11,101	
0,501	33,684	34,184	33,730	10,088	11,17 \pm1,12
0,501	27,519	28,019	27,574	12,334	

4.2.3. pH carga cero

Se evaluaron en el rango de pH de 3.63 – 10 durante 48 horas, en la imagen como se muestra en la figura 10, se puede observar el valor de pH del biocarbón obtenido del raquis de banano, arrojando un valor ligeramente alcalino de 7,37. Es valor fue similar a lo encontrado por Espinoza (2022) e Infante (2022) con unos valores de pH de 7,09 y 7,70, considerándolos por sus autores como un pH ligeramente alcalino.



Figura 11. Resultado del pH inicial y final de carga cero.

4.2.4. Análisis elemental del biocarbón utilizado

El análisis elemental de la muestra de BC de RB incluyó los contenidos de C, H, N, S. De estos elementos el de mayor porcentaje fue el C con 66,80%, seguido de H y N con un valor similar de 2,72% y final está el S con 0,2%. Esto se debe a que el C es el elemento mayoritario en la materia prima (celulosa, hemicelulosa y lignina) permaneciendo en él luego de la pirolisis. Mientras H, N y S son compuestos que se volatilizan y se pierden en forma de gas durante la pirolisis.

En la tabla 6, se muestra los resultados para el análisis de elementos minerales, tales como Al, Si, P, S, Cl, K, entre otros. El componente mineral mayoritario fue el K con 3,802% seguido de Ca con 1,872%, Si con 0,89867 y P con 0,5228%, estando el resto de los minerales en más baja concentración.

Tabla 6. Elementos minerales y concentración del biocarbón derivado del raquis de banano.

Símbolo	Elementos	Concentración %
Mg	Magnesium	0,02552 %
Al	Aluminum	0,00100 %
Si	Silicon	0,89860 %
P	Phosphorus	0,52280 %
S	Sulfur	0,15400 %
Cl	Chlorine	0,12370 %
K	Potassium	3,50200 %
Ca	Calcium	1,87200 %
Ti	Titanium	0,01023 %

V	Vanadium	0,00058	%
Cr	Chromium	0,00420	%
Mn	Manganese	0,01996	%
Fe	Iron	0,17070	%
Co	Cobalt	0,00056	%
Ni	Nickel	0,00396	%
Cu	Copper	0,00429	%
Zn	Zinc	0,01267	%
Ga	Gallium	0,00012	%
Ge	Germanium	<0,00005	%
As	Arsenic	<0,00005	%
Se	Selenium	0,00003	%
Br	Bromine	0,00043	%
Rb	Rubidium	0,00070	%
Sr	Strontium	0,00595	%
Y	Yttrium	<0,00005	%
Zr	Zirconium	0,00036	%
Nb	Niobium	0,00020	%
Mo	Molybdenum	0,00128	%
Ag	Silver	<0,00020	%
Cd	Cadmium	0,00009	%
Sn	Tin	0,00019	%
Sb	Antimony	<0,00030	%
Te	Tellurium	<0,00030	%
I	Iodine	<0,00030	%
Cs	Cesium	0,00144	%
Ba	Barium	<0,00020	%
La	Lanthanum	<0,00020	%
Ce	Cerium	<0,00020	%
Pr	Praseodymium	0,00085	%
Nd	Neodymium	0,00243	%
Er	Erbium	<0,00051	%
Yb	Ytterbium	<0,00020	%
Hf	Hafnium	0,00020	%
Ta	Tantalum	0,00200	%
W	Tungsten	0,00008	%
Hg	Mercury	0,00003	%
Tl	Thallium	0,00008	%
Pb	Lead	0,00032	%

Bi	Bismuth	<0,00010	%
Th	Thorium	0,00015	%
U	Uranium	<0,00002	%

4.3. Pruebas microbiológicas

4.3.1. Análisis microbiano

Por cada tratamiento (Testigo, T1 – SF + 0,5B, T2 – SF + 1,5B y T3 – SF + 3B) en cada uno de los hitos (A y B) se evaluó la población microbiana total y la población microbiana comprometida con la materia orgánica. Los suelos que poseen un alto contenido de materia orgánica contienen más organismos, al caer los materiales al suelo y muchas veces antes, comienza un rápido proceso de transformación por parte de los macro y microorganismos que utilizan los residuos orgánicos como fuente de energía (Mora, 2015). La proliferación de ellos está limitada por, el pH, la riqueza mineral del suelo, la especie de materia orgánica, la temperatura y la humedad (González & Pomares, 2008).

En climas con temperatura por encima de 20 °C, como en climas tropicales y subtropicales predominan las bacterias habiendo menos hongos y actinomicetos (Salamanca et al., 1998).

Los géneros comprometidos con la degradación de la materia orgánica son los géneros *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor* y *Rhizopus*, en algunos casos se encuentra *Fusarium* sp y *Trichoderma* sp; además de bacterias degradadoras de materia orgánica (Escobar Escobar et al., 2012).

Los resultados encontrados nos indican que el género *Aspergillus* se encuentra en mayor proporción en todo el campo, coincidiendo con una mayor presencia de tejido vegetal en el suelo, como hojas secas de especies forestales y malezas, a diferencia del Hito A, en el que dichos elementos se encontraron en menor proporción.

Rhizopus es un hongo saprofito facultativo, que puede crecer y desarrollarse en una amplia gama de temperaturas y humedades relativas. Su rápida velocidad de crecimiento le permite colonizar (Velázquez-Del-Valle et al., 2008)); puede

sobrevivir durante meses en los suelos en una amplia gama de temperatura y humedades relativas; presentan una gran capacidad de degradar a la materia orgánica compleja, participan en la formación de humus a partir de restos orgánicos frescos al degradar residuos vegetales y animales, y contribuyen significativamente a la formación de agregados estables (Miller & Jastrow, 2000).

De acuerdo con las condiciones del ambiente en el que se desarrolló dicho trabajo, las poblaciones de *Rhizopus* en estos tipos de suelo ha sido baja, conforme se evidencia en la figura 12.

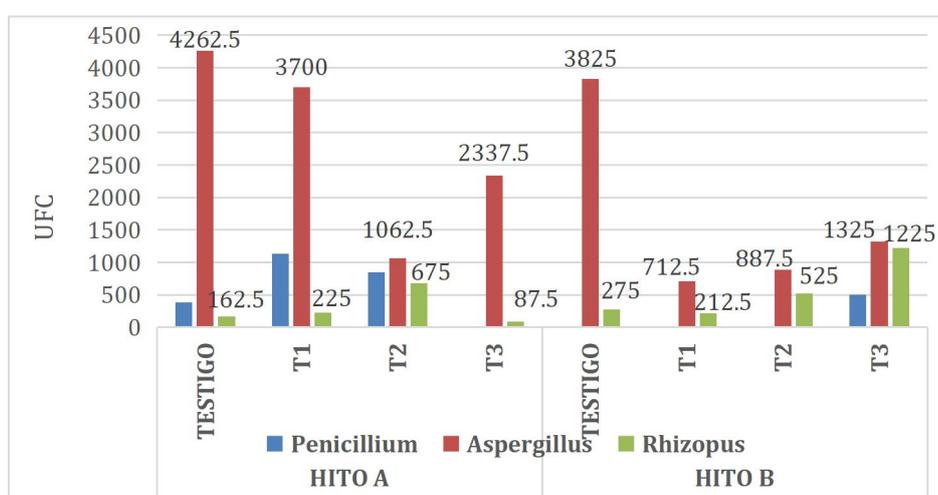


Figura 12. Unidades formadoras de colonias los géneros comprometidos con la degradación de la materia orgánica

Penicillium favorece la degradación de sacáridos y facilita los procesos de sucesión ecológica inhibiendo el crecimiento de otros microorganismos, (Koolen et al., 2012) su presencia en estos tipos de suelo ha sido baja.

