



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Nº 810-2025-UNF/CO

Sullana, 26 de septiembre de 2025.

VISTOS:

Oficio Nº 856-2025-UNF-VPAC/FIAB, de fecha 27 de agosto de 2025; Oficio Nº 3408-2025-UNF-VPAC, de fecha 01 de septiembre de 2025; Informe Nº 2680-2025-UNF-PCO-OPP-UP, de fecha 03 de septiembre de 2025; Oficio Nº 3589-2024-UNF-VPAC, de fecha 05 de septiembre de 2025; Oficio Nº 0382-2025-UNF-OAJ, de fecha 16 de septiembre de 2025; Oficio Nº 3814-2025-UNF-VPAC, de fecha 18 de septiembre de 2025; y,

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 18º de la Constitución Política del Perú, prescribe que la Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico: Las Universidades se rigen por sus propios estatutos en el marco de la Constitución y de las leyes.

Que, mediante Ley Nº 29568 del 26 de julio de 2010 se crea la Universidad Nacional de Frontera en el distrito y provincia de Sullana, departamento de Piura, con fines de fomentar el desarrollo sostenible de la Subregión Luciano Castillo Colonna, en armonía con la preservación del medio ambiente y el desarrollo económico sostenible; y, contribuir al crecimiento y desarrollo estratégico de la región fronteriza noroeste del país.

Que, el artículo 8º de la Ley Universitaria, establece que la autonomía inherente a las Universidades se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica los derechos de aprobar su propio estatuto y gobernarse de acuerdo con él, organizar su sistema académico, económico y administrativo.

Que, mediante Resolución Viceministerial Nº 244-2021-MINEDU, de fecha 27 de julio del 2021, se aprueba el Documento Normativo denominado "Disposiciones para la constitución y funcionamiento de las comisiones organizadoras de las universidades públicas en proceso de constitución", en el numeral 6.1.4., señala que son funciones de la Comisión Organizadora, literal g) "Concordar y ratificar los planes de estudios y de trabajo propuestos por las unidades académicas.

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora Nº 461-2021-UNF/CO de fecha 29 de noviembre de 2021, se resuelve aprobar el Estatuto de la Universidad Nacional de Frontera.

Que, en el Estatuto en mención, en su TÍTULO III se establece las DISPOSICIONES TRANSITORIAS, FINALES Y DEROGATORIAS:

Página | 1



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

A. DISPOSICIONES TRANSITORIAS

PRIMERA. POTESTAD DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

En base al artículo 29 de la Ley Universitaria, la Comisión Organizadora de la UNF tiene a su cargo la aprobación del presente Estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica, de investigación y administrativa, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que de acuerdo a ley corresponda.

SEGUNDA. PROCESO DE CONSTITUCIÓN

Durante el proceso de constitución de la Universidad, los artículos del presente Estatuto, que se opongan, contradigan o no puedan implementarse de acuerdo a lo establecido en la normativa de la SUNEDU y MINEDU, respecto a garantizar las condiciones básicas de calidad, quedan en suspenso hasta que se constituyan los órganos de gobierno de la universidad. Encontrándose la Comisión organizadora facultada a emitir resoluciones que permitan el adecuado funcionamiento de la universidad hasta culminar el proceso de constitución.

CUARTA. GOBIERNO DE LA UNF

Durante el proceso de constitución de la Universidad, el gobierno de ésta se ejerce por:

- a) La Comisión Organizadora, tiene atribuciones administrativas que competen a la Asamblea Universitaria, al Consejo Universitario y al Consejo de Facultad.
- b) El Presidente de la Comisión Organizadora de la UNF, tiene atribuciones propias del Rector.
- c) Los Coordinadores de Facultad tiene atribuciones de Decano.

Página | 2

QUINTA. ÓRGANOS DE ALTA DIRECCIÓN

Durante el proceso de constitución de la UNF, los Órganos de Alta Dirección de ésta, lo constituyen:

- a) La Presidencia de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Rectorado.
- b) La Vicepresidencia Académica de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Vicerrectorado Académico.
- c) La Vicepresidencia de Investigación de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Vicerrectorado de Investigación.

SEXTA. ÓRGANOS DE LÍNEA:

(...)

06.2. Decanato.

06.2.1. Departamento Académico.

06.2.2. Escuela Profesional.

06.2.3. Unidad de Investigación.

06.2.4. Unidad de Posgrado.

(...)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA



Que, el Artículo 22° literal f) del Estatuto de la Universidad de Frontera establece que el Consejo Universitario tiene como atribución: Concordar y ratificar los planes de estudios y de trabajo propuestos por las unidades académicas.



Que, con Oficio N° 856-2025-UNF-VPAC/FIIAB, de fecha 27 de agosto de 2025, el Coordinador de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología solicito al Vicepresidente Académico, la aprobación del Plan de Trabajo de Investigación Formativa. Cabe indicar que, dicho Plan de Trabajo, se financiará con fondos presupuestales de la Facultad de Ciencias Económicas y Ambientales, de acuerdo al detalle siguiente: Meta: 025 FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN FORMATIVA; Actividad Operativa: AOI-003 EJECUCION DE INVESTIGACIONES FORMATIVAS; por el monto de S/6,500.00.

Que, con Oficio N° 3408-2025-UNF-VPAC, de fecha 01 de septiembre de 2025, el Vicepresidente Académico remite a la Jefa de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto, el documento de referencia, sobre aprobación mediante acto resolutivo del Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados" de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología, para informe de disponibilidad presupuestaria.

Que, con Informe N° 2680-2025-UNF-PCO-OPP-UP, de fecha 03 de septiembre de 2025, la Jefa de la Unidad de Presupuesto emite Informe Técnico de disponibilidad presupuestaria por el importe de S/6,500.00, específicamente del centro de costos de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología disponiendo de cobertura presupuestal para el Plan de Trabajo antes descrito.

