UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUÍA DE BAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y APLICADAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOTECNOLOGÍA

INFORME DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIOTECNÓLOGO

BACTERIAS RIZOSFÉRICAS NATIVAS DE *Coffea arabica* COMO BIOCONTROLADORAS DE *Meloidogyne* spp. EN CULTIVOS DE *Capsicum annuum,* BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO

AUTOR:

Bach. Jeison David Granda Ramos

ASESOR:

Dr. Jorge Hilario Guzmán Bautista

COASESOR:

Dr. Juan Carlos Alvarado Ibáñez

Registro: 003-2025-FACINA

BAGUA – AMAZONAS – PERÚ

2025

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DEL INFORME DE TESIS

En el aula destinada para la sustentación de tesis, campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía ubicada en la Provincia de Bagua, Departamento de Amazonas, a las 10:30 horas del día 12 de diciembre, se reunió el Jurado de Tesis presidido por la Dra. LIZBETH MARIBEL CÓRDOVA ROJAS, e integrado por el M.Sc. ROMEL IVÁN GUEVARA GUERRERO y la Dra. MARÍA MARGARITA MORA COSTILLA, en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de la tesis titulada: "BACTERIAS RIZOSFÉRICAS NATIVAS DE *Coffea arabica* COMO BIOCONTROLADORAS DE *Meloidogyne* spp., EN CULTIVOS DE *Capsicum annuum*, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO", cuya responsabilidad corresponde al Bachiller en BIOTECNOLOGÍA JEISON DAVID GRANDA RAMOS, a fin de optar el Título Profesional de BIOTECNÓLOGO.

Terminada la sustentación el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado, cuya evaluación se consolida según tabla y parámetros cuantitativos que siguen:

Presidente	**Dra. LIZBETH MARIBEL CÓRDOVA ROJAS**	25
Miembro	**M.Sc. ROMEL IVÁN GUEVARA GUERRERO**	26
Miembro	**Dra. MARÍA MARGARITA MORA COSTILLA**	28
PROMEDIO		26

El Jurado después de deliberar y calibrar los aportes de la tesis y la fundamentación del sustentante, compatibilizó el resultado cuantitativo con la tabla cualitativa equivalente sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes declara la sustentación como aprobada asignándole un calificativo de 26 puntos, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua.

Siendo las 11:46 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

Nombre: Dra. LIZBETH MARIBEL CÓRDOVA ROJAS **Presidente**	Nombre: M.Sc. ROMEL IVÁN GUEVARA GUERRERO **Secretario**
Nombre: Dra. MARÍA MARGARITA MORA COSTILLA **Miembro**	

Nombre Asesor: Dr. JORGE HILARIO GUZMÁN BAUTISTA

Nombre Coasesor: Dr. JUAN CARLOS ALVARADO IBÁÑEZ

Distribución: Integrantes del Jurado de Tesis, Tesista (Todas con firmas en original)

UNIFSLB
UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUÍA DE BAGUA

FCNA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y APLICADAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOTECNOLOGÍA

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD AVALADO POR EL ASESOR

1. **Tesista:**
   Jeison David Granda Ramos
   DNI:
   75764859
   Escuela Profesional:
   Biotecnología

2. **Asesor:**
   Dr. Jorge Hilario Guzmán Bautista

3. **Grado académico o título profesional:**
   ☐Bachiller ☒Título profesional
   ☐Maestro ☐Doctor

4. **Denominación del título profesional:**
   Biotecnólogo

5. **Tipo de Investigación:**
   ☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
   ☐ Trabajo académico

6. **Título de Trabajo de Investigación:**
   BACTERIAS RIZOFERICAS NATIVAS DE *Coffea arabica* COMO BIOCONTROLADORAS DE *Meloidogyne* spp. EN CULTIVOS DE *Capsium annuum*, BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.
7. **Fecha de evaluación:** 18/09/2025
8. **Software antiplagio:** ☒ TURNITIN
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:**19%
10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**
    ☒ **APROBADO** ☐ **PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES**
    ☐ **DESAPROBADO**

