



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA



“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

RESOLUCIÓN DE VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA N° 030 - 2026-UNF-VPAC

Sullana, 16 de febrero de 2026.

VISTOS:

Resolución de Comisión Organizadora N°810-2025-UNF-CO, de fecha 26 de septiembre de 2025; Informe N°028-2026-UNF-VPAC/FIAB/UI de fecha 23 de enero de 2026; Oficio N°104-2026-UNF-VPAC/FIAB, de fecha 27 de enero de 2026; Oficio N°231-UNF-VPAC, de fecha 27 de enero de 2026; Oficio N°34-2025-UF-P de fecha 11 de febrero de 2026 y;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 18° 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 N°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 8° 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, conforme al numeral 6.1.4 de la RVM N° 244-2021-MINEDU, la Comisión Organizadora se encuentra integrada por un Presidente y dos Vicepresidentes, encargados de dirigir y ejecutar las políticas en los ámbitos académico y de investigación respectivamente;

Que, con Resolución de Comisión Organizadora N°916-2024 UNF/CO, de fecha 28 de octubre de 2024, se aprobó el Reglamento de Organización y Funciones de la Universidad Nacional de Frontera;

Que, el artículo 13 del Reglamento de Organización y Funciones de la Universidad Nacional de Frontera, establece que: *"El Vicerrectorado Académico es el órgano de dirección encargado de proponer y promover las políticas y normas académicas de formación integral; y, de organizar, programar, ejecutar y controlar el desarrollo de la actividad académica a través de*





UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

los órganos de línea dependientes, en concordancia con las directivas impartidas por el Rector”;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N°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:

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:

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

QUINTA. ÓRGANOS DE ALTA DIRECCIÓN

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

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



SB



UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

Que, en ese sentido el artículo 22° del Estatuto Institucional señala, que es: "Atribución del Consejo Universitario. - f) Concordar y ratificar los planes de estudios y de trabajo propuestos por las unidades académicas";

Que, mediante Resolución N°198-2025-UNF/PCO, de fecha 13 de octubre de 2025, se resuelve la Formalización de la emisión de Resoluciones Vicepresidenciales, el Alcance de las Resoluciones Vicepresidenciales, la Elevación de expedientes a la Comisión Organizadora, el Procedimiento de Elevación, el Reconocimiento de la responsabilidad técnica y supervisión y ejecución;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N°810-2025-UNF-CO, de fecha 26 de septiembre de 2025, se aprobó 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;

Que, a través de Informe N°028-2026-UNF-VPAC/FIAB/UI de fecha 23 de enero de 2026, el Jefe de la Unidad de Investigación de FIAB-UNF, remite al Coordinador de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología de la Universidad Nacional de Frontera, su evaluación del Informe final y solicita la aprobación y reconocimiento del Informe Final 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";

Que, mediante Oficio N°104-2026-UNF-VPAC/FIAB de fecha 26 de enero de 2026, el Coordinador de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología, solicita al Vicepresidente Académico de la Universidad Nacional de Frontera, aprobación del Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa denominado: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados";

Que, con Oficio N°231-2026-UNF-VPAC de fecha 27 de enero de 2026, el Vicepresidente Académico de la de la Universidad Nacional de Frontera, remite al Presidente de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Frontera, el Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa denominado: "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados" para ser aprobado con acto resolutivo.

Que, por intermedio del Oficio N°034-2025-UNF-P de fecha 11 de febrero de 2026, el Presidente de la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Frontera devuelve al Vicepresidente Académico de la de la Universidad Nacional de Frontera, el Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa denominado: "Control biológico de Fusarium sp.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados”, a fin de ser atendido mediante Vicepresidencia Académica, teniendo en cuenta la Resolución Presidencial N°198-2025-UNF/PCO.

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;

Estando a lo expuesto y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria – Ley Universitaria N°30220, la Ley de Procedimiento Administrativo General Ley N°27444, y la Resolución N°198-2025-UNF/PCO, de fecha 13 de octubre de 2025.

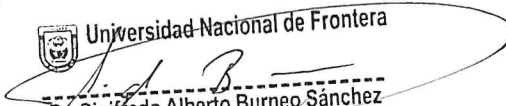
SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. – APROBAR el Informe Final del Plan de Trabajo de Investigación Formativa denominado: "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. – AUTORIZAR la emisión de certificados del Plan de Trabajo de Investigación Formativa denominado: " Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados”, en merito a los artículos precedentes.

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. Sigifredo Alberto Burneg Sánchez
VICEPRESIDENTE ACADÉMICO DE LA
COMISIÓN ORGANIZADORA



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
FRONTERA

Presidencia de Comisión Organizadora

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Sullana, 11 de febrero de 2026

OFICIO N° 034-2025-UNF-P

Señor:
Dr. Sigifredo Burneo Sánchez
Vicepresidente Académico
Universidad Nacional de Frontera
Presente.-

ASUNTO : Devolución de expedientes que corresponde resolver con resoluciones de Vicepresidencia Académica.

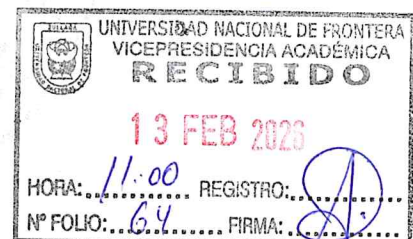
REFERENCIA: OFICIO N° 231-2026-UNF-VPAC

Es grato dirigirme a usted para expresarle mi cordial saludo, y mediante el presente hacer de conocimiento que, habiendo revisado y evaluado el OFICIO N° 231-2026-UNF-VPAC, respecto a la aprobación de 02 informes finales de investigación formativa denominados "Control Biológico de Fusarium SP. En Plántulas de Interés agrícola por endófitos y biochar como estrategia de remediación de suelos infectados" y "Efectos de ultrasonido en la calidad y conservación de frutas durante la deshidratación osmótica"; este despacho procede a devolver el citado documento, toda vez que, deberán ser atendidos mediante acto resolutivo de la Vicepresidencia Académica, teniendo en cuenta lo indicado en la Resolución Presidencial N°198-2025-UNF/PCO.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA
DR. JOSE FLORENTINO MOLERO LÓPEZ
Presidente de la Comisión Organizadora



C.C. Archivo.



"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Sullana, 27 de enero de 2025

OFICIO N° 231- 2026-UNF-VPAC

SR.

DR. JOSE FLORENTINO MOLERO LÓPEZ

Presidente de la Comisión organizadora de la UNF
UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

ASUNTO : REMITO POR CORRESPONDER

REFERENCIA : a) Oficio N°105-2026-UNF-VPAC/FIAB
b) Oficio N°104-2026-UNF-VPAC/FIAB



Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, a la vez, remitir los documentos de la referencia, respecto a la aprobación de los Informes Finales de Investigación Formativa, desarrollado en el marco del Plan de Trabajo de Investigación Formativa oportunamente aprobado por la Comisión Organizadora de esta casa de estudios.

En ese sentido, y habiéndose cumplido con la ejecución de los referidos planes conforme a los lineamientos y plazos establecidos, se remite los informes finales para su evaluación y, de considerarlo conforme, se sirva disponer la emisión del acto resolutivo que corresponda, en el ámbito de sus competencias.