Aspergillus, la presencia de hongos en el suelo, son parte del proceso de descomposición de la materia orgánica, en su gran mayoría se alimentan de ella y ayudan a descomponerla en formas más simples al liberar enzimas (Hogarth, 2015). Similar papel, juegan las bacterias en el suelo.

La población de bacterias encontradas en los dos Hitos, varían con en función a las condiciones del suelo y su contenido, el Hito A, es un suelo con bajo nivel de

hojarasca, escasa población de arbustos y árboles; en el Hito B, la mayor presencia de árboles, arbustos y hojarasca, probablemente esta condición haya favorecido a microorganismos bacterias, de ahí que las poblaciones sean superiores a las registradas en hongos.

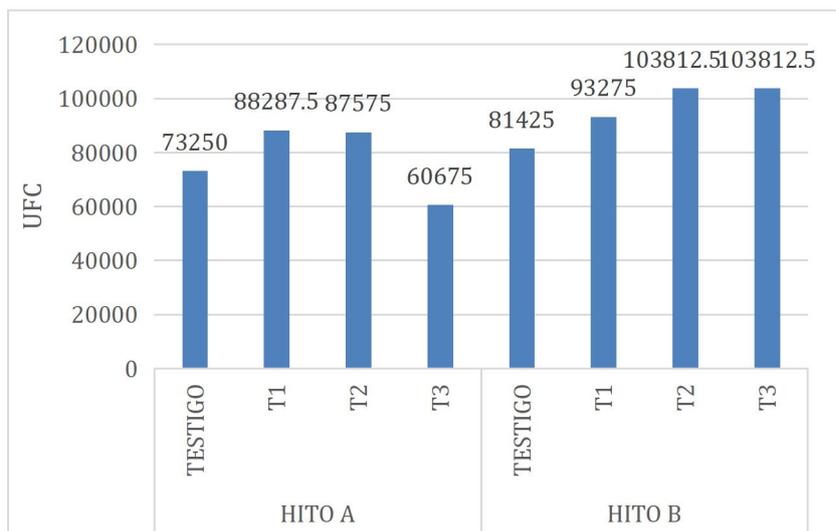


Figura 13. Unidades formadoras de colonias de bacterias comprometidas con la degradación de la materia orgánica.

La población de bacterias se incrementa con los tratamientos T1 y T2, en el Hito A, no ocurre lo mismo en el Hito B, donde las poblaciones tienden a aumentar en los tres tratamientos. El suelo es generalmente un hábitat favorable para la proliferación de microorganismos y en las partículas que lo forman se desarrollan micro colonias (Muñoz, 2019), la incorporación de un elemento como carbón, puede afectar la población de microorganismos en el suelo; generalmente, en el suelo se encuentran de 10^6 a 10^9 bacterias por gramo de suelo (Acosta, 2008).

Las presencias de estos microorganismos en el suelo cumplen un papel importante en la transformación de la materia orgánica y nutrientes; aun cuando las poblaciones totales de microorganismos en el suelo varían en los hitos, el 80 y 90 % del total del metabolismo del suelo se debe a procesos microbianos generados por estos microorganismos.

En la figura 14, se observa la población microbiana de los microorganismos comprometidos con la degradación de la Materia Orgánica, en el Hito A, si son afectados por los tratamientos, las poblaciones tienden a disminuir, siendo mayor

la presión en el Tratamiento 3, mientras que en el caso del Testigo las poblaciones aumentan con el tiempo.



Figura 14. Población microbiana promedio en los Hito A. Testigo, Tratamiento 1, tratamiento 2 y Tratamiento 3.

Al evaluar la población total por grupo de microorganismos en el suelo, se encontró que la población de antagonistas fue muy baja, sólo se registró su presencia en el Testigo, mientras que la población de degradadores de Materia Orgánica, si se incrementaron con los Tratamientos, especialmente en el Tratamiento 3, con 203600 UFC, a diferencia del Tratamiento 2, con 91362.5 UFC, que tiene una respuesta similar al Tratamiento 2. (Fig. 15)

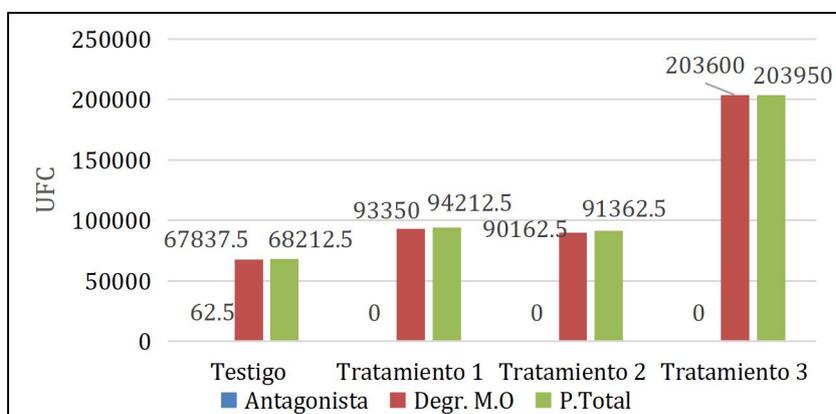


Figura 15. Población microbiana promedio entre los tratamientos en el Hito A.