Fecha Emisión: 16/12/2025

Firma y/o Sello Emisor Constancia

Dr. Jorge Hilario Guzmán Bautista
DNI: 06663384

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

DECLARACIÓN JURADA DE VERACIDAD DE INFORMACIÓN

Yo, Jeison David Granda Ramos, con DNI Nº 75764859, declaro bajo juramento, la veracidad de la información consignada y que los documentos presentados son copia fiel del original.

En el caso de no ser cierta la manifestación antes señalada, asumo las consecuencias legales que pudieran derivarse de mi actuación, y la UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL FABIOLA SALAZAR LEGUÍA DE BAGUA, conforme a la normativa vigente, no reconocerá validez alguna de la documentación adjunta a los efectos para los que ha sido presentada.

Bagua, 18 de diciembre del 2025

JEISON DAVID GRANDA RAMOS
DNI Nº 75764859

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con todo el amor y cariño a mis padres, por sus enseñanzas y sacrificios, que fueron el pilar primordial para obtener cada uno de mis logros. A mi pareja, por su apoyo, compañía incondicional y la paciencia que me demostró en los momentos más difíciles de este proceso. Y en especial a mi hijo, mi fuerza diaria para seguir adelante, con su ternura y sonrisa que lo caracteriza me inspira a ser mejor y no rendirme; este logro también está dedicado para ti.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios, por brindarme la salud, fortaleza y sabiduría fuentes necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. A la Universidad, por ser el espacio donde aprendí valores, ética profesional, donde también demostré y adquirí nuevos conocimientos que me permiten desenvolverme profesionalmente en el mundo laboral. De manera especial, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor Dr. Jorge Hilario Guzmán Bautista y en especial a mi coasesor de tesis, Dr. Juan Carlos Alvarado Ibáñez, por su orientación, acompañamiento constante y valiosos aportes académicos durante todas las etapas del desarrollo de la tesis, desde la ejecución de la tesis hasta la sustentación final. Asimismo, a mis compañeros Segundo Alejandro Mendoza Medina y Erwin Iván Pongo Becerra, por su apoyo y colaboración durante las actividades realizadas en el invernadero para el desarrollo del presente trabajo de investigación. Finalmente, agradezco a mis padres por el esfuerzo que realizaron durante el proceso y poder culminar satisfactoriamente, ejemplos de trabajo y que me impulsa a seguir adelante a pesar de los obstáculos que se presenten.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

1.1. Determinación del problema de investigación 2
1.2. Formulación del problema 3
1.2.1. Problema general 3
1.2.2. Problemas específicos 3
1.3. Objetivos: General y específicos 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. Importancia y alcance de la investigación 4
1.5. Limitaciones de la investigación 4
1.5.1. Condiciones controladas de invernadero 4
1.5.2. Diversidad y variablidad de rizobacterias 5
1.5.3. Limitaciones metodológicas y caracterización de mecanismos. 5
1.5.4. Formulación de bioinoculantes 5
1.6. Justificación de la investigación 5

II. MARCO TEÓRICO 7

2.1. Antecedentes de estudio 7
2.2. Bases de la primera y segunda variable 9
2.2.1. Rizósfera y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) 11
2.2.2. Mecanismos directos de las rizobacterias PGPR 11
2.2.3. Impacto en la agricultura sobre la aplicación de rizobacterias 15
2.2.4. *Meloidogyne* el nematodo agallador 15
2.2.5. Ciclo de vida del fitonematodo 16
2.3. Definición de términos básicos 17
2.3.1. Biocontrol 17
2.3.2. Antagonismo 17
2.3.3. Nematodos fitoparásitos 17
2.3.4. Rizobacterias 17
2.3.5. *Meloidogyne* spp. 17
2.3.6. *Coffea arabica* 18
2.3.7. *Capsicum annuum* 18
2.3.8. Biofertilizante 18
2.3.9. Inoculante 18
2.3.10. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal 18