Por ende, se adjunta al presente, los Informes Finales de Investigaciones Formativa para para efectos de aprobación en Sesión de Comisión Organizadora.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

C.C
Archivo



Firmado digitalmente por:
BURNED SANCHEZ Sigifredo
Alberto FAU 20526270364 soft
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 28/01/2026 13:43:50-0500



231

Sullana 26 de enero de 2026

OFICIO N° 104-2026-UNF-VPAC/FIAB

Señor:
Dr. Sigifredo Alberto Burneo Sánchez
Vicepresidente Académico
Universidad Nacional de Frontera



Presente. –

ASUNTO : REMITO EL INFORME FINAL DE APROBACIÓN Y RECONOCIMIENTO DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA "CONTROL BIOLÓGICO DE FUSARIUM SP. EN PLÁNTULAS DE INTERÉS AGRÍCOLA POR ENDÓFITOS Y BIOCHAR COMO ESTRATEGIA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS INFECTADOS"

REFERENCIA : a). OFICIO N° 028-2026-UNF-VPAC-FIAB-UI
b). RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 810-2025/CO
c). INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA

Es grato dirigirme a usted para saludarla cordialmente y al mismo tiempo, en atención al documento de referencia a). remito a su despacho el informe final del 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" ejecutados bajo la dirección de los docentes MSc. Edwin Jorge Vega Portalatino y MSc. Miriam Marleni Rosales Cuentas, con la participación activa de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología.

I. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

TÍTULO	CONTROL BIOLÓGICO DE FUSARIUM SP. EN PLÁNTULAS DE INTERÉS AGRÍCOLA POR ENDÓFITOS Y BIOCHAR COMO ESTRATEGIA DE REMEDIACIÓN DE SUELOS INFECTADOS"
DOCENTES RESPONSABLES	MSc. Edwin Jorge Vega Portalatino MSc. Miriam Marleni Rosales Cuentas
ESTUDIANTES	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Marco Roberto Chávez Moran ➤ Fiorela Lizbeth Espinoza Vega ➤ Angie Brigith Silupu Chiriboga ➤ Jennifer Maricielo Torres Pacherres
DURACIÓN DEL PROYECTO	DEL 25/06/2025 23/12/2025
PRESUPUESTO	S/. 6500 (Presupuesto de Investigación Formativa 2025) META 0025" FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN FORMATIVA AOI-003 EJECUCIÓN DE INVESTIGACIONES FORMATIVAS



“Año de la Esperanza y Fortalecimiento de la Democracia”

Atentamente;

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'WR Miranda'.

Dr. William Rolando Miranda Zamora
Coordinador (e) FIIAB
Universidad Nacional de Frontera



"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Sullana, 23 de enero de 2026



INFORME N°028-2026-UNF-VPAC/FIAB/UI

A : DR. LEANDRO ALONSO VALLEJOS MORE
Coordinador de Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología
Universidad Nacional de Frontera

ASUNTO : Evaluación del Informe Final, solicitud de aprobación y reconocimiento del Equipo de Investigación Formativa "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados", mediante acto resolutivo.

REFERENCIA:

- a) RESOLUCION DE COMISION N° 810-2025/CO
b) Informe Final del proyecto de Investigación Formativa

Es grato dirigirme a usted para expresarle un cordial saludo. En atención a los documentos de la referencia, se procedió a la evaluación del Informe Final del Proyecto de Investigación Formativa titulado "Control biológico de Fusarium sp. en plántulas de interés agrícola por endófitos y biochar como estrategia de remediación de suelos infectados", ejecutado bajo la dirección de los docentes MSc. Edwin Jorge Vega Portalatino y MSc. Miriam Marleni Rosales Cuentas, con la participación activa de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y Biotecnología

I. Datos Generales del proyecto

Table with 2 columns: Field (Título, Docentes responsables, Estudiantes, Duración del proyecto, Presupuesto) and Description.

Handwritten signature

II. Objetivos

Objetivo general

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

Objetivos específicos

- Analizar la capacidad de inhibición de los hongos marinos al *Fusarium* y producción de AIA.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Zea mays* en suelos infectados por Endófitos y Biochar.

III. Análisis

La evaluación del proyecto se realizó conforme a los estándares establecidos en el Reglamento de Investigación Formativa. El Informe Final presenta de manera ordenada y coherente las siguientes secciones:

- **Resumen**, donde se sintetizan los objetivos, metodología, resultados y conclusiones.
- **Introducción**, que contextualiza adecuadamente la problemática abordada.
- **Revisión de la literatura**, que sustenta teóricamente el control biológico de *Fusarium sp.* mediante endófitos y biochar como estrategia de remediación de suelos infectados.
- **Metodología**, con la descripción detallada de los procedimientos empleados para la recolección y análisis de datos.
- **Resultados**, donde se presentan los principales hallazgos obtenidos en los ensayos realizados.
- **Conclusiones y recomendaciones**, que destacan los aportes del estudio y proponen mejoras para futuras investigaciones.
- **Referencias bibliográficas y anexos**, que respaldan la información presentada.

Del análisis del contenido se evidencia el cumplimiento de los objetivos planteados, resaltando la relevancia del control biológico de *Fusarium sp.* como alternativa sostenible para la remediación de suelos infectados.

IV. Conclusión

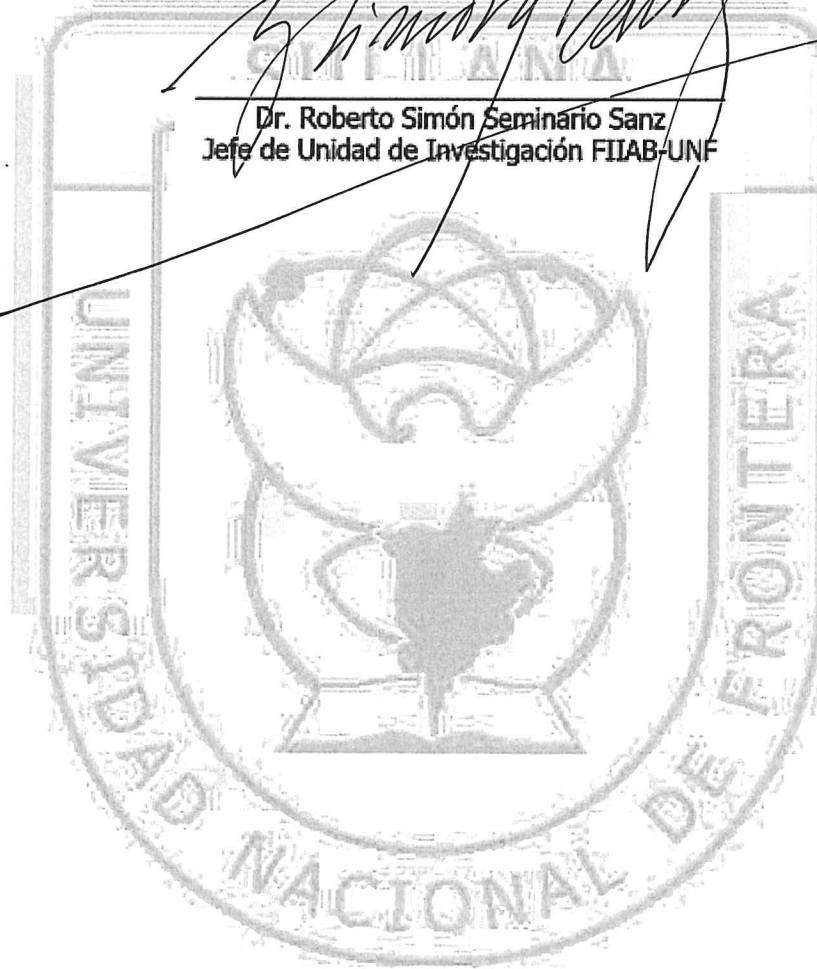
El Proyecto de Investigación Formativa "Control biológico de *Fusarium sp.* en plántulas de interés agrícola por endófitos y biochar como estrategia de remediación de suelos infectados" evidencia el logro satisfactorio de los objetivos propuestos. Asimismo, contribuye significativamente al fortalecimiento de las competencias investigativas y formativas de los estudiantes participantes.

Por lo expuesto, se recomienda la **aprobación del Informe Final** y, en consecuencia, solicito se realicen las gestiones correspondientes para la **emisión del acto resolutorio por parte de la Comisión Organizadora**, a fin de dar por concluido el proyecto.



Sin otro particular, quedo a su disposición para cualquier información adicional que se estime pertinente.