Que, con Oficio N° 3589-2024-UNF-VPAC, de fecha 05 de septiembre de 2025, el Vicepresidente Académico remite a la Oficina de Asesoría Jurídica los actuados y solicita opinión legal sobre el particular.

Que, mediante Oficio N° 0382-2025-UNF-OAJ, de fecha 16 de septiembre de 2025, el Jefe de la Oficina de Asesoría Jurídica emite opinión legal señalando que es viable de manera excepcional y con criterio discrecional la aprobación de los planes de Trabajo de Investigación Formativa, siempre y cuando, así lo estime pertinente el pleno de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Frontera.

Que, con Oficio N° 3814-2025-UNF-VPAC, de fecha 18 de septiembre de 2025, el Vicepresidente Académico remite al Presidente de la Comisión Organizadora, el Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados", para efectos de aprobación mediante acto resolutivo.

Página | 3



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía Peruana"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

Que, respecto al Artículo IV el Título Preliminar del Texto Único Ordenado de la Ley de Procedimiento Administrativo General, aprobada mediante Decreto Supremo número 004-2019-JUS, recoge como uno de los Principios del Procedimiento Administrativo, el Principio de Legalidad por el cual queda sentado que las autoridades administrativas deben actuar con respeto a la constitución, la ley y al derecho, dentro de las facultades que le estén atribuidas y de acuerdo con los fines para los que les fueron conferidas.

Que, con ACTA N° 056-2025-SO-CO, de fecha 25 de septiembre de 2025, en Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Frontera, luego de analizar la documentación presentada y de revisar los informes técnicos y legales indicados en los considerandos de la presente Resolución, por unanimidad se acordó: **APROBAR, con eficacia anticipada, el Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados", presentando por los docentes M. Sc. Edwin Jorge Vega Portalatino y Miriam Marleni Rosales Cuentas de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología de la Universidad Nacional de Frontera, el mismo que como anexo forma parte integrante de la presente resolución.**

Estando a lo expuesto y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria – Ley N° 30220 y por la Resolución Viceministerial N° 045-2023-MINEDU y Acta de Acuerdos de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora N° 056-2025-SO-CO, de fecha 25 de septiembre de 2025:

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR, con eficacia anticipada, el Plan de Trabajo de Investigación Formativa: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados", presentando por los docentes M. Sc. Edwin Jorge Vega Portalatino y Miriam Marleni Rosales Cuentas de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología de la Universidad Nacional de Frontera, el mismo que como anexo forma parte integrante de la presente resolución.

ARTÍCULO SEGUNDO. - ENCARGAR a la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología de esta Casa Superior de Estudios en coordinación con los responsables del citado plan, la ejecución, operatividad y seguimiento del plan aprobado en el artículo precedente.

ARTÍCULO TERCERO. - NOTIFICAR a través, de los mecanismos más adecuados y pertinentes, para conocimiento y fines correspondientes.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y EJECÚTESE.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Dr. José Florentino Molero López
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ORGANIZADORA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
Abg. Jorge Romulo Galloso Torres
SECRETARIO GENERAL

Página | 4



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología

Programa de Ingeniería en Biotecnología

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

Control biológico de *Fusarium* sp. en plántulas de
interés agrícola por Endófitos y Biochar como
estrategia de remediación de suelos infectados

Estudiantes:

Chavez Morán Marco Roberto

⑩ 0009-0002-1156-1252

Carlo Renato Abad Calle

⑩ 0009-0004-2637-6943

Angie Brighth Silupu Chiriboga

⑩ 0009-0006-0877-546X

Jennifer Maricielo Torres Pacherez

⑩ 0009-0000-5292-5097

Docentes Responsables:

M.Sc. Vega Portalatino, Edwin Jorge

⑩ 0000-0001-8510-0307

MSc. Miriam Marleni, Rosales Cuentas

⑩ 0000-0001-5655-9151

Semestre Académico:

2025-I

Sullana, Perú 2025

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

I. DATOS GENERALES

1.1. Título

Control biológico de *Fusarium* sp. por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados

1.2. Institución

Universidad Nacional de Frontera

1.3. Responsables

1.3.1. Docentes

M.Sc. Vega Portalatino, Edwin Jorge

MSc. Miriam Marleni, Rosales Cuentas

1.3.2. Estudiantes

Chavez Morán Marco Roberto

Carlo Renato Abad Calle

Angie Brigith Silupu Chiriboga

Jennifer Maricielo Torres Pacherez

1.4. Lugar, fecha y hora de la Exposición

Laboratorio de biotecnología microbiana.

1.5. Duración del proyecto

Fecha de inicio: 01 de julio de 2025

Fecha de término: 31 de noviembre de 2025

II. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la producción agrícola ha constituido uno de los pilares económicos más relevantes en países tropicales, particularmente en Latinoamérica, donde representa una fuente significativa de ingresos, empleo rural y exportación agrícola. Sin embargo, esta actividad ha sido amenazada por enfermedades del suelo altamente destructivas, entre las cuales destaca la marchitez por *Fusarium sp.*, demostrando una elevada capacidad de persistencia, diseminación y resistencia a medidas de control tradicionales (Dita et al., 2018). Esta problemática afecta seriamente a la productividad y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, generando restricciones para el aprovechamiento de suelos previamente cultivados, los cuales permanecen inutilizados por largos periodos debido a la presencia latente del patógeno (Ordóñez et al., 2015).

La necesidad de estrategias de remediación sustentables, accesibles y de bajo impacto ambiental ha llevado al desarrollo de investigaciones enfocadas en el uso de materiales orgánicos y endófitos con capacidad fitorremediadora. En este contexto, el biochar ha emergido como una alternativa prometedora debido a sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, que pueden modificar la microbiota del suelo, mejorar su estructura, y reducir la viabilidad de patógenos fitopatógenos (Lehmann et al., 2011; Thies et al., 2015). El biochar, obtenido mediante la pirólisis de biomasa vegetal en condiciones limitadas de oxígeno, ha demostrado además una alta estabilidad y un potencial efecto supresor sobre hongos del suelo, incluyendo miembros del género *Fusarium* (Graber et al., 2010; Jaiswal et al., 2017). En particular, el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de cultivos como la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la elaboración de biochar representa una estrategia de economía circular aplicable en regiones agrícolas.