En la figura 16, se observa el promedio de valores de población microbiana en todos los tratamientos en el hito B, donde el tratamiento con mayor valor fue el T3 – SF + 3B con 116904 UFC para microorganismos de la Materia orgánica y una población total de 117454 UFC/ml., como población total; seguido del Tratamiento 2 - SF + 1.5B con un valor de 1068500 UFC/ml seguido del T2 – SF + 1,5B con un valor de 90333 UFC/ml, mientras que el valor más bajo fue el

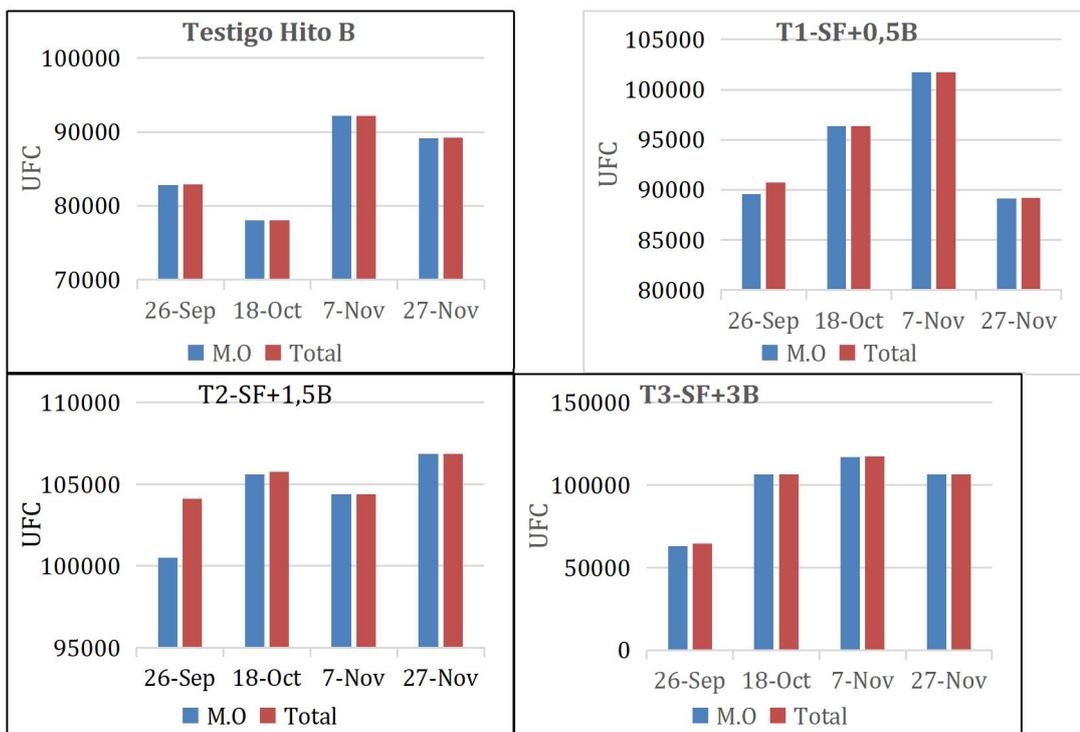


Figura 16. Población microbiana en los días de evaluación en el Hito B. a) testigo. b) T1 – SF + 0,5B. c) T2 – SF + 1,5B. d) T3 – SF + 3B.

En la figura 17, no se observa la presencia de antagonistas Hito A; la población de Degradadores de Materia orgánica y la Población Total se incrementan en cada tratamiento, siendo mayor en el Tratamiento 2. En todos los casos, las poblaciones registradas en los Tratamientos son mayores que en el Testigo (8558125 población total).

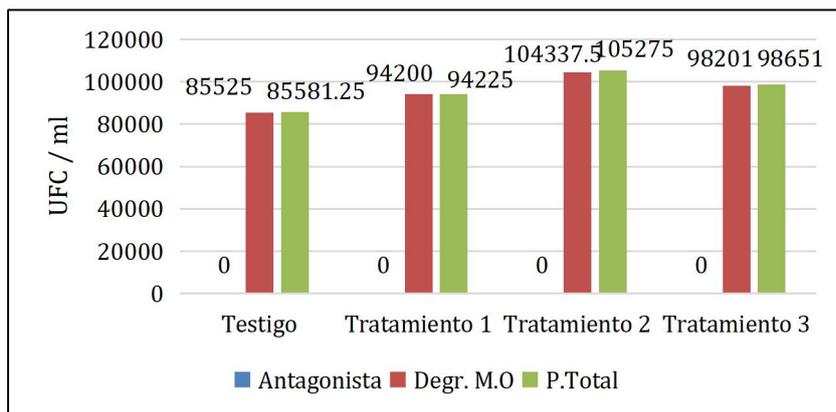


Figura 17. Población de degradadores de materia orgánica y población total en el Hito B.

4.4. Discusiones

El biocarbón elaborado a base de raquis de banano, tuvo un rendimiento de $36,26 \pm 3,23$ %; una humedad $0,50 \pm 0,10$ %, un contenido de ceniza de $11,17 \pm 1,12$ %, además presento un pH ligeramente alcalino. Estos valores son similares a lo reportado por Castillo (2022), Infante (2022) e Espinoza (2022) con respecto al rendimiento y al pH.

En el caso de humedad y ceniza los valores encontrados son menores a lo reportado por Seow et al. (2022), esto podría deberse a las condiciones de la materia prima o al almacenamiento del biocarbón (Seow et al., 2022).

Por otro lado, se encontró un gran contenido de C, H, N y S, siendo el C el de mayor presencia en el biocarbón, además de otros elementos minerales como Al, Si, P, S, Cl y K. El contenido de C puede ser tomado por la comunidad bacteriana (Bastida et al., 2021), así como, los contenidos de N, P, K y S pueden influir directamente en el ciclo de nutrientes mejorando la comunidad microbiana del suelo (S. Tang et al., 2023).

El sistema de poros del biocarbón proporciona un hábitat seguro para los microorganismos del suelo (Blenis et al., 2023). Esto se ve reflejado en el gran contenido de población microbiana llegando a valores de hasta $1,01 \times 10^5$ en el tratamiento 2 del hito A y $1,02 \times 10^5$ en el tratamiento 3 del hito B.

En el caso de la población fúngica, se encontró la presencia de *Penicillium*, *Aspergillus* y *Rhizopus*, estos hongos tienen actividad degradadora de materia orgánica, además son capaces de descomponer una amplia variedad de compuestos orgánicos, incluyendo celulosa, lignina, proteínas y lípidos (Márquez-Riquel et al., 2015).

En el caso de la población bacteriana se observa que el tratamiento 2 tuvo un mayor efecto en la promoción del crecimiento de microorganismos tanto en el hito A como en el B, esto podría deberse a los elementos minerales presentes en el biocarbón como el N, S, P y K, ya que estos elementos mejoran la comunidad microbiológica del suelo (S. Tang et al., 2023), además el alto contenido de C sirve de alimentos a estos microorganismos (Bastida et al., 2021).

En el caso de la población bacteriana, se observa que en el hito A se observa un gran incremento en la población cuando está sometido al tratamiento 2 llegando a triplicar su valor inicial llegando a obtener valores de hasta $9,0 \times 10^{10}$, por otro lado, en el hito B se muestra una disminución de la población bacteriana en todos los tratamientos, esto podría deberse a la diversidad de microorganismos de cada hito (Li et al., 2020).

V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

La presente investigación llegó a las conclusiones:

Se produjo biocarbón a partir del raquis de banano con un rendimiento del 36,26 %, un contenido de humedad del 0,50 %, un contenido de cenizas del 11,17 %, un pH de carga cero de 7,39 ligeramente alcalino. Además, presenta un gran contenido de C, H, N y S, además de elementos minerales como Al, Si, P, S, Cl y K.