Dr. Roberto Simón Seminario Sanz
Jefe de Unidad de Investigación FIIAB-UNF





UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

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

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA

N° 810-2025-UNF/CO

Sullana, 26 de septiembre de 2025.

VISTOS:



Oficio N° 856-2025-UNF-VPAC/FIAB, de fecha 27 de agosto de 2025; Oficio N° 3408-2025-UNF-VPAC, de fecha 01 de septiembre de 2025; Informe N° 2680-2025-UNF-PCO-OPP-UP, de fecha 03 de septiembre de 2025; Oficio N° 3589-2024-UNF-VPAC, de fecha 05 de septiembre de 2025; Oficio N° 0382-2025-UNF-OAJ, de fecha 16 de septiembre de 2025; Oficio N° 3814-2025-UNF-VPAC, de fecha 18 de septiembre de 2025; y,

CONSIDERANDO:



Que, el artículo 18° 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 N° 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 8° 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 N°-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 N° 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:



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:

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

QUINTA. ÓRGANOS DE ALTA DIRECCIÓN

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

- La Presidencia de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Rectorado.
- La Vicepresidencia Académica de Comisión Organizadora, que cumple funciones asignadas al Vicerrectorado Académico.
- 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/FIAB, 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 resolutorio 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.

Página | 3

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 resolutorio.



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

⑆ 0009-0002-1156-1252

Carlo Renato Abad Calle

⑆ 0009-0004-2637-6943

Angie Brigith Silupu Chiriboga

⑆ 0009-0006-0877-546X

Jennifer Maricielo Torres Pacherez

⑆ 0009-0000-5292-5097

Docentes Responsables:

M.Sc. Vega Portalatino, Edwin Jorge

⑆ 0000-0001-8510-0307

MSc. Miriam Marleni, Rosales Cuentas

⑆ 0000-0001-5655-9151

Semestre Académico:

2025-I

Sullana, Perú 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 (Ordonez 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

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

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 tricarbóxicas (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

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).

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	Fiolas (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 Elenmeneyer (accesorio de agitador vortex)	Unidad	1
32	Porta tubos 8x16 mm (accesorio de agitador vortex)	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.

- 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>

- 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., Ramirez, 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>



Sullana, 19 de enero de 2026

OFICIO N° 001-2026-UNF-VPAC/EJVP

Unidad de Investigación de la FIIAyB

UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

ASUNTO : Presentación de informe final de investigación formativa

Es grato dirigirme a usted, para expresarle mi cordial saludo y a la vez presentar mi informe final de investigación formativa de "Control biológico de *Fusarium* sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados".

Sin otro particular, y agradeciendo de antemano vuestra pronta atención, me despido no sin antes renovar mis sentimientos de estima y consideración personal.

Atentamente;


Ms.C. Vega Portalatino Edwin Jorge
DOCENTE ORDINARIO



Anexo:

- Informe final de investigación formativa.
- Factura Electrónica, Agriplant S.R.L, RUC: 20537941066, E001-999.
- Factura Electrónica, Representantes Adriel, S.R.L, RUC: 10781134746, E001-997.
- Frontiers Media SA, Invoice: 2025-1560563-1, Prepayment towards MS1726850
- Anexo 1. Lista como ponentes, organizadores y participantes de la actividad, para la emisión de certificados.




UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA

Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias y
INFORME 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

 0009-0002-1156-1252


Espinoza Vega Fiorela Lizbeth

 0009-0003-8973-1239

Angie Brigith Silupu Chiriboga


 0009-0006-0877-546X

Jennifer Maricielo Torres Pacherras


 0009-0000-5292-5097

Docentes responsables:

MSc. Vega Portalatino, Edwin Jorge

 0000-0001-8510-0307

MSc. Miriam Marleni, Rosales Cuentas

 0000-0001-5655-9151

Semestre Académico:

2025-II

Sullana, Perú 2026



ÍNDICE O CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
III. METODOLOGÍA.....	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
V. CONCLUSIONES.....	24
VI. RECOMENDACIONES.....	25
REFERENCIAS.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Actividad inhibitoria de los hongos endófitos marinos sobre hongos filamentosos</i>	16
Tabla2. Producción de AIA de hongos endófitos provenientes de macroalgas marinas.	18
Tabla 3. Porcentaje de germinación en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.....	20
Tabla 4. Longitud del tallo en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.	21
Tabla 5. Número de hojas verdaderas en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.	21
Tabla 6. Diámetro del tallo en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.	22
Tabla 7. Peso fresco en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.....	22



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Actividad inhibitoria de los hongos endófitos marinos sobre hongos filamentosos</i>	17
Figura 2. <i>Producción de AIA de los hongos endófitos marinos</i>	19
Figura 3. Porcentaje de germinación en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.....	20
Figura 4. Parámetros de crecimiento de tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.....	23
Figura 5. Inoculación del <i>Fusarium</i> en semillas de tomate por parte de los estudiantes.....	34
Figura 6. Evaluación de plántulas de tomates infectadas con <i>Fusarium</i> por parte de los estudiantes.....	35
Anexo 1. Lista como ponentes, organizadores y participantes de la actividad, para la emisión de certificados.....	36



RESUMEN:

La diversidad de hongos marinos provenientes de macroalgas en el Perú aun es desconocida, además que no hay estudios biofuncionales del biochar y menos su función como promotores de crecimiento vegetal en tomates infectados con *Fusarium*. Los hongos endófitos fueron donadas por el laboratorio de Investigación en Biotecnología Microbiana de la Universidad Nacional de Frontera. De los hongos marinos, se evaluaron su capacidad de inhibir *Fusarium* y producir AIA, con la finalidad de seleccionar 2 hongos para su posterior inoculación en tomates infectados con *Fusarium*, y evaluar parámetros de crecimiento junto al Biochar. Los resultados, han puesto en evidencia que 2 hongos marinos (CCDF2 y YFep2) presentaron la capacidad de inhibir *Fusarium* y sintetizar AIA. De la inoculación en tomates infectados, se demostró que el hongo *marino* CCDF2 incremento los parámetros de crecimiento en tomate infectado, siendo superior a las dosificaciones con Biochar. Finalmente, este estudio representa unos de los pocos reportes de microorganismos marinos y biochar asociados a tomate, mostrando una valiosa diversidad microbiana y su posible rol en el control de infecciones en plantas de interés agrícola.



Palabras clave: Endófitos, infección, marinos, crecimiento, tomate.

ABSTRACT:

The diversity of marine fungi derived from macroalgae in Peru remains largely unknown. Furthermore, there are no biofunctional studies of biochar, much less studies on its role as a plant growth promoter in tomatoes infected with *Fusarium*. The endophytic fungi were donated by the Microbial Biotechnology Research Laboratory of the National University of Frontera. The ability of these marine fungi to inhibit *Fusarium* and produce IAA was evaluated to select two fungi for subsequent inoculation into *Fusarium*-infected tomatoes and to assess their growth parameters in conjunction with biochar. The results showed that two marine fungi (CCDF2 and YFep2) exhibited the capacity to inhibit *Fusarium* and synthesize IAA. Inoculation of infected tomatoes demonstrated that the marine fungus CCDF2 increased growth parameters, surpassing the results obtained with biochar alone. Finally, this study represents one of the few reports of marine microorganisms and biochar associated with tomato, showing a valuable microbial diversity and its possible role in controlling infections in plants of agricultural interest.

Keywords: Endophytes, infection, marine, growth, tomato.



I. 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 maíz.

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 la capacidad de inhibición de los hongos marinos al *Fusarium* y producción de AIA.
- Evaluar el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Zea mays* en suelos infectados por Endófitos y Biochar.



II. 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 tricarbóxicas (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.