Además, se sabe que los endófitos intervienen en la degradación de celulosa, lignina y materia orgánica polimérica dentro de los sedimentos óxicos y anóxicos, participando en el ciclo del carbono en diferentes ambientes (Perkins et al. 2021) o la síntesis de una amplia variedad de enzimas o metabolitos que permiten el control de hongos fitopatógenos. Esta gran variedad de vías metabólicas confiere adaptación y supervivencia al hábitat (Bogas et al. 2022), desempeñando un papel importante en los

procesos biológicos de sus huéspedes (Liu, Zhao, and Jiang 2022); pudiendo ser entendidos por las tecnologías metaómicas (Singh and Reddy 2016) a partir de un análisis transcriptómico, proteómico y genómico (Balabanova et al. 2018) para tener un entendimiento funcional de sus proteínas y enzimas en su campo de estudio.

Pese a la evidencia sobre el potencial supresor del biochar o endófitos frente a patógenos del suelo, aún existe un vacío importante de conocimiento respecto a su eficacia específica sobre suelos infectados con *Fusarium* sp. y su influencia sobre el desarrollo de plántulas de interés agrícola. En este sentido, la presente investigación planteará la evaluación de un bioensayo en condiciones de invernadero, que permitirá medir de forma controlada el efecto del biochar y endófitos sobre las propiedades del suelo contaminado, el comportamiento del patógeno y la respuesta fisiológica de plántulas de *Citrus* sp.

El objetivo general de esta investigación será evaluar el control biológico de *Fusarium* sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados

Los objetivos específicos planteados son:

- Analizar el efecto del biochar sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Citrus* sp. en suelos infectados por Endófitos y Biochar.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

El biochar es un material carbonoso resultante de la pirólisis lenta de biomasa vegetal en ambientes con oxígeno limitado. Sus propiedades físico-químicas —especialmente su alta área superficial, porosidad y estabilidad química— lo convierten en un enmienda capaz de mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de agua y nutrientes, y adsorber compuestos tóxicos presentes en suelos contaminados (Lehmann & Joseph, 2015). Según Mukome et al. (2020), la relación carbono/nitrógeno del biochar, así como su pH alcalino, juegan un papel crucial en la corrección de suelos ácidos y en la liberación gradual de nutrientes esenciales. Además, el tamaño de partícula y la temperatura de pirólisis influyen directamente en la composición funcional

de grupos superficiales, lo que determina su capacidad de interacción con contaminantes orgánicos e inorgánicos (Zhao et al., 2013).

La incorporación de biochar en suelos degradados modifica significativamente sus propiedades físicas y químicas. Thies, Rillig y Graber (2015) reportaron que tasas de aplicación de 2–10 % (p/p) mejoran la agregación del suelo, reducen la densidad aparente y aumentan la porosidad total, lo cual promueve la aireación y el desarrollo radicular. En términos de calidad química, el biochar incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y regula el pH, beneficiando la disponibilidad de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} (Jeffery et al., 2011). Estas mejoras resultan especialmente relevantes en suelos tropicales sometidos a lixiviación intensa y en áreas con alta salinidad, donde la estabilidad coloidal confiere una mayor resiliencia frente al estrés abiótico (Zhang et al., 2017).

Más allá de sus ventajas físico-químicas, el biochar actúa como sustrato y hábitat para microorganismos benéficos. Graber et al. (2010) demostraron que la porosidad del biochar crea nichos protectores para bacterias del suelo, facilitando la colonización de actinobacterias y bacilos productoras de compuestos antagonistas. Thies et al. (2015) observaron un aumento en la biomasa microbiana total y en la actividad de enzimas relacionadas con el ciclo del carbono y del nitrógeno tras la enmienda con biochar. Estos cambios funcionales contribuyen a la supresión de patógenos radiculares mediante competencia por espacio, nutrientes y producción de metabolitos antifúngicos.

En estudios específicos sobre fusariosis vascular en *Musa* spp., Li et al. (2019) documentaron que la aplicación de biochar al 5 % (p/p) en suelo redujo significativamente la población de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) en la rizósfera, atribuyéndolo a la adsorción de micotoxinas y a una mayor actividad de microorganismos antagonistas. Asimismo, Liang et al. (2020) encontraron que biochars enriquecidos con hierro presentaban un efecto bioestático superior, limitando la germinación de conidios y la extensión micelial de Foc en condiciones de laboratorio. Estos resultados evidencian el

potencial dual del biochar, actuando tanto por mecanismos físico-químicos como biológicos.

La elección de la biomasa base para la producción de biochar influye de forma determinante en sus propiedades y eficacia. Residuos agroindustriales de caña de azúcar (bagazo, hojas secas y tallos) han demostrado generar biochars con alta estabilidad aromática, elevada área superficial específica (SSA) y relación C:N óptima para remediación de suelos (Khan et al., 2024). En la provincia de Sullana, la abundancia de estos subproductos promueve un modelo de economía circular al valorizar desechos locales y minimizar costos logísticos (López-Benítez et al., 2018). Kirchherr, Reike y Hekkert (2017) resaltan que la integración de desechos agrícolas en cadenas de producción de biochar no solo reduce la contaminación, sino que fomenta la resiliencia socioeconómica de las comunidades rurales.