En las pruebas de análisis bacteriano de los hitos A se observó un gran incremento de población bacteriana en los tratamientos con 0,5 y 1 % de biocarbón, llegando hasta triplicar su población bacteriana. Mientras que en el hito B se observó un incremento en la población bacteriana en los 3 tratamientos.

Se encontraron géneros fúngicos de *Penicillium*, *Rhizopus* y *Aspergillus*, siendo *Aspergillus* el género de mayor presencia especialmente en el hito B.

El biocarbón derivado del raquis de banano tuvo un efecto positivo en la población microbiana del suelo forestal tanto en el Hito A como en el B del área de la concesión forestal – UNTUMBES, llegando a aumentar la población microbiana.

5.2. Recomendaciones

Realizar estudios en el suelo degradados para la recuperación de microorganismos usando biocarbón.

Desarrollar experimentos con diferentes materias primas para la obtención de biocarbón y su interacción con el suelo para mejorar la microflora.

Realizar estudios de diversidad de microorganismos en suelos tratados con biocarbón.

Realizar un análisis de la capacidad de intercambio catiónico del suelo combinado como biocarbón, además de considerar la relación carbono/nitrógeno y evaluar la competitividad de la planta con los microorganismos por el nitrógeno.

Estas investigaciones son de gran importancia por que contribuyen a combatir el cambio climático, en la reutilización de residuos agrícolas, además de que el biocarbón es un material bioamigable con múltiples propiedades remediadoras.

VI. Referencias bibliográficas.

- Acosta, C. (2008). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, La Génesis de La Cultura Universitaria En Morelos*, 3(5), 55–60.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, 99, 19–33. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071>
- Alkharabsheh, H. M., Seleiman, M. F., Battaglia, M. L., Shami, A., Jalal, R. S., Alhammad, B. A., Almutairi, K. F., & Al-Saif, A. M. (2021). Biochar and Its Broad Impacts in Soil Quality and Fertility, Nutrient Leaching and Crop Productivity: A Review. *Agronomy*, 11(5), 993. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>
- Aponte, G., & Rodríguez, B. (2021). Tendencia en el uso de biocarbón como acondicionar de suelos. *Revista de Química*, 35(2).
- Bastida, F., Eldridge, D. J., García, C., Kenny Png, G., Bardgett, R. D., & Delgado-Baquerizo, M. (2021). Soil microbial diversity–biomass relationships are driven by soil carbon content across global biomes. *The ISME Journal*, 15(7), 2081–2091. <https://doi.org/10.1038/s41396-021-00906-0>
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687–711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Blenis, N., Hue, N., Maaz, T. M., & Kantar, M. (2023). Biochar Production, Modification, and Its Uses in Soil Remediation: A Review. *Sustainability*, 15(4), 3442. <https://doi.org/10.3390/su15043442>
- Bolan, N., Hoang, S. A., Beiyuan, J., Gupta, S., Hou, D., Karakoti, A., Joseph, S., Jung, S., Kim, K.-H., Kirkham, M. B., Kua, H. W., Kumar, M., Kwon, E. E., Ok, Y. S., Perera, V., Rinklebe, J., Shaheen, S. M., Sarkar, B., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L. (2022). Multifunctional applications of biochar beyond carbon storage. *International Materials Reviews*, 67(2), 150–200. <https://doi.org/10.1080/09506608.2021.1922047>

- Brtnicky, M., Dokulilova, T., Holatko, J., Pecina, V., Kintl, A., Latal, O., Vyhnanek, T., Prichystalova, J., & Datta, R. (2019). Long-Term Effects of Biochar-Based Organic Amendments on Soil Microbial Parameters. *Agronomy*, 9(11), 747. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110747>
- Castillo, R. (2022). *Modificación del biocarbón derivado del raquis de banano mediante tratamiento hidrotermal con soluciones acuosas de ácido fosfórico y su efecto sobre la adsorción de arsénico y plomo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes]. <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/63441>
- Chen, Z. shan, Liu, T., Dong, J. fu, Chen, G., Li, Z., Zhou, J. lin, & Chen, Z. (2023). Sustainable Application for Agriculture Using Biochar-Based Slow-Release Fertilizers: A Review. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05691>
- Cruz, G. J. F., Mondal, D., Rimaycuna, J., Soukup, K., Gómez, M. M., Solis, J. L., & Lang, J. (2020). Agrowaste derived biochars impregnated with ZnO for removal of arsenic and lead in water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103800. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103800>
- Dangi, S., Gao, S., Duan, Y., & Wang, D. (2020). Soil microbial community structure affected by biochar and fertilizer sources. *Applied Soil Ecology*, 150, 103452. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103452>
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 36. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>
- Duan, Y., Awasthi, M. K., Wu, H., Yang, J., Li, Z., Ni, X., Zhang, J., Zhang, Z., & Li, H. (2022). Biochar regulates bacterial-fungal diversity and associated enzymatic activity during sheep manure composting. *Bioresource Technology*, 346, 126647. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126647>
- Escalante, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., Etchevers Barra, J. D., Rebolledo, E., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., & Valtierra Pacheco D Etchevers Barra, E. J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Tierra Latinoamericana*, 34(3). <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Escobar Escobar, N., Mora Delgado, J., & Romero Jola, N. J. (2012). Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de

- Cundinamarca. *Boletín Científico Centro de Museo de Historia Natural*, 16(1).
<https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/4575>
- Espinoza, E. (2022). *Obtención de subproductos derivados de la carbonización hidrotermal de materiales adsorbentes derivados de residuos agroindustrial* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes].
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/63425>
- Gamboa, J. (2021). *Producción y aplicación de biocarbón a partir de biomasa residual para mejorar la calidad de suelos agrícolas. Revisión sistemática, 2020* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60501>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource. In *Pastos y Forrajes* (Vol. 35, Issue 2).
- González, V., & Pomares, F. (2008). La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica*.
- Goswami, M., Pant, G., Mansotra, D. K., Sharma, S., & Joshi, P. C. (2021). *Biochar: A Carbon Negative Technology for Combating Climate Change* (pp. 251–272).
https://doi.org/10.1007/978-981-16-0638-0_11
- Guo, X., Liu, H., & Zhang, J. (2020). The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management*, 102, 884–899.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.003>
- Hogarth, P. J. (2015). *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198716549.001.0001>
- Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., & Bolan, N. (2020). Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. *Biochar*, 2(4), 379–420.
<https://doi.org/10.1007/s42773-020-00065-z>
- Hu, Y., Zheng, Q., Noll, L., Zhang, S., & Wanek, W. (2020). Direct measurement of the in situ decomposition of microbial-derived soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 141, 107660. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107660>
- Infante, E. (2022). *Efecto del biocarbón de biomasa agrícola y bacterias aisladas de aguas residuales para la remoción de fosfatos de efluentes agrícolas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Tumbes].
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/2659>