III. METODOLOGÍA

3.1. Adquisición de Biochar

El biochar fue adquirido del Vivero Wortel EIRL, con un diámetro menor a 2 mm, con un pH entre 6.56–7,0 y en suspensión 1:20 (p/v) y se almacenó en condiciones herméticas para los ensayos posteriores, de acuerdo a Tripathi et al. (2016).

3.2. Selección de hongos endófitos con potencia inhibitorio sobre *F. oxysporum* y producción de AIA

Los hongos filamentosos fueron *Fusarium* sp. H y *F. oxysporum* CTLM12, confrontados mediante la técnica de cultivo dual, con algunas modificaciones del autor. Sobre los hongos marinos, se usaron las cepas CCDF2, YCFE3, YCFE7, YUFE7, YUFL7, YAFE19, YAFL4, YAFL13, YAFL19, YCFR3, YFep2 y Yfep3, donde estos últimos se usó discos (5 mm) de micelio y se colocó en cada esquina de la placa Petri conteniendo PDA, inmediatamente se puso un disco (5 mm) de los hongos filamentosos en el centro de la placa, luego fueron incubados a 25 °C durante 3 a 10 días. La capacidad inhibitoria se determinó a partir del porcentaje de inhibición de los hongos mediante $(I_f\%) = [(A-B)/A] * 100$, donde A es el diámetro de patógeno sin la hongo endófito; y B es el diámetro del patógeno cuando interactúa con el hongo endófito endofítica (Ulloa-Muñoz et al., 2020). Luego de este ensayo, se seleccionó dos hongos con capacidad inhibitoria y producción de AIA, descrito por Vega portalatino et al. (2026).



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

Se incorporó el biochar a dosis de 1%, 2% y 3% (p/p) mezclándolo de manera homogénea con vermiculita. A continuación, se ajustó la humedad al 60 % de la capacidad de campo del suelo y se inoculó en semillas, 30 mL de la suspensión de *Fusarium* sp. (DO_{620nm} : 0.5) dejando la mezcla incubar durante 3 horas (Ploetz, 2015).

3.4. Inoculación de los endófitos en semillas

Las superficies de las semillas de tomate se desinfectaron con 0.1% dicloruro de mercurio ($HgCl_2$) durante 03 min y luego fueron lavadas 6 veces con agua destilada estéril por 3 minutos. Las semillas esterilizadas se remojaron durante 3 horas en 30 ml de inóculo endófito y *Fusarium* sp. (DO_{620nm} : 0.5). A continuación, 15 semillas de maíz se transfirieron a placas Petri con agar agua 1,5 % y se mantuvieron en una incubadora a 30°C,

bajo condiciones de oscuridad por 24 horas. Las semillas empapadas en NaCl (1 %) se utilizarán como control negativo.

3.5. Trasplante de Plántulas y aplicación de tratamientos

Luego de 48 horas de crecimiento, las plántulas fueron transferidas en frascos con vermiculita, de acuerdo a los tratamientos propuestos. 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 (Li et al., 2019; García-Bastidas et al., 2014).

3.6. 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.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Ensayo antifúngico de los hongos endófitos marinos

De las 12 cepas fúngicas, las cepas YUFE7 y YAFE19 lograron inhibir a *Fusarium* sp. H. Como también, YUFL7 al ejercer una alta inhibición sobre *F. oxysporum* CTLM12. Estos resultados, pone en evidencia que el 25% de los hongos *Fusarium* sp. H y *F. oxysporum* CTLM12, mediante la técnica de siembra dual (Nawrot-Chorabik et al., 2021). Estos resultados son respaldados por otros trabajos al reportar la acción inhibitoria de hongos endófitos marinos sobre *Candida railenensis*, *Rigidoporus vinctus* y *Grammothele fuligo*, acción posiblemente ejercida por la producción de compuestos antimicrobianos a partir del gen transferido horizontalmente de su huésped marino (Harikrishnan et al., 2021). Esta capacidad permitiría reducir infecciones por hongos fitopatogenos al alterar posiblemente la membrana y pared celular, inhibiendo y desnaturalizando proteínas y enzimas, dañando el material genético, alterando los filamentos de actina del citoesqueleto, provocando la despolarización electroquímica mitocondrial o dificultando la producción de biopelículas (Vega-portalatio et al., 2023), reduciendo la colonización al activar defensas y promover crecimiento en su huésped, contribuyendo a la salud del suelo y de las plantas (Chandrasekaran et al., 2023).



Tabla 1

Actividad inhibitoria de los hongos endófitos marinos sobre hongos filamentosos.

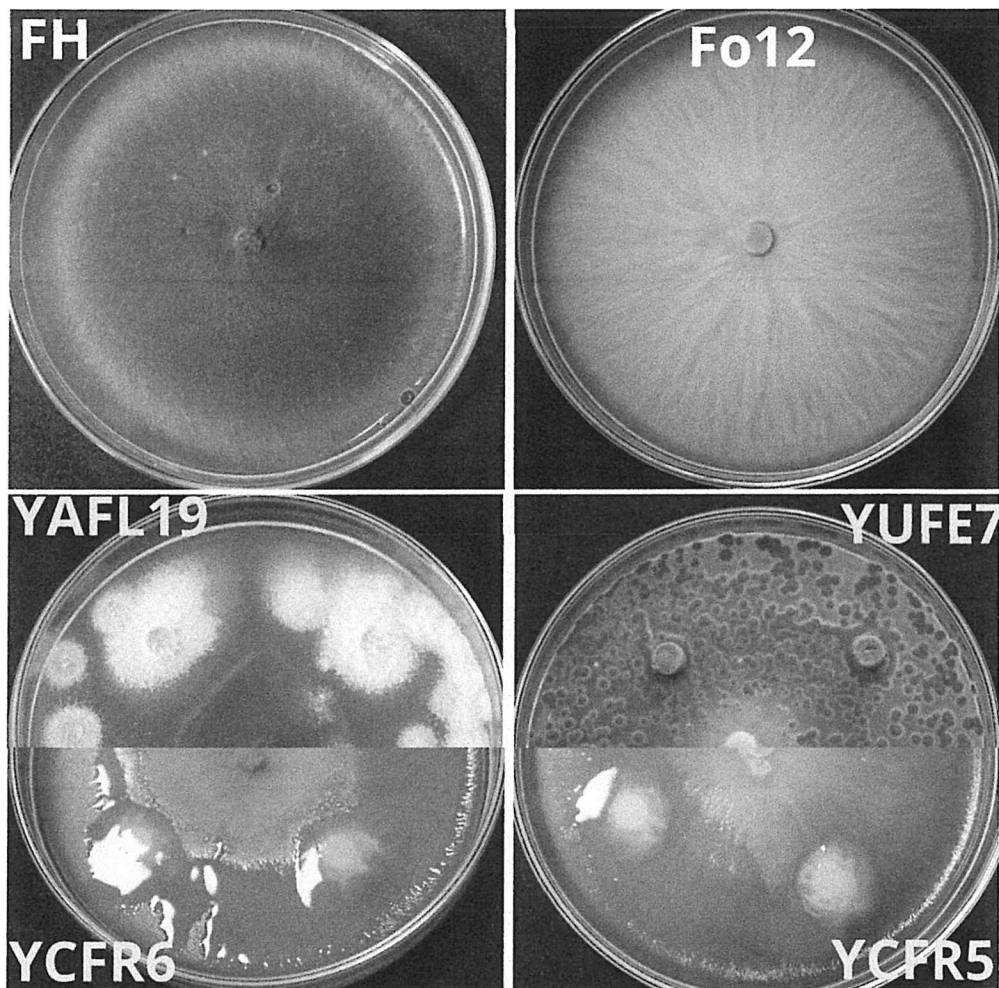
Organismos	Cepas	FH	Fo12
Hongos	CCDF2	76.3 ± 1.4 ^d	68.1 ± 1.3 ^{d,e}
	YCFE3	61.3 ± 1.4 ^f	60.6 ± 0.7 ^g
	YCFE7	71.9 ± 0.7 ^e	63.8 ± 1.4 ^f
	YUFE7	83.8 ± 1.4 ^a	89.4 ± 2.2 ^b
	YUFL7	55.0 ± 0.0 ^g	100.0 ± 0.0 ^a