III. HIPOTESIS Y VARIABLES 18

3.1. Hipótesis 18
3.1.1. Hipótesis general 18
3.1.2. Hipótesis alternativa 1 19
3.1.3. Hipótesis alternativa 2 19
3.1.4. Hipótesis nula 19
3.2. Variables 19
3.2.1. Variable independiente 19
3.2.2. Variable dependiente 19

IV. METODOLOGIA 21

4.1. Enfoque de investigación 21
4.1.1. Enfoque Cuantitativo 21
4.2. Tipos de investigación 21
4.2.1. Investigación descriptiva 21
4.2.2. Investigación experimental 21
4.3. Diseño de investigación 21
4.3.1. Diseño Experimental con Posprueba Únicamente y Grupo Control 21
4.4. Método 22
4.4.1. Localización del área de estudio 22
4.5. Población, muestra y muestreo 23
4.5.1. Población 23
4.5.2. Muestra 24
4.5.3. Muestreo 24
4.6. Procedimiento 24
4.7. Validez y confiabilidad de instrumentos 28
4.7.1. Validez y confiabilidad de equipos de laboratorio y de medición física 28
4.7.2. Valides y confiabilidad de datos estadísticos 28

V. RESULTADOS 29

5.1. Obtención de cepas rizobacterianas 29
5.2. Selección de las cepas rizobacterianas con potencial biofertilizante 30
5.3. Estadística descriptiva de los parámetros evaluados 34
5.4. Evaluación de los parámetros y nodulación de *Capsicum annuum* 35
5.2.1. Longitud de la planta 36
5.2.2. Grosor del tallo 37

5.2.3. Biomasa aérea y/o foliar 38
5.2.4. Biomasa radicular 39
5.2.5. Número de nódulos 40
VI. DISCUSION 41
VII. CONCLUSIONES 46
VIII. RECOMENDACIONES 46
IX. REFRENCIAS BIBLIOGRAFICAS 48

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 1 Descripción de los tratamientos **22**

Tabla 2 Parcelas de muestreo y georreferencias **24**

Tabla 3 Códigos de identificación asignados a los aislados bacterianos **30**

Tabla 4 Comparación in vitro de las bacterias seleccionadas biofertilizante **33**

Tabla 5 Resumen descriptivo de los parámetros evaluados **34**

Tabla 6 Resultados de normalidad y significancia por parámetro **35**

Tabla 7 Comparaciones en parejas de Games-Howell para la variable longitud **36**

Tabla 8 Comparaciones en parejas de Games-Howell para el tallo **37**

Tabla 9 Estadística descriptiva de las medianas de los tratamientos **38**

Tabla 10 Prueba no paramétrica Test de Conover con corrección de Holm. **38**

Tabla 11 Comparaciones en parejas de Games-Howell de la biomasa. **39**

Tabla 12 Comparaciones en parejas de Games-Howell de nódulos **40**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Solubilización de fosforo inorgánico **12**

Figura 2 Ciclo de Fijación Biológica del Nitrógeno **13**

Figura 3 Interacción y producción de fitohormonas **14**

Figura 4 Ciclo de vida del fitonematodo *Meloidogyne* **16**

Figura 5 Ubicación de las parcelas de estudio **23**

Figura 6 Selección preliminar de colonias bacterianas **29**

Figura 7 Ensayo de fijación de nitrógeno en medio semisólido Norris. **31**

Figura 8 Ensayo de solubilización de fosfato en medio de cultivo pikovskaya **31**

Figura 9 Producción de ácido indolacético (AIA) en reacción al reactivo Salkowski **32**

Figura 10 Efecto de los tratamiento y promedio longitudinal de las plantas **36**