- Kalina, M., Sovova, S., Svec, J., Trudicova, M., Hajzler, J., Kubikova, L., & Enev, V. (2022). The Effect of Pyrolysis Temperature and the Source Biomass on the Properties of Biochar Produced for the Agronomical Applications as the Soil Conditioner. *Materials*, 15(24), 8855. <https://doi.org/10.3390/ma15248855>
- Koolen, H. H. F., Soares, E. R., Silva, F. M. A. da, Almeida, R. A. de, Souza, A. D. L. de, Medeiros, L. S. de, Rodrigues Filho, E., & Souza, A. Q. L. de. (2012). An antimicrobial alkaloid and other metabolites produced by *Penicillium* sp. An endophytic fungus isolated from *Mauritia flexuosa* L. f. *Química Nova*, 35(4), 771–774. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000400022>
- Lang, J., Matějová, L., Cuentas-Gallegos, A. K., Lobato-Peralta, D. R., Ainassaari, K., Gómez, M. M., Solís, J. L., Mondal, D., Keiski, R. L., & Cruz, G. J. F. (2021). Evaluation and selection of biochars and hydrochars derived from agricultural wastes for the use as adsorbent and energy storage materials. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105979. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105979>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- 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, 141593. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141593>
- Maçik, M., Gryta, A., & Fraç, M. (2020). *Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms* (pp. 31–87). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.001>
- Márquez-Riquel, M., Navas-Yamarte, P., Yegres, F., & Vivas-Espejo, C. (2015). Biodegradación parcial de aceites residuales usados utilizando *Aspergillus niger*, *Rhizopus* sp. y *Saccharomyces cerevisiae*. *Química Viva*, 14(1), 90–102.
- Miller, R. M., & Jastrow, J. D. (2000). Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure. In *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function* (pp. 3–18). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_1
- Mora, W. F. (2015). *Efecto de hongos degradadores de lignina sobre la recuperación de la calidad del suelo en plantaciones de (Tectona grandis L.) (Teca)*. Quevedo. Año 2014. *Plan de Manejo Ambiental*, [Tesis de maestría, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4952>

- Muñoz, V. (2019). *Rol de la materia orgánica en la calidad del suelo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/5170>
- Ndoug, O. C. N., Figueiredo, C. C. de, & Ramos, M. L. G. (2021). A scoping review on biochar-based fertilizers: enrichment techniques and agro-environmental application. In *Heliyon* (Vol. 7, Issue 12). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08473>
- Nguyen, T. T. N., Wallace, H. M., Xu, C.-Y., (Van) Zwieten, L., Weng, Z. H., Xu, Z., Che, R., Tahmasbian, I., Hu, H.-W., & Bai, S. H. (2018). The effects of short term, long term and reapplication of biochar on soil bacteria. *Science of The Total Environment*, 636, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.278>
- Osorio-Vega, N. W. (2009). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad y absorción de nutrientes por las plantas. In *Materia orgánica biología del suelo y productividad agrícola: Segundo seminario regional comité regional eje cafetero* (pp. 43–71). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0003_3
- Palansooriya, K. N., Wong, J. T. F., Hashimoto, Y., Huang, L., Rinklebe, J., Chang, S. X., Bolan, N., Wang, H., & Ok, Y. S. (2019). Response of microbial communities to biochar-amended soils: a critical review. *Biochar*, 1(1), 3–22. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00009-2>
- Panwar, N. L., Pawar, A., & Salvi, B. L. (2019). Comprehensive review on production and utilization of biochar. *SN Applied Sciences*, 1(2), 168. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0172-6>
- Paolini, J. E. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los Andes venezolanos. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(1), 13. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>
- Pascual, F. J., Marina Blanco Moya, S., Luis, J., Martín, R., & Van Dillewijn, P. (2014). *El efecto del clima en la biogeografía microbiana del suelo asociado a plantas en sierra nevada*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/parques-nacionales-oapn/red-parques-nacionales/programa-investigacion/23-electodelclimaenlabiogeografia459-475_tcm30-445453.pdf
- Rajendiran, N., Ganesan, S., Weichgrebe, D., & Venkatachalam, S. S. (2023). Optimization of pyrolysis process parameters for the production of biochar from

- banana peduncle fibrous waste and its characterization. *Clean Technologies and Environmental Policy*. <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02592-2>
- Reyes-Pallazhco, J. M., Leon-Cabrera, P., & Barrezueta-Unda, S. (2023). Respuesta del cultivo de banano a diferentes proporciones de microorganismos y biochar en dos texturas de suelo. *Manglar*, 20(2), 109–115. <https://doi.org/10.57188/manglar.2023.012>
- Salamanca, C., Silva, M., Navas, G., & Bernal, J. (1998). *Dinámica poblacional de los microorganismos rizosféricos en diferentes sistemas de producción en la Orinoquia Colombiana* (G. Romero, D. Aristizabal, & C. Jaramillo, Eds.). Biblioteca Pública Municipal Germán Arciniegas.
- Santamaria, J. A., & Rossignoli, C. E. (2021). *Efecto de la aplicación de biocarbón sobre propiedades químicas de suelo y desarrollo y rendimiento de lechuga* [Proyecto especial de graduación]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Seow, Y. X., Tan, Y. H., Mubarak, N. M., Kansedo, J., Khalid, M., Ibrahim, M. L., & Ghasemi, M. (2022). A review on biochar production from different biomass wastes by recent carbonization technologies and its sustainable applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 107017. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107017>
- Tang, C., Yang, F., & Antonietti, M. (2022). Carbon Materials Advancing Microorganisms in Driving Soil Organic Carbon Regulation. *Research*, 2022. <https://doi.org/10.34133/2022/9857374>
- Tang, S., Ma, Q., Marsden, K. A., Chadwick, D. R., Luo, Y., Kuzyakov, Y., Wu, L., & Jones, D. L. (2023). Microbial community succession in soil is mainly driven by carbon and nitrogen contents rather than phosphorus and sulphur contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 180, 109019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109019>
- Tkachenko, V., Marzban, N., Vogl, S., Filonenko, S., & Antonietti, M. (2023). Chemical insights into the base-tuned hydrothermal treatment of side stream biomasses. *Sustainable Energy & Fuels*, 7(3), 769–777. <https://doi.org/10.1039/D2SE01513G>
- Tong, H., Hu, M., Li, F. B., Liu, C. S., & Chen, M. J. (2014). Biochar enhances the microbial and chemical transformation of pentachlorophenol in paddy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 70, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.12.012>