YAFE19	81.3 ± 1.4 ^{a,b}	69.4 ± 0.7 ^d
YAFL4	80.0 ± 0.0 ^{b,c}	69.4 ± 0.7 ^d
YAFL13	2.5 ± 0.0 ^h	68.1 ± 0.7 ^{d,e}
YAFL19	77.5 ± 2.0 ^{c,d}	72.5 ± 0.0 ^c
YCFR3	2.5 ± 0.0 ^h	73.8 ± 1.4 ^c
YFep2	79.4 ± 0.7 ^{b,c}	66.3 ± 1.4 ^{e,f}
Yfep3	71.3 ± 1.4 ^e	63.8 ± 1.4 ^f

Nota. FH: *Fusarium* sp. H, Fo12: *F. oxysporum* CTLM12, (-) sin actividad inhibitoria. Los valores representan la media de tres repeticiones ± SD. Las letras indican los grupos con diferencias significativas según la prueba estadística de Tukey (P<0,05).

Figura 1

Actividad inhibitoria de los hongos endófitos marinos sobre hongos filamentosos



Nota. Actividad antifúngica de los microbios marinos, FH: *Fusarium* sp. H inhibido por el hongo YAFL19 y la bacteria *Bacillus* sp. YCFR6, Fo12: *F. oxysporum* CTLM12 inhibido por el hongo YUFE7 y la bacteria *Bacillus* sp. YCFR5.

4.2. Ensayo de producción de AIA de los hongos endófitos marinos

El hongo marino YAFL13 obtuvo la mayor síntesis de AIA (5.9 µg/ml) al 2% NaCl. En este trabajo, se evidencio que el 16.6% de los hongos produjeron AIA al 2 y 5% de NaCl. Algunos estudios, han reportado la capacidad en la producción de IAA en hongos marinos como *Agromyces mariniharenae* sp., *Aspergillus flavus*, *Fusarium proliferatum* y *Clonostachys rosea* (Liu et al., 2025a); el cual la IAA es una hormona vegetal que puede biosintetizarse a partir de triptófano a través del intermediario indol-3-acetamida (IAM) (Nappo et al., 2025), siendo esenciales para regular el crecimiento vegetal y metabolismo celular, desempeñando un papel vital en la división celular, elongación celular, regulación fotosintética e inducción del metabolismo funcional promoviendo la elongación del tallo y raíz hacia los nutrientes (Khalil et al., 2024) bajo factores de estrés (Yan-Yu et al., 2025).



Tabla 2

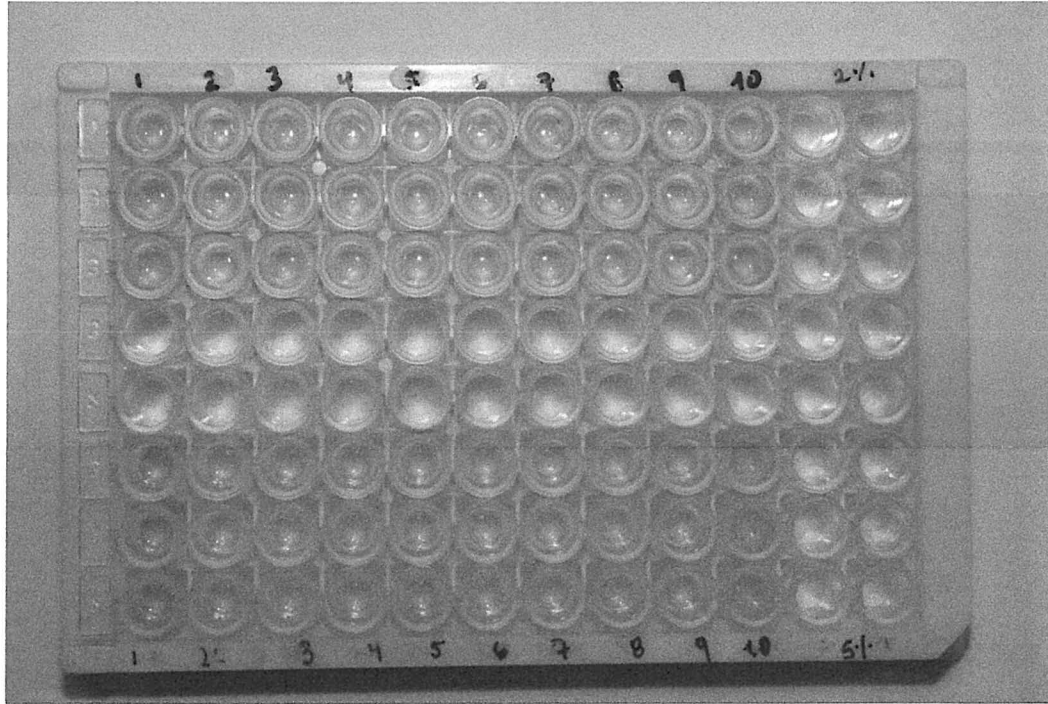
Producción de AIA de hongos endófitos provenientes de macroalgas marinas.

Organismos	Cepas	Producción AIA (µg/ml)	
		2%	5%
Hongos	CCDF2	2.2± 0.3 ^b	2.8 ± 0.0 ^b
	YCFE3	-	-
	YCFE7	-	-
	YUFE7	-	-
	YUFL7	-	-
	YAFE19	-	-
	YAFL4	-	-
	YAFL13	-	-
	YAFL19	-	-
	YCFR3	-	-
	YFep2	5.9± 0.1 ^a	4.6 ± 0.1 ^a
	Yfep3	-	-

Nota. Concentración de NaCl (2 y 5%). Los valores representan la media de tres repeticiones \pm SD. Las letras indican los grupos con diferencias significativas según la prueba estadística de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 2

Producción de AIA de los hongos endófitos marinos



Nota. Producción de AIA por las cepas CCDF2 (1) y YFep2 (2).

4.3. Porcentaje de germinación en tomate infectado

A partir del ensayo de control inhibitorio sobre los géneros *Fusarium* y producción de AIA, se selecciono 3 cepas para los ensayos de control en crecimiento vegetal y el biochar se mezcló con vermiculita al 1, 2 y 3%. Del ensayo realizado, la cepa CCDF2 y Biochar 2% lograron alcanzar un mayor porcentaje de germinación (50 y 57%) con respecto al control (39%). Se ha demostrado que el biocarbono y los microorganismos endófitos activan la defensas de las plantas y mejoran su estado físico y nutrición mediante la producción de metabolitos secundarios bioactivos, otorgándole protección contra patógenos mediante la competencia por nutrientes y espacio, parasitismo directo y antagonismo (Chandrasekaran et al., 2023).