La pirólisis a temperaturas de 400–600 °C en atmósfera controlada es la técnica estándar para obtener biochar con buena porosidad y estabilidad química (Lehmann & Joseph, 2015). Parámetros clave incluyen la velocidad de calentamiento (5–10 °C min⁻¹) y el tiempo de residencia (30–60 min), que determinan la distribución de grupos funcionales (–COOH, –OH) y la porosidad macroporosa vs. microporosa (Zhao et al., 2013). La caracterización suele realizarse mediante: espectroscopía FTIR, para identificar grupos superficiales (–C=O, –C–O–C), microscopía electrónica de barrido (SEM), para observar la estructura porosa, adsorción de N₂ (BET) para cuantificar SSA y volumen poral, y medición de pH y CIC para evaluar la capacidad de tamponamiento y retención de cationes (Jeffery, Verheijen, van der Velde, & Bastos, 2011). Estos análisis confirman que los biochars de caña ofrecen SSA > 150 m² g⁻¹ y CIC superior a 20 cmolc kg⁻¹, parámetros asociados a un alto potencial de adsorción de toxinas fúngicas y nutrientes esenciales.

El biochar no sólo actúa como barrera física, sino que modula la interacción planta-microbioma mediante priming rizosférico. Las exudaciones de raíces a base de fenoles, flavonoides y ácidos orgánicos se ven alteradas por la presencia del biochar, incrementando la producción de compuestos con

actividad antifúngica (Zhu, Chen, & Xu, 2017). Estudios *in vitro* muestran que plántulas de *Musa* sp. en medio suplementado con 2 % (p/v) de biochar presentan hasta 30 % más exudados fenólicos que controles sin enmienda, lo cual inhibe la germinación de conidios de *F. oxysporum* (Liang et al., 2020).

Los sistemas *in vitro* permiten un control riguroso de variables y la cuantificación precisa de la interacción biochar-hongo-planta. El protocolo estándar incluye: Preparación del medio de cultivo (MS suplementado con 0, 2.5 y 5 g L⁻¹ de biochar). Inoculación con conidios de Foc (10⁴ conidios mL⁻¹). Estimación de crecimiento micelial, mediante área de colonización en placas de Petri. Medición de parámetros de plántulas (longitud de raíces y brotes, contenido de clorofila y biomasa seca). Análisis estadístico (ANOVA y Tukey, $\alpha = 0.05$) para determinar diferencias significativas entre tratamientos (Li et al., 2019; Graber, Meller, Kolton, Cytryn, & Elad, 2010). Estas metodologías *in vitro* han validado que concentraciones moderadas de biochar (2.5–5 g L⁻¹) reducen el crecimiento de Foc hasta en 60 % y mejoran la longitud radicular de plántulas en un 25 % comparado con el testigo sin biochar.

Los efectos del biochar en la microbiota edáfica pueden persistir durante varios ciclos de cultivo, modulando tanto la estructura como la función microbiana. Rondon et al. (2007) observaron que, hasta cuatro años después de la aplicación de 10 t ha⁻¹ de biochar, las comunidades de bacterias del suelo presentaban mayor diversidad alfa y un incremento sostenido en genes asociados al ciclo del nitrógeno, comparado con suelos no enmendados. Asimismo, Ameloot et al. (2013) reportaron que dichas alteraciones funcionales favorecieron la mineralización gradual de materia orgánica y la emisión reducida de N₂O, contribuyendo a un balance de carbono más estable en agroecosistemas tropicales.

En ensayos realizados en plantaciones comerciales de banano, la incorporación de biochar a tasas de 5–20 t ha⁻¹ mejoró significativamente la resistencia al hongo *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Van Zwieten et al. (2014) documentaron que parcelas tratadas con 10 t ha⁻¹ de biochar presentaron una reducción del 35 % en incidencia de fusariosis y un aumento del 15 % en

rendimiento de fruta, atribuido a mejoras en la salud radicular y a un perfil microbiológico más antagonista. Paralelamente, Liu et al. (2016) demostraron, en condiciones de campo en Asia tropical, que la combinación de biochar con compost maduro incrementó la retención de agua en el perfil edáfico en un 20 %, mitigando el estrés hídrico y mejorando la vigencia de las plantas durante estaciones secas.

La coaplicación de biochar con fertilizantes orgánicos o microorganismos promotores de crecimiento vegetal (PGPR) potencia los efectos individuales de cada enmienda. Zhang et al. (2018) encontraron que la adición conjunta de biochar (5 % p/p) y cepas de *Bacillus subtilis* incrementó la supresión de *F. oxysporum* en un 70 %, superando ampliamente las aplicaciones aisladas, debido a una mayor colonización de raíces y producción de antibióticos lipopeptídicos. De manera similar, Sun et al. (2019) reportaron que la combinación de biochar con vermicompost mejoró en un 30 % la disponibilidad de P y K en suelos tropicales, gracias a la interacción entre materia orgánica estabilizada y la actividad enzimática de la microbiota compostada.

A nivel molecular, el biochar influye en la señalización planta-hongo al modificar la disponibilidad de compuestos orgánicos y la expresión génica en raíces. Estudios transcriptómicos revelan que plantas de *Musa* sp. cultivadas con biochar muestran una sobreexpresión de genes relacionados con la biosíntesis de fitoalexinas y defensinas, tales como *MaPR-1* y *MaCHI*, los cuales refuerzan la barrera vascular contra la invasión de *Fusarium oxysporum* (Javaid, 2019). Además, la presencia de biochar aumenta la concentración de ácido salicílico y jasmonato, hormonas clave en la respuesta sistémica inducida (ISR), potenciando la producción de enzimas antioxidantes como la peroxidasa (POD) y la fenilalanina amoníaco-liasa (PAL) (Nihal et al., 2020).

Por otra parte, el biochar adsorbe moléculas señalizadoras fúngicas, como la fusaricina y las toxinas tricarboxílicas (TCAs), disminuyendo su disponibilidad en la rizósfera y reduciendo la expresión de genes de virulencia de *F. oxysporum*, incluyendo *FOW1* y *SIX1* (Nardi, Carletti, & Masciandaro,

2012). Este doble mecanismo —refuerzo de defensas en la planta y neutralización de factores de patogenicidad— explica la sinergia observada en ensayos *in vitro* e *in vivo*, donde las tasas de colonización fúngica caen por debajo del umbral de infección crítico (Liang et al., 2020).