- Velázquez-Del-Valle, M. G., Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Guerra-Sánchez, M. G., & Amora-Lazcano, E. (2008). Estrategias de Control de *Rhizopus stolonifer* Ehrenb. (Ex Fr.) Lind, Agente Causal de Pudriciones Postcosecha en Productos Agrícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 26(1).
- Wang, J., Riaz, M., Babar, S., Xia, H., Li, Y., Xia, X., Wang, X., & Jiang, C. (2023). Iron-modified biochar reduces nitrogen loss and improves nitrogen retention in Luvisols by adsorption and microbial regulation. *Science of The Total Environment*, 879, 163196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163196>
- Wangdi, K., Khongdee, N., Intanon, S., Samaksaman, U., Spreer, W., Kiravittaya, S., & Pansak, W. (2023). Characterization of Rice Husk Biochar and Its Particle Size Effects on Soil Properties in Sandy Loam Soil. *GMSARN International Journal*, 17, 389–395.
- Warren, S. D. (2022). Microorganisms of the Phyllosphere: Origin, Transport, and Ecological Functions. In *Frontiers in Forests and Global Change* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.843168>
- Xu, H., Cai, A., Wu, D., Liang, G., Xiao, J., Xu, M., Colinet, G., & Zhang, W. (2021). Effects of biochar application on crop productivity, soil carbon sequestration, and global warming potential controlled by biochar C:N ratio and soil pH: A global meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 213, 105125. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105125>

Anexos

Anexo 1. Coordenadas del área de concesión forestal – Untumbes

Tabla 7. Coordenadas del área concesión forestal

Vértice	Este	Norte	Lado	Distancia
A	563 120,40	9 602 089,41	A – B	325, 5608
B	563 444,15	9 602 055,13	B -C	342, 1172
C	563 752,39	9 601 906,71	C -D	533, 9724
D	564 243,63	9 601 697,38	D – E	286, 6201
E	564 243,63	9 601 984,00	E -F	597, 7103
F	564 841,04	9 601 965,26	F – G	227, 6634
G	565 052,55	9 601 881,05	G -H	710, 8636
H	564 969,55	9 601 175,04	H – I	927, 4832
I	564 052,55	9 601 036,04	I -J	1264, 644
J	563 097,66	9 601 865,21	J -A	225, 3498

Fuente: Plan de manejo forestal de conservación de la Untumbes,
Datum PSAD 6, Zona 17s

Anexo 2. Muestreo de suelo



Figura 18. a) Medición de profundidad de la muestra b) Muestra de suelo.

Anexo 3. Resultados de las pruebas microbiológicas

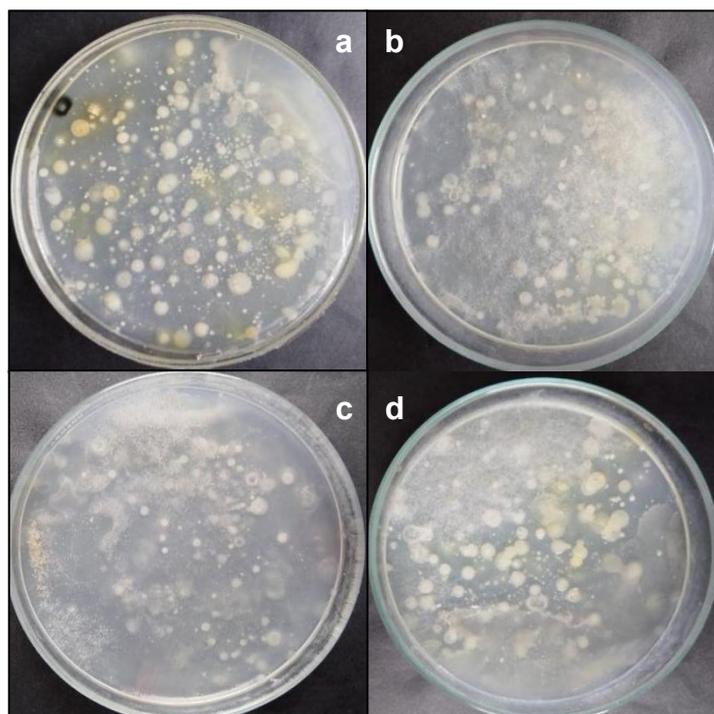


Figura 19. Testigo Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

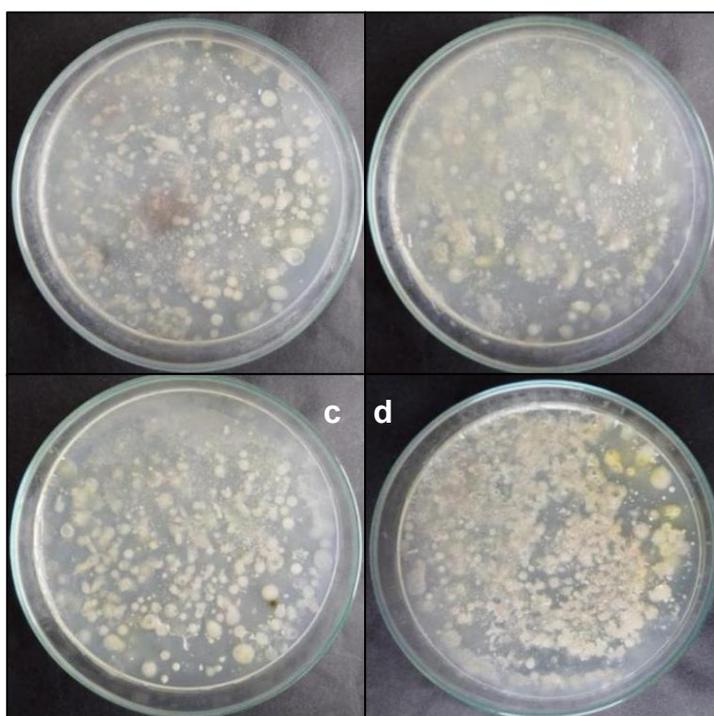


Figura 20. Tratamiento 1 - 0,5% biocarbón Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

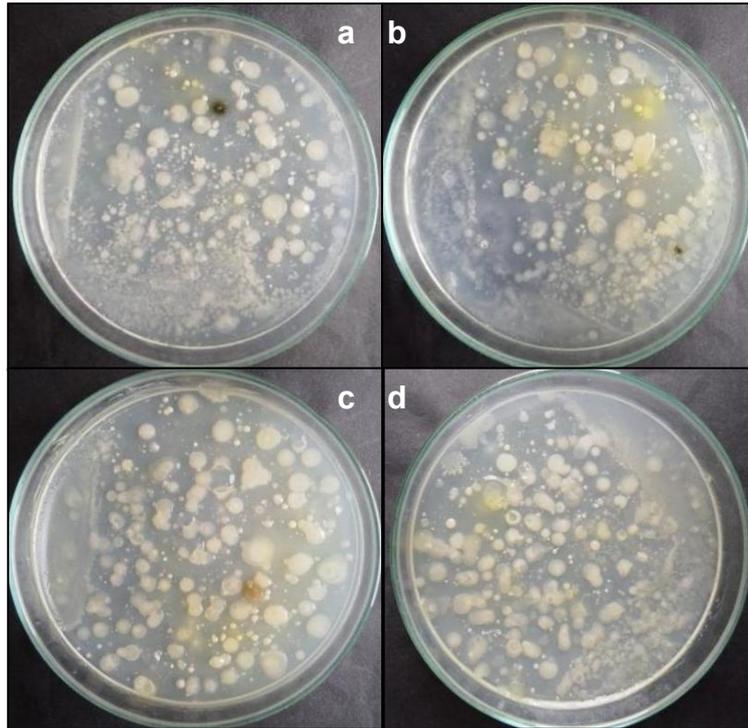


Figura 21. Tratamiento 2 – 1,5 % Biocarbón Hito A. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