Tabla 3

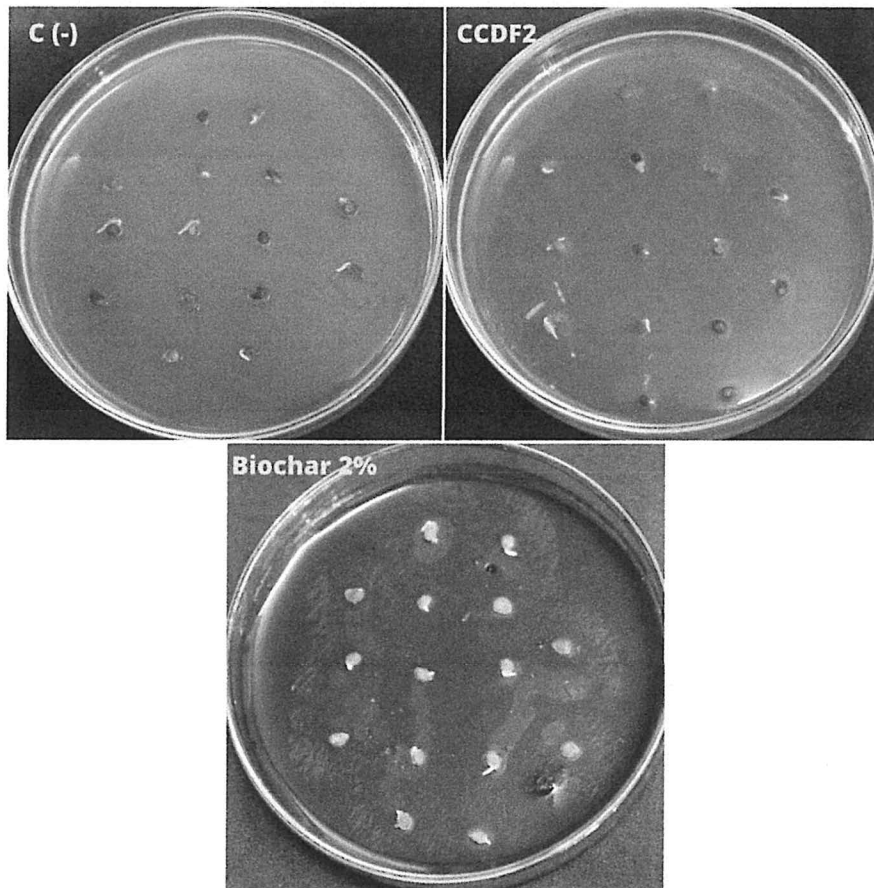
Porcentaje de germinación en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.

TRATAMIENTO	%
CCDF2	50 ± 2,0
YFep2	47 ± 0,6
Biochar-1%	35 ± 1,0
Biochar -2%	57 ± 1,5
Biochar -3%	48 ± 1,5
TC (-)	39 ± 2,5

Nota. %: porcentaje de germinación por cepas y biochar a diferentes concentraciones. Los valores representan la media de tres repeticiones ± SD.

Figura 3

Porcentaje de germinación en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.



Nota. Porcentaje de germinación de tomates infectados por las cepas CCDF2 y Biochar 2%.

4.3. Evaluación de parámetros de crecimiento en tomate infectado

De los tratamientos, la mayor longitud del tallo lo alcanzó la cepa CCDF2 (5.08 cm), sobre el mayor número de hojas verdaderas fueron todos los tratamientos (2 unidades) a excepción del Biochar 3%, con relación al diámetro del tallo lo obtuvo la cepa CCDF2 (0.47 cm), todos comparados con el control negativo. Esto pone en evidencia que la inoculación con endófitos (CCDF2) fue más eficiente que el biochar, demostrado su actividad simbiótica con su huésped. Este resultado es respaldado por Arcela-Castro et al. (2026), al demostrar que el hongo terrestre *A. sidowii* F112 promovió incrementando la materia seca total y una mayor actividad respiratoria; sin embargo, podría ser este el primer estudio al reportar este hongo marino con la capacidad de incrementar la biomasa en un cultivo de interés agrícola y bajo condiciones de infección por *Fusarium*.

Tabla 4

Longitud del tallo en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.

TRATAMIENTO	Lt (cm)
CCDF2	5.08 ± 1,6
YFep2	3.2 ± 1,7
Biochar-1%	3.83 ± 1,3
Biochar -2%	4.0 ± 1,4
Biochar -3%	4.1 ± 1.8
TC (-)	4.48 ± 0.97

Nota. Lt: longitud del tallo. Los valores representan la media de tres repeticiones ± SD.

Tabla 5

Número de hojas verdaderas en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.

TRATAMIENTO	Nhv
CCDF2	2.0 ± 1,6
YFep2	2.0 ± 0.0
Biochar-1%	2.0 ± 0.0
Biochar -2%	2.0 ± 0.0



Biochar -3%	-
TC (-)	-

Nota. Nhv: número de hojas verdaderas. Los valores representan la media de tres repeticiones \pm SD.

Tabla 6

Diámetro del tallo en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.

TRATAMIENTO	Dt (cm)
CCDF2	0.47 \pm 0.05
YFep2	0.41 \pm 0.08
Biochar-1%	0.33 \pm 0.05
Biochar -2%	0.44 \pm 0.07
Biochar -3%	0.36 \pm 0.08
TC (-)	0.34 \pm 0.05

Nota. Dt: diámetro del tallo. Los valores representan la media de tres repeticiones \pm SD.



Tabla 7

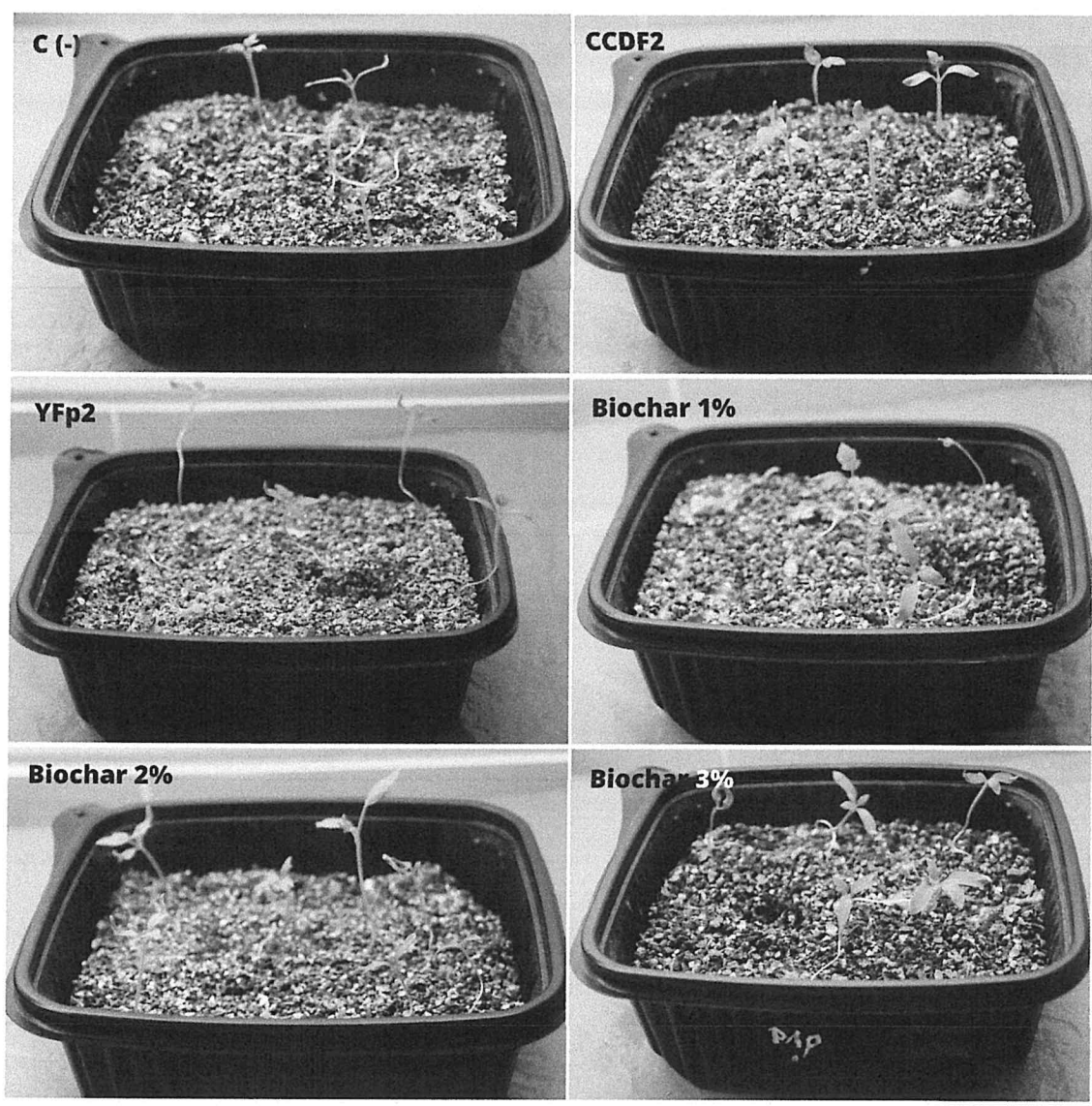
Peso fresco en tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.