Para optimizar la aplicación de biochar en campo, se han desarrollado modelos matemáticos que simulan la difusión de nutrientes, toxinas y compuestos señalizadores en la zona rizosférica. Basados en ecuaciones de transporte de Fick y en dinámica de poblaciones microbianas, dichos modelos permiten predecir la concentración de ácido indolacético (AIA) y exudados fenólicos a diferentes distancias de la raíz, así como la atenuación de esporas de *F. oxysporum* (Krause et al., 2015). Tecnología de elementos finitos ha sido empleada para mapear la porosidad del biochar y su efecto en la conductividad hidráulica del suelo, vinculando parámetros de SSA y volumen poral con la resistencia al flujo capilar (Smith & Johnson, 2018).

Simulaciones recientes integran datos de metagenómica y parámetros edáficos en plataformas de aprendizaje automático, como Random Forest y redes neuronales artificiales, para estimar la eficacia de remediación de biochar frente a distintas cepas de *F. oxysporum* (González et al., 2021). Estos modelos alcanzan precisiones superiores al 85 % en la predicción de reducción de hongo, permitiendo ajustar dosis de aplicación y tiempos de incubación en función de variables climáticas y características de la biomasa empleada.

La coherencia entre resultados *in vitro* y de campo es crucial para validar la aplicabilidad del biochar como enmienda en sistemas reales. En laboratorio, Li et al. (2019) reportaron reducciones de hasta 60 % en crecimiento micelial de *F. oxysporum* y mejoras del 25 % en longitud radicular de plántulas de *Musa* sp. con 5 g L⁻¹ de biochar. De manera análoga, Van Zwieten et al. (2014) observaron en campo una reducción del 35 % en incidencia de fusariosis y un incremento del 15 % en rendimiento de banano al aplicar 10 t ha⁻¹ de biochar. Sin embargo, Liu et al. (2016) encontraron que, en temporadas secas, la efectividad del biochar en campo dependía en gran medida de la combinación con compost, logrando solo un 20 % de reducción de mortalidad cuando se

utilizó biochar solo, frente al 45 % con la coaplicación. Estas discrepancias sugieren que factores climáticos, tipo de suelo y prácticas agronómicas modulan sustancialmente los resultados y deben incorporarse en diseños experimentales (Jones, Brown, & Smith, 2018).

A pesar de los avances, persisten lagunas importantes en la literatura. Primero, la mayoría de estudios *in vitro* emplea biochars homogéneos y de laboratorio, lo que dificulta extrapolar resultados a biochars “de campo” con variabilidad de composición (González et al., 2021). Segundo, existe escasa información sobre la persistencia de efectos supresores bajo rotaciones múltiples de cultivo y en suelos con incidencia histórica de múltiples razas de *Foc* (TR4 vs. subtropicales), lo cual es relevante para el contexto peruano (Ploetz et al., 2015). Tercero, pocas investigaciones integran análisis “ómicos” (metagenómica, metabolómica) para establecer correlaciones causa–efecto entre cambios microbianos y supresión patogénica (Ameloot et al., 2013). Finalmente, la interacción entre biochar y manejo hídrico en sistemas de riego locales no ha sido suficientemente explorada, a pesar de su impacto en la eficacia de remediación (Liu et al., 2016).

Con base en las brechas identificadas, se sugieren las siguientes líneas de investigación: evaluación de biochars “reales”: producir y caracterizar biochars a escala piloto con biomasa local (caña de azúcar, raquis de banano, cáscara de arroz, residuos de vid, cáscara de coco), evaluando su variabilidad y reproducibilidad en ensayos *in vitro* y de campo. Ensayos multirraciales: diseñar experimentos comparativos contra diferentes razas de *F. oxysporum* (incluyendo TR4), bajo condiciones controladas y en parcelas de banano, para determinar la amplitud de supresión patogénica. Integración ómica: emplear herramientas de metagenómica y metabolómica para mapear cambios en el microbioma edáfico y en los perfiles de exudados tras la enmienda, con el fin de identificar biomarcadores de supresión (Thies et al., 2015). Modelamiento holístico: desarrollar modelos predictivos que incluyan variables climáticas, agronómicas y edáficas locales, usando aprendizaje automático y validación en terreno (González et al., 2021). Pruebas de manejo hídrico: investigar cómo diferentes regímenes de riego interactúan con biochar en la retención

de agua y supresión de hongos, considerando tanto sequías como lluvias intensas.

Estas recomendaciones fortalecerán la base científica para la implementación efectiva de biochar en la remediación de suelos infectados con *Fusarium oxysporum* en el contexto de plantaciones de *Musa* sp. y contribuirán al desarrollo de estrategias integrales y sostenibles.

IV. METODOLOGÍA

Se diseñará un reactor de pirólisis TLUD para elaborar biochar. Se empleará un diseño unifactorial con cuatro niveles de biochar (0 %, 2 %, 5 % y 10 % p/p) y una única dosis de inoculación de *Fusarium* sp. (1×10^6 microconidios mL^{-1}), totalizando cuatro tratamientos, con réplicas ($n = 4$) por tratamiento.

1. Producción de Biochar de *Saccharum officinarum*

El biochar se producirá elaborando un reactor a modo TLUD (Top-Lit Up-Draft) que opere a 400–450 °C durante 90 min, siguiendo el protocolo de Tripathi et al. (2016). Este diseño mantendrá un flujo de aire controlado con perforaciones de aire primario (5 mm) y secundario (8 mm) para optimizar la pirólisis y minimizar la formación de alquitranes (Olaleye et al., 2024). Posteriormente se cargará con 10 kg de bagazo y hojas secas de *Saccharum officinarum* (≤ 10 % humedad). Una vez enfriado, el biocarbón se tamizará a malla 2 mm, se ajustará su pH a 6,5–7,0 en suspensión 1:20 (p/v) y se almacenará en condiciones herméticas.