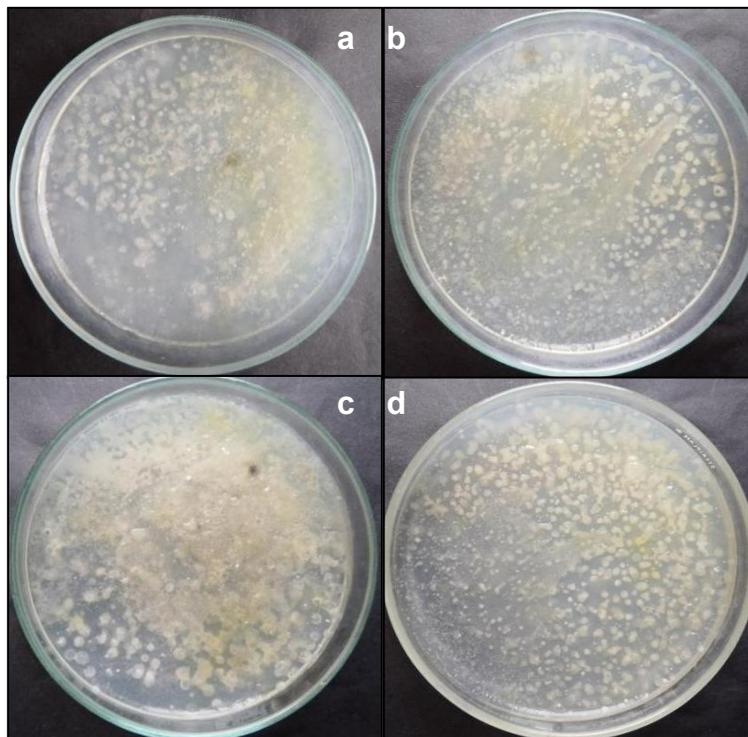


Figura 22. Tratamiento 3 – 3 % Biocarbón Hito A a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

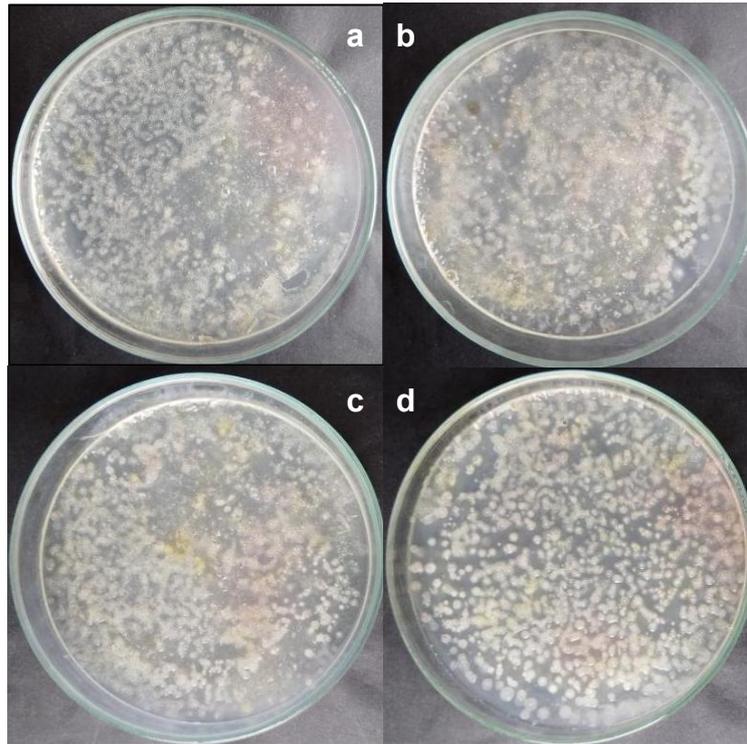


Figura 23. *Testigo Hito B. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.*

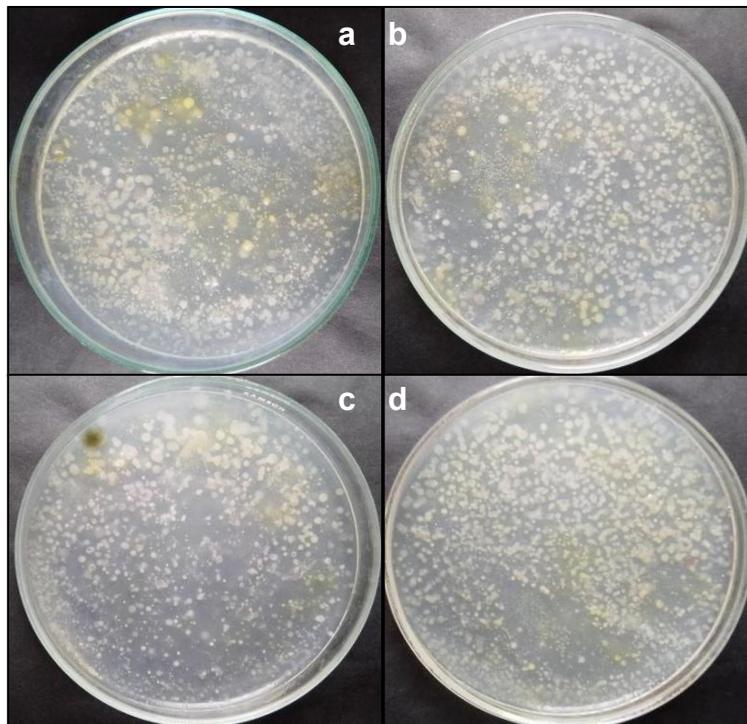


Figura 24. *Tratamiento 1- 0.5% Biocarbón a) Repetición 1 b) Repetición 2 c) Repetición 3 d) Repetición 4*