Figura 11 Grosor del tallo de las plantas por tratamiento **37**

Figura 12 Biomasa aérea por tratamiento **39**

Figura 13 Crecimiento radicular y Biomasa por tratamiento aplicado **40**

Figura 14 Nodulación radicular y gráfica de los tratamientos evaluados frente al patógeno **…41**

RESUMEN

El uso indiscriminado de agroquímicos para el manejo de plagas y enfermedades afecta la biodiversidad microbiana del suelo, sostenibilidad agrícola y la salud humana. Este estudio evaluó el efecto biocontrolador de rizobacterias nativas de *Coffea arabica* en *Capsicum annuum* bajo condiciones de invernadero. Se aislaron un total de 80 cepas de rizobacterias, seleccionadas según sus características bioquímicas con potencial biofertilizante. La caracterización *in vitro* permitió identificar bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP) con IS > 2, productoras de ácido indolacético (BPAIA) con > 50 µg/mL y fijadoras de nitrógeno (BFN) mediante biopelícula y el cambio de pH. Las cepas se aplicaron a plantas de *Capsicum annuum* mediante cuatro tratamientos (BFN, BSP, BPAIA y CONSORCIO) más el grupo control. Se evaluaron longitud de la planta, grosor del tallo, biomasa foliar y radicular y nodulación por *Meloidogyne* spp. Los resultados mostraron que BSP obtuvo los mayores valores de longitud y grosor del tallo (16.92 – 4.578), biomasa foliar y radicular (0.4452), seguido por BPAIA, CONSORCIO y BFN, mientras el control presentó los valores más bajos. La nodulación fue significativamente menor en todos los tratamientos respecto al control (BSP: 4.583, BPAIA: 4.833, CONSORCIO: 4.917, BFN: 9.75 y Control: 16.83). Estos resultados evidencian que las rizobacterias, especialmente las BSP, promueven el crecimiento y actúan como agentes biocontroladores.

Palabras clave: Rizobacterias, *Coffea arabica*, *Capsicum annuum*, *Meloidogyne* spp., efecto biocontrolador.

ABSTRACT

The indiscriminate use of agrochemicals for pest and disease management affects soil microbial biodiversity, agricultural sustainability, and human health. This study evaluated the biocontrol effect of native rhizobacteria from *Coffea arabica* on *Capsicum annuum* under greenhouse conditions. A total of 80 strains of rhizobacteria were isolated, selected according to their biochemical characteristics with biofertilizer potential. *In vitro* characterization allowed the identification of phosphorus-solubilizing bacteria (PSB) with IS > 2, indoleacetic acid-producing bacteria (BPAIA) with > 50 µg/mL, and nitrogen-fixing bacteria (NFB) through biofilm and pH change. The strains were applied to *Capsicum annuum* plants using four treatments (NFB, PSB, BPAIA, and CONSORTIUM) plus the control group. Plant length, stem thickness, leaf and root biomass, and nodulation by *Meloidogyne* spp. were evaluated. The results showed that PSB obtained the highest values for stem length and thickness (16.92–4.578), leaf and root biomass (0.4452), followed by BPAIA, CONSORTIUM, and NFB, while the control had the lowest values. Nodulation was significantly lower in all treatments compared to the control (PSB: 4.583, BPAIA: 4.833, CONSORTIUM: 4.917, NFB: 9.75, and Control: 16.83). These results show that rhizobacteria, especially PSB, promote growth and act as biocontrol agents.