TRATAMIENTO	Pf
CCDF2	0.46 \pm 0.07
YFep2	0.37 \pm 0.06
Biochar-1%	0.42 \pm 0.07
Biochar -2%	0.34 \pm 0.07
Biochar -3%	0.42 \pm 0.07
TC (-)	0.41 \pm 0.06

Nota. Pf: peso fresco. Los valores representan la media de tres repeticiones \pm SD.

Figura 4

Parámetros de crecimiento de tomates infectados tratados con hongos endófitos marinos y biochar.



Nota. Parámetros de crecimiento de tomates infectados por cada tratamiento.

4.5. Emisión de certificados por las actividades desarrolladas.

Debido al cumplimiento en su totalidad de actividades del proyecto de investigación formativa, se requiere el trámite de 2 certificados como ponentes, 3 certificados como organizadores y 6 certificados como participantes, para la entrega a los integrantes.

V. CONCLUSIONES:

- Se demostró que los hongos marinos CCDF2 y YFep2, lograron inhibir a los hongos fitopatógenos *Fusarium* y presentaron la capacidad de producir AIA.
- La cepa CCDF2 logro alcanzar mejores parámetros de crecimiento como longitud del tallo, presencia de hojas verdaderas, diámetro del tallo y peso fresco, con respecto al biochar, mejorando significativamente el control sobre los tomates infectados con *Fusarium*. El bioensayo en tomate sugiere que el hongo *A. sydowii* CCDF2 tiene potencial prometedor para ser utilizado como inoculante promotor de crecimiento vegetal bajo condiciones de infección por *Fusarium*, permitiendo la protección de las plantas, pero se requiere un estudio genómico funcional para profundizar el conocimiento de los mecanismos que promueven crecimiento en plantas de interés agrícola.



VI. RECOMENDACIONES:

- Se sugiere evaluar combinaciones del biochar junto a los endófitos, para evaluar su funcionalidad al controlar infecciones.
- Realizar una evaluación de genes en el control sobre *Fusarium*.



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
- Arcela-Castro LM, Morales-Medina DB, Rosales-Cuentas MM, Salazar-Sandoval CA, Cornelio-Santiago HP, Portalatino-Zevallos JC and Vega-Portalatino EJ (2026) Marine macroalgae-associated fungi from Yacila and Los Cangrejos beaches (Northern Peru) and previously selected marine bacteria evaluated as plant growth promoters in maize under saline stress. *Front. Fungal Biol.* 6:1726850. doi: 10.3389/ffunb.2025.1726850
- 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.
- Chandrasekaran, M., Paramasivan, M., and Sahayarayan, J. J. (2023). Microbial volatile organic compounds: an alternative for chemical fertilizers in sustainable agriculture development. *Microorganisms* 11, 1–18. doi: 10.3390/microorganisms11010042
- 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>
- Harikrishnan, M., Saipriya, P. ., Prakash, P., Jayabaskaran, C., and Bhat, S. G. (2021). Multi-functional bioactive secondary metabolites derived from endophytic fungi of marine algal origin. *Curr. Res. Microb. Sci.* 2, 100037. [doi: 10.1016/j.crmicr.2021.100037](https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100037)
- 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>
- Khalil, A., Bramucci, A. R., Focardi, A., Le Reun, N., Williams, N. L. R., Kuzhiumparambil, U., et al. (2024). Widespread production of plant growth-promoting hormones among marine bacteria and their impacts on the growth of a marine diatom. *Microbiome* 12, 205. doi: 10.1186/s40168-024-01899-6
- 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.
- Liu, J., Sun, S., Chen, K., Gao, S., Chen, D., Zhang, Y., et al. (2025a). Discerning promotion mechanisms of fungi *Clonostachys rosea* on growth of freshwater microalga *Chlorella* sp. by non-contact culture. *Algal Res.* 86, 103967. doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.103967>
- 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 lycoperici* 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>

Nahas, 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>

Nappo, A., Salamone, M., Masi, M., Morelli, M., Annunziata, M., Sonnessa, M., et al. (2025). Biotechnological Potential of a Novel Strain of *Fusarium proliferatum*, a Terrestrial Fungus Adapted to Marine Environment. *Environ. Microbiol. Rep.* 17, e70143. doi: <https://doi.org/10.1111/1758-2229.70143>

Nawrot-Chorabik, K., Marcol-Rumak, N., and Latowski, D. (2021). Investigation of the biocontrol potential of two ash endophytes against *hymenoscyphus fraxineus* using in vitro plant–fungus dual cultures. *Forests* 12. doi: 10.3390/f12121750

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>
- Vega-portalino, E. J., Rosales-cuentas, M. M., Valdiviezo-marcelo, J., Arana-torres, N. M., Espinoza-espinoza, L. A., and Moreno-quispe, L. A. (2023). Antimicrobial and production of hydrolytic enzymes potentials of bacteria and fungi associated with macroalgae and their applications : a review. *Front. Mar. Sci.* 10, 1–15. doi: [10.3389/fmars.2023.1174569](https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1174569)
- 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>

Yan-Yu, L., Han-Chen, H., and Jui-Yu, C. (2025). Effects of lichen symbiotic bacteria-derived indole-3-acetic acid on the stress responses of an algal–fungal symbiont. *Brazilian J. Microbiol.* doi: 10.1007/s42770-025-01693-y

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>



ANEXO

- Fotos del trabajo de los estudiantes en el presente trabajo
- Anexo 1. Lista como ponentes, organizadores y participantes de la actividad, para la emisión de certificados.
- Factura Electrónica, Agriplant S.R.L, RUC: 20537941066, E001-999.
- Factura Electrónica, Representantes Adriel, S.R.L, RUC: 10781134746, E001-997.
- Frontiers Media SA, Invoice: 2025-1560563-1, Prepayment towards MS1726850



Figura 5

Inoculación del *Fusarium* en semillas de tomate por parte de los estudiantes.



Nota. Estudiantes trabajando en la cámara de bioseguridad (Elaboración propia).

Figura 6

Evaluación de plántulas de tomates infectadas con *Fusarium* por parte de los estudiantes.



Nota. Estudiantes evaluando crecimiento en plántulas de tomate (Elaboración propia).

Anexo 1

Lista de participantes para emisión de certificados.