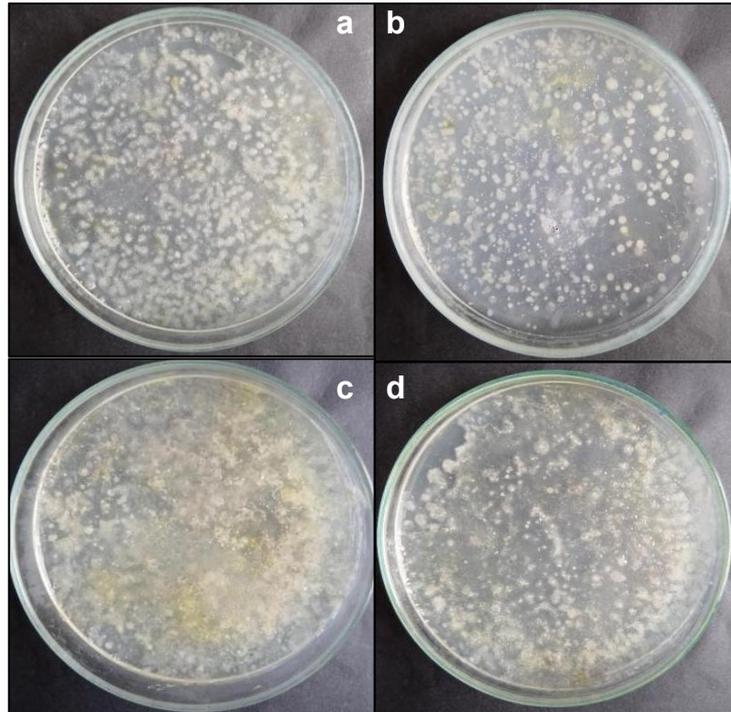


Figura 25. Tratamiento 2- 1.5 % Biocarbón Hito B. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

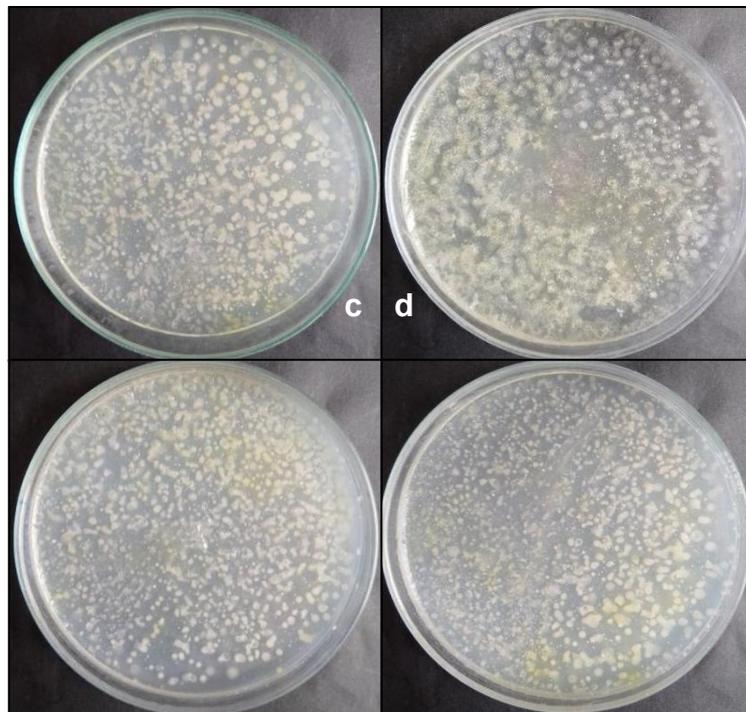


Figura 26. Tratamiento 3 - 3 % Biocarbón. a) Repetición 1. b) Repetición 2. c) Repetición 3. d) Repetición 4.

Anexo 4. Tablas de análisis microbiano

Tabla 8. Población de Análisis Microbiano "Hito A" del testigo.

Testigo Hito A	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	250	1150	17050	0	0	0	4500	950	100
18 DE OCT	0	0	0	0	250	150	67500	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	0	0	87500	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	400	50	93000	0	0
PROMEDIO	62.5	287.5	4262.5	0	162.5	50	63125	237.5	25

Tabla 9. Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T1 – SF + 0,5B.

T1-SF+0,5B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	4500	14800	0	0	0	81900	3300	0
18 DE OCT	0	50	0	0	100	150	86750	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	750	0	97800	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	50	0	86700	0	0
PROMEDIO	0	1137.5	3700	0	225	37.5	88287.5	825	0

Tabla 10. Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T2 – SF + 1,5B

T2-SF+1,5B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	3400	4250	0	0	0	82000	4600	0
18 DE OCT	0	0	0	0	200	50	100500	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	1550	0	90850	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	950	100	76950	0	50
PROMEDIO	0	850	1062.5	0	675	37.5	87575	1150	12.5

Tabla 11. Población de Análisis Microbiano "Hito A" del T3 – SF + 3B.

T3-SF+3B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	50	9350	0	0	0	51850	700	0
18 DE OCT	0	0	0	0	250	500	57850	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	0	0	625800	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	100	200	69150	0	0
PROMEDIO	0	12.5	2337.5	0	87.5	175	201162.5	175	0

Tabla 12. Población de Análisis Microbiano "Hito B" del testigo.

Testigo Hito B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	0	15300	0	0	0	67500	125	0
18 DE OCT	0	0	0	0	600	0	77450	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	200	0	91950	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	300	100	88800	0	0
PROMEDIO	0	0	3825	0	275	25	81425	31.25	0

Tabla 13. Población de Análisis Microbiano "Hito B " del T1 – SF + 0,5B.

T1-SF+0,5B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	0	2850	0	0	0	86750	0	1150
18 DE OCT	0	0	0	0	550	0	95800	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	0	0	101750	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	300	100	88800	0	0
PROMEDIO	0	0	712.5	0	212.5	25	93275	0	287.5

Tabla 14. Población de Análisis Microbiano "Hito B" del T2 – SF + 1,5B.

T2-SF+1,5B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	0	0	0	0	0	100500	150	3450
18 DE OCT	0	0	0	0	800	150	104800	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	600	0	103800	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	700	0	106150	0	0
PROMEDIO	0	0	0	0	525	37.5	103812.5	37.5	862.5

Tabla 15. Población de Análisis Microbiano "Hito B" del T3 – SF + 3B.

T3-SF+3B	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
26 DE SEP	0	0	5300	0	0	0	57850	550	700
18 DE OCT	0	0	0	0	500	0	106000	0	0
07 DE NOV	0	0	0	0	4404	550	112500	0	0
27 DE NOV	0	0	0	0	0	0	106250	0	0
PROMEDIO	0	0	1325	0	1226	137.5	95650	137.5	175

Tabla 16. Población de Análisis Microbiano "Hito A" de los tratamientos.

Tratamientos	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
Testigo	62.5	287.5	4262.5	0	162.5	50	63125	237.5	25
T1-SF+0,5B	0	1137.5	3700	0	225	37.5	88287.5	825	0
T2-SF+1,5B	0	850	1062.5	0	675	37.5	87575	1150	12.5
T3-SF+3B	0	12.5	2337.5	0	87.5	175	201162.5	175	0

Tabla 17. Población de Análisis Microbiano "Hito B" de los tratamientos.

Tratamientos	Trichoderma	Penicillium	Aspergillus	Fusarium	Rhizopus	Alternaria	Bacterias	Mucor	Otros
Testigo	0	0	3825	0	275	25	81425	31.25	0
T1-SF+0,5B	0	0	712.5	0	212.5	25	93275	0	0
T2-SF+1,5B	0	0	0	0	525	37.5	103812.5	37.5	862.5
T3-SF+3B	0	0	1325	0	1226	137.5	95650	137.5	175