Keywords: rhizobacteria, *Coffea arabica*, *Capsicum annuum*, *Meloidogyne* spp., biocontrol effect.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola enfrenta diversos problemas fitosanitarios que limitan la producción, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad agrícola. Entre estos problemas los fitonematados del género *Meloidogyne*, representan uno de los principales grupos de importancia debido a su amplia distribución geográfica, su elevada adaptabilidad a diferentes condiciones edáficas y climáticas, y su capacidad para parasitar diferentes especies vegetales (Marquez & Hajihassani, 2023). Estos nematodos poseen la capacidad de penetrar las raíces, induciendo a la formación de agallas que alteran el funcionamiento radicular. Como consecuencia, reduce la absorción de agua y nutrientes, lo que se manifiesta en síntomas como clorosis, disminución del crecimiento vegetativo y pérdidas significativas en el rendimiento (Martínez Gallardo et al., 2019).

Capsicum annuum, es un cultivo hortícola de gran importancia económica y nutricional a nivel mundial. Sin embargo, la infestación por nematodos fitoparásitos ocasionan pérdidas considerables tanto en la productividad como en la calidad del fruto, afectando negativamente su valor comercial (Jindapunnapat et al., 2025). Además de su relevancia económica, *Capsicum annuum* es considerado un modelo experimental en estudios de interacción planta-patógeno, debido a su alta susceptibilidad, facilidad de manejo bajo condiciones de invernadero y su frecuente utilización en investigaciones agrícolas (Putri et al., 2020).

El manejo agronómico de los fitonematodos en sistemas de agricultura intensiva ha dependido históricamente del uso de productos químicos, debido a su acción rápida en la reducción de las poblaciones del fitopatógeno y la disminución de las pérdidas económicas (Silva et al., 2019). Se han identificados diversos efectos negativos que están asociados a la aplicación continúa de nematicidas químicos como la contaminación del suelo y agua, la eliminación de microorganismos benéficos, el desarrollo de resistencia de fitonematodos y los riesgos potenciales para la salud de las personas (Khan et al., 2023). Frente a esta problemática, en los últimos años se ha priorizado el desarrollo de estrategias de manejo sostenible, entre las cuales destacan los métodos de biocontrol basados en el uso de microorganismos benéficos, los cuales se presentan como una alternativa viable para el control de nematodos fitoparásitos.

En este contexto, las bacterias rizosféricas nativas han despertado un creciente interés debido a las múltiples características que poseen y que les permiten adaptarse eficazmente a las condiciones del suelo. Estas bacterias, conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), actúan favoreciendo el desarrollo de las plantas mediante diferentes mecanismos, las PGPR se caracterizan por su capacidad para colonizar la rizosfera, producir compuestos antagonistas, mejorar la disponibilidad de nutrientes y contribuir a la

mitigación del estrés vegetal, lo que se traduce en una mejora de la fisiología y el crecimiento de la planta (Gowda et al., 2022). Al tratarse de microorganismos nativos, estas bacterias presentan ventajas adaptativas frente a las condiciones ambientales locales, lo que incrementa sus probabilidades de éxito como agentes de biocontrol en sistemas agrícolas sostenibles.

Coffea arabica, es una planta arbustiva perenne, cultivada principalmente en regiones tropicales y subtropicales. Investigaciones previas han demostrado que en su rizosfera se desarrollan diversas comunidades microbianas, en las cuales se identifican microorganismos con capacidad para el biocontrol y la promoción del crecimiento vegetal (Muleta et al., 2013). En este sentido, la investigación sobre bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica* como biocontroladoras de *Meloidogyne* spp. en *Capsicum annuum* presenta una alternativa agroecológica con potencial para reducir el uso de agroquímicos y favorecer la sostenibilidad agrícola. De igual manera, el empleo de *Capsicum annuum* como planta modelo, permite generar conocimiento científico orientado a la implementación de prácticas agrícolas ambientalmente sostenibles.

1.1. Determinación del problema de investigación

Coffea arabica es un cultivo de importancia agrícola. Se cultiva en regiones tropicales y subtropicales como: Latinoamérica, Asia y África ; sin embargo, en los últimos años se ha enfrentado a diversas enfermedades fitopatógenas, generadas por microorganismos como fitonematodos, bacterias, hongos, etc. (Pérez et al., 2017).