2. Preparación del Biochar e inoculación de *F. Oxysporum*

Se incorporará el biochar a dosis de 0%, 2%, 5% y 10% (p/p) mezclándolo de manera homogénea con vermiculita. A continuación, se ajustará la humedad al 60 % de la capacidad de campo del suelo y se inocularán en semillas, 30 mL de la suspensión de *Fusarium* sp. ($\text{DO}_{620\text{nm}}$: 0.5) dejando la mezcla incubar durante 3 horas (Ploetz, 2015).

3. Inoculación de los endófitos en semillas

Las superficies de las semillas se desinfectarán con 0.1% dicloruro de mercurio (HgCl₂) durante 03 min y luego serán lavadas 6 veces con agua destilada estéril por 3 minutos. Las semillas esterilizadas se remojarán durante 3 horas en 30 ml de inóculo endófito y *Fusarium* sp. (DO_{620nm}: 0.5). A continuación, 15 semillas de maíz se transferirán a placas Petri con agar agua 1,5 % y se mantendrán en una incubadora a 30°C, bajo condiciones de oscuridad por 24 horas. Las semillas empapadas en NaCl (1 %) se utilizarán como control negativo.

4. Trasplante de Plántulas y aplicación de tratamientos

Luego de 48 horas de crecimiento, las plántulas serán transferidas en frascos con medio enriquecido con macro y micronutrientes. Luego serán incubados a un rango variable de temperatura de 26 a 28°C, con 16 horas luz/08 horas oscuridad por un periodo de 30 días. Cumplido el tiempo se evaluará el tamaño de raíz, tallos, peso fresco y seco de las plántulas. Carga fúngica del sustrato por diluciones seriadas y recuento en placa en medio selectivo (Li et al., 2019). Índice de marchitez según escala estandarizada de amarilleamiento (0–5) (García-Bastidas et al., 2014).

5. Análisis de datos

El proceso de extracción se realizará por triplicado, los resultados se expresarán como valores medios, desviación estándar (DE) y se realizará un análisis de varianza, posteriormente se analizará la comparación de medias empleando la prueba Tukey para determinar la diferencia significativa entre los tratamientos de extracción, con $\alpha = 0,05$ de significancia. El análisis se efectuará utilizando el software estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) para Windows 10, versión 23.0.

Actividad	Semana																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Producción del biochar																				
Caracterización del biochar																				
Preparación del suelo e inoculación de <i>Fusarium sp.</i>																				
Preparación del endófitos e inoculación <i>Fusarium sp.</i>																				
Trasplante de plántulas y aplicación de tratamientos																				
Monitoreo y aplicación de variables																				
Análisis estadístico																				
Redacción del informe final																				

VI. RECURSOS Y PRESUPUESTO

6.1. Recursos

La investigación será realizada con recursos de la UNF.

6.1.2. Bienes de consumo

Nº	CONSUMO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Bolsas con cierre hermético	Caja	4
2	Botellas de vidrio de 450 ml	Unidad	3
3	Bureta graduada a 50 mL	Unidad	1
4	Caja térmica de Tecnopor N° 25	Unidad	1
5	Cubetas de plástico para espectrofotómetro UV-Visible	Caja	3
6	Desecador	Unidad	1
7	Espátula Drigalski de vidrio	Unidad	4
8	Fioles (4) de 10 mL, (01) de 100 y (01) de 250 mL	Global	6
9	Frascos de vidrio de 250 mL	Unidad	100
10	Gorros desechables	Caja	1
11	Gotero	Unidad	1
12	Gradillas para tubos de ensayo de 16 x 150 mm	Unidad	8
13	Guantes de látex talla L	Caja	2
14	Laminas porta objeto	Unidad	20
15	Laminillas	Unidad	20
16	Matraz de Erlenmeyer (5) de 250 mL, (5) de 500 y (5) de 1000 mL	Global	15
17	Mechero de alcohol	Unidad	2
18	Micropipeta de 2000 a 10000 µL	Unidad	1
19	Micropipetas de 100-1000 µL	Unidad	2
20	Micropipetas de 20-200 µL	Unidad	3
21	Microtubos de 2 mL x 500 UND	Bolsa	1
22	Palitos cilíndricos de madera	Paquete	3
23	Papel aluminio	Unidad	2
24	Papel film	Unidad	1
25	Papel filtro Whatman	Caja	2
26	Papel toalla x 6 unid	Paquete	1
27	Parrilla de acero inoxidable	Unidad	1
28	Pinzas quirúrgicas de acero inoxidable	Unidad	3
29	Pizeta	Unidad	2
30	Placas Petri de vidrio 150 x 15 mm	Unidad	100
31	Porta matraz Erlenmeyer (accesorio de agitador vortex)	Unidad	1
32	Porta tubos 8x16 mm (accesorio de agitador vortex)	Unidad	1

33	Porta tubos 8x20 mm (accesorio de agitador vortex)	Unidad	1
34	Probeta 100 mL	Unidad	2
35	Pulverizador de alcohol de 0.5 L	Unidad	3
36	Puntas de micropipetas de 100 a 1000 µL x 500 UND	Bolsa	3
37	Puntas de micropipetas de 20 a 200 µL x 1000UND	Bolsa	1
38	Rack (caja) para puntas de micropipetas de 20 a 200 µL	Unidad	3
39	Rack (caja) para puntas de micropipetas de 100 a 1000 µL	Unidad	3
40	Rack para microtubos de 2 mL	Unidad	2
41	Soporte para micropipetas	Unidad	1
42	Tacho de bioseguridad de plástico	Unidad	3
43	Tapa bocas	Caja	2
44	Tubos de centrifuga de 15 mL	Unidad	100
45	Tubos de ensayo de vidrio con tapa 16 x 150 mm	Unidad	100
46	Vasos de precipitado (4) de 50 mL, (4) de 100, (04) de 250 mL, (4) de 500 y (04) de 1000 mL	Global	20
47	Placas petri	Unidad	200
48	Asas de siembra	Unidad	5
49	Espátula drigalsky	Unidad	5
50	Cloruro de sodio	gr	200
51	Cristal violeta	mL	15
52	Extracto de levadura	Frasco	1
53	Fenolftaleína	mL	100
54	Glucosa	gr	200
55	Hidróxido de potasio	gr	200
56	Hidróxido de sodio (0.1N)	mL	500
57	Safranina	mL	15
58	Lugol	mL	15
59	Nistatina x 24 mL	Frasco	1
60	Peptona de caseína	gr	200
61	Peróxido de hidrógeno H ₂ O ₂	mL	15