DATOS GENERALES

Número de horas:	48 horas académicas.	
Resolución de aprobación:	Resolución de Comisión Organizadora N° 810-2025-UNF/CO	
Nombre del Plan de Trabajo de RSU:	Control biológico de <i>Fusarium</i> sp. en plántulas de interés agrícola por Endófitos y Biochar como estrategia de remediación de suelos infectados	
Fechas:	Inicio: 25/06/2025	Termino: 23/12/2025



FORMATO PARA IMPORTAR ORGANIZADORES

OBLIGATORIO				OPCIONAL	
DNI	Folio	Numero	Participación	Apellidos y Nombres	Email
45016345	36	972876295	ORGANIZADOR	MSc. Vega Portalatino Edwin Jorge	evega@unf.edu.pe
46342807	36	943911402	ORGANIZADOR	MSc. Rosales Cuentas Miriam Marleni	mrosales@unf.edu.pe
75052116	36	987167314	PARTICIPANTE	Chavez Morán Marco Roberto	2022106005@unf.edu.pe

FORMATO PARA IMPORTAR PONENTES

OBLIGATORIO				OPCIONAL	
DNI	Folio	Numero	Participación	Apellidos y Nombres	Email
45016345	36	972876295	PONENTE	MSc. Vega Portalatino Edwin Jorge	evega@unf.edu.pe
46342807	36	943911402	PONENTE	MSc. Rosales Cuentas Miriam Marleni	mrosales@unf.edu.pe

FORMATO PARA IMPORTAR PARTICIPACIONES

OBLIGATORIO				OPCIONAL	
DNI	Folio	Numero	Participación	Apellidos y Nombres	Email
45016345	37	972876295	PARTICIPANTE	MSc. Vega Portalatino Edwin Jorge	evega@unf.edu.pe
46342807	37	943911402	PARTICIPANTE	MSc. Rosales Cuentas Miriam Marleni	mrosales@unf.edu.pe
75052116	37	987167314	PARTICIPANTE	Chavez Morán Marco Roberto	2022106005@unf.edu.pe
62027852	37	995075886	PARTICIPANTE	Angie Brigith Silupu Chiriboga	2023106021@unf.edu.pe
70928545	37	929783520	PARTICIPANTE	Jennifer Marcielo Torres Pacherres	2023106023@unf.edu.pe
71711993	37	963736751	PARTICIPANTE	Espinoza Vega Fiorela Lizbeth	2022206014@unf.edu.pe



AGRIPLANT S.R.L

AV. PRIMAVERA 120 URB. CHACARILLA INT. B404 COSTADO DE WONG
DE CHACARILLA
SANTIAGO DE SURCO - LIMA - LIMA

FACTURA ELECTRONICA

RUC: 20537941066
E001-999

Fecha de Emisión : **02/12/2025** Forma de pago : Contado
 Señor(es) : **UNIVERSIDAD NACIONAL DE FRONTERA**
 RUC : **20526270364**
 Dirección del Cliente : **AV. SAN HILARION 101 OTR. URB. POP. VILLA PERU CANA ZONA EXPANSION URBANA, MARGEN IZQUIERDA PIURA-SULLANA-SULLANA**
 Tipo de Moneda : **SOLES**
 Observación :

Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
1.00	UNIDAD	VERMICULITA FINA	168.6441	0.00

Valor de Venta de Operaciones Gratuitas :

SON: CIENTO NOVENTA Y NUEVE Y 00/100 SOLES

Sub Total Ventas :	S/ 168.64
Anticipos :	S/ 0.00
Descuentos :	S/ 0.00
Valor Venta :	S/ 168.64
ISC :	S/ 0.00
IGV :	S/ 30.36
ICBPER :	S/ 0.00
Otros Cargos :	S/ 0.00
Otros Tributos :	S/ 0.00
Monto de redondeo :	S/ 0.00
Importe Total :	S/ 199.00

Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.



REPRESENTACIONES ADRIEL
SANCHEZ DAMIANO ALEXANDER ADRIEL
JR. CHANCAY 643 CERCADO DE LIMA INT. 101
LIMA - LIMA - LIMA

FACTURA ELECTRONICA
RUC: 10781134746
E001-997

Fecha de Emisión : 03/12/2025
Señor(es) : UNIVERSIDAD NACIONAL DE
FRONTERA
RUC : 20526270364
Dirección del Cliente : AV. SAN HILARION 101 OTR. URB.
POP. VILLA PERU CANA ZONA
EXPANSION URBANA, MARGEN
IZQUIERDA PIURA-SULLANA-
SULLANA
Tipo de Moneda : SOLES
Observación :

Forma de pago: Contado

Cantidad	Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
1.00	UNIDAD	AGAR BACTERIOLOGICO X 500GR MARCA NILE CHEMICALS	500.00	0.
50.00	UNIDAD	PLACA PETRI DE VIDRIO DE 60X15 MM	4.661017	0.
1.00	UNIDAD	CRIOVIAL TAPA ROSCA NO ESTRIL DE 2 ML BOLSA X 500UND	50.847458	0.
1.00	UNIDAD	VASO PRECIPITADO DE VIDRIO DE 1000 ML	23.728814	0.
1.00	UNIDAD	CALDO MUELLER HINTON X 500GR	296.61017	0.

Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : S/ 0.00

SON: UN MIL TRESCIENTOS TRES Y 00/100 SOLES

Sub Total Ventas :	S/ 1,104.20
Anticipos :	S/ 0.00
Descuentos :	S/ 0.00
Valor Venta :	S/ 1,104.20
ISC :	S/ 0.00
IGV :	S/ 198.70
ICBPER :	S/ 0.00
Otros Cargos :	S/ 0.00
Otros Tributos :	S/ 0.00
Monto de redondeo :	S/ 0.00
Importe Total :	S/ 1,303.00

Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.



Frontiers Media SA

Avenue du Tribunal-Federal 34
1005 Lausanne, Switzerland
VAT Number CHE-114.168.540 TVA
www.frontiersin.org

For information:
accounting@frontiersin.org
Tel +41 21 510 17 03



Invoice

Invoice #: 2025-1560563-1
Date Issued: 04 Dec 2025
Date Due: 03 Jan 2026
Our Reference:

Bill to:
18633248
Universidad Nacional de Frontera Sullana
San Hilarión N° 101, Sullana 20103
20103 Sullana
Peru

Description of Services:

Prepayment towards MS 1726850

Title "Marine fungi isolated from macroalgae of Yacila and Los Cangrejos Beaches (Northern Peru) as growth promoters in maize under saline stress together with previously selected marine bacteria"

Your Reference:

CHF 1170 = 4,871.96 Sol Peruano This research was financially supported by the National University of Frontera, Peru, according to Organizing Committee Resolution No. 810-2025-UNF/CO and project approval by Dean's Resolution No. 141-2025-UNF-VPAC/FIIAB.

This prepayment invoice serves as a deposit only. The full APC fee will be the fee applicable at the time of article submission, as set out on the Frontiers website.

This deposit amount will be deducted from the final APC fee.

Making a Prepayment does not guarantee article's acceptance.

	Unit Price CHF	Qty	Total CHF
Pre-payment	1170.00	1	1170.00
Sub Total			1170.00
VAT*			0.00
Total			CHF 1170.00

* 8.10% VAT is payable on all invoices addressed to Swiss- or Liechtenstein-resident persons or organizations.

Please see next page for Payment Options and Instructions and Frequently Asked Questions

Payment Options and Instructions

- per Credit Card online (Visa, Mastercard, Diners)
Log on to your Frontiers account, mouse over your name, select >Invoices >View Details >Proceed to Payment.
Alternatively, please call us at +41 21 510 17 03 (during office hours Central European Time, GMT+1).

- per direct Bank Transfer

Beneficiary name:	Bank address:	IBAN:	Account number:
Frontiers Media SA	UBS Switzerland AG	CH420024324347968802Z	0243-00479688.02Z
Beneficiary address:	Place St Francois 16	BIC/SWIFT:	Reason for payment (required):
Avenue du Tribunal-Federal 34	CH-1003 Lausanne	UBSWCHZH80A	Invoice n. 2025-1560563-1
1005 Lausanne, Switzerland	Switzerland		

Frequently Asked Questions

- Can I pay by Purchase Orders?

Please email (to accounting@frontiersin.org) or fax (to +41 21 51 01 701) your purchase order to have the invoice re-issued accordingly. An email address is required for electronic delivery.

- How can I modify the invoice?

Log on to your Frontiers account, mouse over your name, select >Invoices >View Details >Modify Payer, then edit:

- the "Billing Address" section to modify the billing address;
- the "Your Reference" section to add other information needed by your institution (such as VAT number, Purchase Order number, etc);
- the "Email this invoice to" section to send this invoice to another person for payment.

- I am not a Registered User, what can I do?

If the invoice was issued directly to your attention, please consider registering at www.frontiersin.org (with same email address) to have access to full features and functionality. Registration is completely for free!

Alternatively, you can email your request or enquiry to accounting@frontiersin.org.