La prevalencia de fitonematodos es alarmantemente alta en diversos cultivos alrededor del mundo debido a su carácter cosmopolita y polífago (Luc et al., 2005). En Perú los encontramos parasitando diversos cultivos en todas las regiones y condiciones climáticas (Miranda-Barrios et al., 2020). Este fitoparásito perjudica de manera directa el desarrollo y rendimiento de los cultivos, debido a su elevada capacidad de propagación y a su interacción con otros microorganismos del suelo, convirtiéndose en el principal responsable de las pérdidas económicas (López-Gómez et al., 2015), reconociéndose a *Meloidogyne* spp. como uno de los principales factores limitantes para la producción agrícola (Gowda et al., 2022). Actualmente, las prácticas de control radican en la utilización de compuestos químicos, lo que conlleva problemas ambientales por los residuos tóxicos generados, el desarrollo de resistencia de fitopatógenos, costos elevados de producción y efectos negativos para la salud humana (Narayanan et al., 2022). Por ello, se vuelve indispensable promover o desarrollar nuevas alternativas para el manejo sostenible de los fitoparásitos. Entre estas alternativas, las rizobacterias o también conocidas como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)

se avizoran como una opción biológica para controlar fitonematodos, en especial del género *Meloidogyne* (Egan & Kakouli-Duarte, 2022).

Estas rizobacterias nativas aisladas de la región Cajamarca son bacterias de vida libre que existen en la rizosfera del café adaptados por cientos de años que ayudaran a reducir la cantidad de nematicidas químicos empleados por los agricultores y proteger el medio ambiente (Gowda et al., 2022). Esta alternativa debe ser promovida como una estrategia de manejo integrado de enfermedades en los diferentes cultivos (Morales-Aranibar et al., 2023). Porque no solo reducirá los costos de producción, sino que también se obtendrá mejores resultados en rendimiento y calidad.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de las bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica* como biocontroladoras de *Meloidogyne* spp en cultivos de *Capsicum annuum*, bajo condiciones de invernadero?

1.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cuáles son las características biofertilizantes de las rizobacterias nativas de *Coffea arabica* que las hacen promotoras del crecimiento vegetal?

b. ¿Cuál es la influencia de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) sobre *Meloidogyne* spp. en *Capsicum annuum* bajo condiciones de invernadero?

1.3. Objetivos: General y específicos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de las bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica* como biocontroladoras de *Meloidogyne* spp. en cultivos de *Capsicum annuum,* bajo condiciones de invernadero.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Aislar y caracterizar las rizobacterias nativas de *Coffea arabica* con potencial en la promoción del crecimiento vegetal.

b. Evaluar el efecto de las rizobacterias sobre *Meloidogyne* spp. en cultivos de *Capsicum annuum* en condiciones de invernadero.

1.4. Importancia y alcance de la investigación

El control de fitonematodos especialmente del género *Meloidogyne,* representa un reto significativo para la producción agrícola a nivel mundial, porque ataca a diferentes especies de cultivos, ocasionando pérdidas económicas (Jones et al., 2013). El método tradicional para el control de *Meloidogyne* spp. se basa en el uso de sustancias químicas; sin embargo, la utilización prolongada de nematicidas ha generados daños en los ecosistemas, inducción a cepas resistentes y efectos dañinos en la salud de las personas (Moens et al., 2009). La utilización de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) como biocontroladoras, es una estrategia ecológica y sostenible con la capacidad de disminuir el uso constante de compuestos químicos en la agricultura (Ayub et al., 2024).

La presente investigación proporciona conocimientos específicos sobre el efecto biocontrolador que muestran algunas rizobacterias nativas aisladas de *Coffea arabica* frente a *Meloidogyne*, el cual genera consecuencias devastadoras en tiempos de cosecha y afectando la economía familiar de los agricultores, ya que cada año se genera grandes pérdidas (Deza et al., 2012). Esta investigación contribuye a concientizar sobre la importancia biotecnológica que presentan algunos microorganismos nativos, especialmente las rizobacterias en el control biológico de estas enfermedades.