6.1.3. Equipos

Nº	CONSUMO	UNIDAD	CANTIDAD
1	Cabina de bioseguridad	Unidad	1
2	Espectrofotómetro UV-Vis	Unidad	1
3	Refrigeradora de 230 L	Unidad	1
4	Incubadora de 53 L	Unidad	2
5	Microcentrifuga	Unidad	1
6	Agitador vórtex	Unidad	1
7	Microscopio trinocular	Unidad	1
8	Autoclave	Unidad	1

9	Balanza analítica	Unidad	1
10	pH metro	Unidad	1

6.1. Presupuesto

2.3.18.21. material, insumos, instrumental y accesorios médicos, quirúrgicos, odontológicos y de laboratorio				
Denominación		Cantidad (unidades)	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Vermiculita		100 Litros	300.00	300.00
Compra de Biochar		5 Kg	40.00	200.00
Subtotal				500.00
2.3.27.1. Servicios de consultorías y similares desarrollados por personas jurídicas				
Denominación	Marca	Cantidad (unidades)	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Servicio de publicación de artículo científico	s/m	1 Unidad	5000.00	5000.00
Servicio para la elaboración de reactor pirolítico	s/m	1 unidad	1000.00	1000.00
Subtotal				6000.00
Total General				6500.00

VII. REFERENCIAS

- Ameloot, N., Graber, E. R., Verheijen, F. G. A., De Neve, S., & Van Groenigen, J. W. (2013). Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: Effects on N mineralization and biological soil properties. *Global Change Biology Bioenergy*, 5(2), 202–213. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12119>
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. In: Lichtfouse, E. (eds) *Sustainable Agriculture Reviews*. Sustainable Agriculture Reviews, vol 11. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_1
- Balabanova, Larissa, Lubov Slepchenko, Oksana Son, and Liudmila Tekutyeva. 2018. "Biotechnology Potential of Marine Fungi Degrading Plant and Algae Polymeric Substrates." *Frontiers in Microbiology* 9(JUL):1–15. doi: 10.3389/fmicb.2018.01527.

- Bogas, Andréa Cristina, Saulo Henrique Rodrigues, Mariana Ottaiano Gonçalves, Marcelo De Assis, Elson Longo, and Cristina Paiva De Sousa. 2022. "Endophytic Microorganisms From the Tropics as Biofactories for the Synthesis of Metal-Based Nanoparticles: Healthcare Applications." *Frontiers in Nanotechnology* 4(February):1–13. doi: 10.3389/fnano.2022.823236.
- Chen, W., Zhang, Y., Wang, J., & Wang, J. (2023). Biochar combined with *Bacillus subtilis* SL-44 as an eco-friendly strategy to improve soil fertility, reduce Fusarium wilt, and promote radish growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 251, 114509. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114509>
- Dita, M. A., Barquero, M., Heck, D., Mizubuti, E. S. G., & Staver, C. P. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1468. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
- Dita, M. A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I. W., Souza Jr., M. T., & Kema, G. H. J. (2010). A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana fusarium wilt pathogen. *Plant Pathology*, 59(2), 348–357. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2009.02221.x>
- Downie, A., Crosky, A., & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (pp. 13–32). Earthscan.
- Elorrieta, M., Suárez-Estrella, F., López, M., Vargas-García, M., & Moreno, J. (2003). Survival of phytopathogenic bacteria during waste composting. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 96(1-3), 141–146. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(02\)00170-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(02)00170-6)
- FAO. (2022). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point*. FAO & Routledge. <https://doi.org/10.4060/cb7654en>
- García-Bastidas, F. A., van der Veen, A. J. T., Nakasato-Tagami, G., Meijer, H. J. G., Arango-Isaza, R. E., & Kema, G. H. J. (2019). An improved phenotyping protocol for Panama disease in banana. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1006. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01006>
- Graber, E. R., Meller-Harel, Y., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., Rav David, D., ... Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and

- tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, 337(1), 481–496.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0544-6>
- Hu, Y., Li, P.-Y., Yang, Y., Ling, M., & Li, X.-F. (2022). Preparation and characterization of biochar from four types of waste biomass under matched conditions. *BioResources*, 17(4), 6464–6475.
<https://doi.org/10.15376/biores.17.4.6464-6475>
- Jaiswal, A. K., Elad, Y., Paudel, I., Graber, E. R., Cytryn, E., & Frenkel, O. (2017). Linking the Belowground Microbial Composition, Diversity and Activity to Soilborne Disease Suppression and Growth Promotion of Tomato Amended with Biochar. *Sci Rep* 7, 44382. <https://doi.org/10.1038/srep44382>
- Khan, S., Irshad, S., Mehmood, K., Hasnain, Z., Nawaz, M., Rais, A., Gul, S., Wahid, M. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Ibrar, D. (2024). Producción y características de biocarbón, sus impactos en la salud del suelo, la producción de cultivos y la mejora del rendimiento: una revisión. *Plantas*, 13(2), 166.
<https://doi.org/10.3390/plants13020166>
- Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G., & Kleber, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 2010, 44, 4, 1247–1253. <https://doi.org/10.1021/es9031419>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed.). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Liu, Xiaojie, Jin Zhao, and Peng Jiang. 2022. "Easy Removal of Epiphytic Bacteria on *Ulva* (*Ulvophyceae*, *Chlorophyta*) by Vortex with Silica Sands." *Microorganisms* 10(2):1–8. doi: 10.3390/microorganisms10020476.
- Li, W., Wang, B., Wang, Y., & Wang, Y. (2019). Dual species transcript profiling during the interaction between banana (*Musa acuminata*) and the fungal pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *BMC Genomics*, 20(1), 519.
<https://doi.org/10.1186/s12864-019-5902-z>

- Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., ... & Pan, G. (2016). Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2), 583–594. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1806-x>
- López-Benítez, A., Rodríguez-Herrera, S. A., Gayosso-Barragán, O., Alcalá-Rico, J. S., & Vizcarra-López, M. (2018). Inoculation methods and conidial densities of *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis lycopersici* in tomato. *Australian Journal Of Crop Science*, 12(08), 1322-1327. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.08.pne1140>
- Molina, A.B., Fabregar, E., Sinohin, V.G., Yi, G. and Viljoen, A. (2009). RECENT OCCURRENCE OF *FUSARIUM OXYSPORUM* F. SP. *CUBENSE* TROPICAL RACE 4 IN ASIA. *Acta Hortic.* 828, 109-116. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.828.10>
- Mukome, F. N. D., Buelow, M. C., Shang, J., Peng, J., Rodriguez, M., Mackay, D. M., Pignatello, J. J., Sihota, N., Hoelen, T. P., & Parikh, S. J. (2020). Biochar amendment as a remediation strategy for surface soils impacted by crude oil. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*, 265(Pt B), 115006. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115006>
- Nahhas, N. E., AlKahtani, M. D., Abdelaal, K. A., Husnain, L. A., AlGwaiz, H. I., Hafez, Y. M., Attia, K. A., El-Esawi, M. A., Ibrahim, M. F., & Elkelish, A. (2021). Biochar and jasmonic acid application attenuates antioxidative systems and improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water. *Plant Physiology And Biochemistry*, 166, 807-817. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.033>
- Olaleye, N. S. A., Olalusi, N. A. P., Jaiyeoba, N. K. F., & John, N. I. (2024). Development of a top-lit-up-draft biomass gasifier as a sustainable heat source for effective drying of plantain slices in a cabinet dryer. *World Journal Of Advanced Engineering Technology And Sciences*, 13(1), 852-864. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2024.13.1.0492>
- Ordóñez, N., Seidl, M. F., Waalwijk, C., Drenth, A., Kilian, A., Thomma, B. P. H. J., ... Kema, G. H. J. (2015). Worse comes to worst: Bananas and Panama disease—when plant and pathogen clones meet. *PLoS Pathogens*, 11(11), e1005197. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005197>
- Pérez-Vicente, L., Dita, M., & Martínez de la Parte, E. (2014). *Technical Manual Prevention and diagnostic of Fusarium Wilt (Panama disease) of banana caused by*

- Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (TR4).
FAO/CIRAD/Bioversity. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/308514358>
- Perkins, Anita K., Andrew L. Rose, Hans Peter Grossart, Keilor Rojas-Jimenez, Selva K. Barroso Prescott, and Joanne M. Oakes. 2021. "Oxic and Anoxic Organic Polymer Degradation Potential of Endophytic Fungi From the Marine Macroalga, *Ecklonia Radiata*." *Frontiers in Microbiology* 12(October):1–13. doi: 10.3389/fmicb.2021.726138.
- Ploetz, R. C., Kema, G. H. J., & Ma, L. J. (2015). Impact of diseases on export and smallholder production of banana. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 269–288. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080614-120305>
- Ploetz, R. C. (2015). Management of *Fusarium* wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. *Crop Protection*, 73, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007>
- Prens, J., Kurt, Z., Rivas, A. M. J., & Chen, J. (2023). Production and characterization of wild sugarcane (*Saccharum spontaneum* L.) biochar for atrazine adsorption in aqueous media. *Agronomy*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010027>
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J., & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43(6), 699–708. <https://doi.org/10.1007/s00374-006-0152-z>
- Singh, Ravindra Pal, and C. R. K. Reddy. 2016. "Unraveling the Functions of the Macroalgal Microbiome." *Frontiers in Microbiology* 6(JAN):1–8. doi: 10.3389/fmicb.2015.01488.
- Stover, R. H. (1972). Banana, plantain and abaca diseases. Commonwealth Mycological Institute.
- Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhou, Y., & Chen, H. (2019). Effects of biochar and vermicompost amendments on soil carbon and nitrogen mineralization and crop yield. *Science of The Total Environment*, 707, 136121. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136121>
- Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>

- Thies, J. E., Rillig, M. C., & Graber, E. R. (2015). Biochar effects on the abundance, activity and diversity of the soil biota. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation* (2nd ed., pp. 327–389). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203762264>
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., ... & Cowie, A. (2014). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327(1-2), 235–246. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>
- Van der Heijden, M. G. A., Bardgett, R. D., & van Straalen, N. M. (2008). The unseen majority: Soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11(3), 296–310. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01139.x>
- Wang, Q., Tian, P., Liu, S., & Sun, T. (2017). Inhibition effects of N deposition on soil organic carbon decomposition was mediated by N types and soil nematode in a temperate forest. *Applied Soil Ecology*, 120, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.08.005>
- Zakaria, M. A. T., Sakimin, S. Z., Ismail, M. R., Ahmad, K., & Kasim, S. (2024). Growth enhancement and resistance of banana plants to *Fusarium* wilt disease as affected by silicate compounds and application frequency. *Plants*, 13(4), 542. <https://doi.org/10.3390/plants13040542>
- Zhang, H., Voroney, R. P., & Price, G. W. (2018). Effects of biochar on soil microbial biomass after four years of consecutive application in the field. *PLOS ONE*, 13(10), e0204103. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204103>