Este estudio evidencia que ante la presencia de microorganismos patógenos de las plantas, existen otros microorganismos controladores naturales que mantienen el equilibrio ecológico (Urgiles-Gómez et al., 2021). De este modo, el estudio demuestra la importancia de los microorganismos biocontroladores y destaca su valor biotecnológico, con el fin de contribuir con la agricultura orgánica y sostenible, minimizando las pérdidas de las cosechas y reduciendo significativamente el uso de pesticidas químicos (Parveen et al., 2020).

1.5. Limitaciones de la investigación

1.5.1. Condiciones controladas de invernadero

los ensayos fueron realizados en condiciones controladas de invernadero, evitando la influencia de factores ambientales externos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en experimentos a campo abierto, existen múltiples variables intervinientes como la variación climática, tipo de suelo y microbiota nativa presente en los cultivos, que podrían alterar la interacción entre rizobacterias y fitonematodos (Forghani & Hajihassani, 2020).

1.5.2. Diversidad y variabilidad de rizobacterias

Las rizobacterias aisladas de *Coffea arabica* representan solo una parte de la diversidad microbiana que está presente en la rizosfera. El aislamiento, caracterización y selección de cepas bacterianas se orientó en función de las características biofertilizantes evaluadas *in vitro*, lo que podría limitar la identificación de otros posibles microorganismos con igual o mayor potencial biocontrolador y/o biofertilizante, lo que condiciona la representatividad de los resultados (Tran, 2022).

1.5.3. Limitaciones metodológicas y caracterización de mecanismos.

La cuantificación de los fitonematodos y la evaluación de los diferentes mecanismos PGPR estuvieron limitadas por la parte económica disponibles para la ejecución del proyecto y las técnicas metodológicas disponibles. En consecuencia, la ausencia de estudios moleculares profundos imposibilita una comprensión más detallada sobre los mecanismos de acción que poseen las bacterias rizosféricas frente a *Meloidogyne* (Habteweld et al., 2024).

1.5.4. Formulación de bioinoculantes

Aunque las cepas bacterianas estudiadas demuestren eficacia de biocontrol en las macetas del invernadero, la formulación y optimización de productos biotecnológicos comerciales, implica múltiples desafíos como, viabilidad, modo de aplicación y compatibilidad, los cuales serán motivo para futuras investigaciones. Es decir, el siguiente paso de la investigación sería realizar las pruebas en campo a escala real y determinar si la eficacia es la misma tanto en el experimento a nivel de invernadero con el experimento en campo (Sun et al., 2024).

1.6. Justificación de la investigación

Los fitonematodos pertenecientes al género *Meloidogyne* representan una de las principales amenazas fitosanitarias en la agricultura de los países en desarrollo, ya que afectan una amplia gama de cultivos y ocasionan importantes reducciones en el rendimiento y productividad. En la agricultura peruana, prevalencia de *Meloidogyne* más conocido como los nematodos formadores de agallas, están asociados a diferentes cultivos industriales y alimenticios, la presencia de los fitonematodos limita la producción y calidad en las regiones agrícolas (López, 2018).

La proliferación parasitaria genera como consecuencias la formación agallas y/o nódulos en las raíces, lo que impide la absorción de los nutrientes que sirven para el desarrollo fisiológico

de las plantas, como consecuencia, se vuelven más susceptibles a otras enfermedades y provocan marchitamiento, reducción de crecimiento. Mayormente a estas sintomatologías, los productores las asocian con otros factores como la falta de fertilización o ataque de otras enfermedades. Debido a la situación problemática actual, los agricultores buscan alternativas inmediatas de control y una de ellas es la utilización de nematicidas sintéticos, esta práctica no solo es utilizadas contra los fitonematodos, sino que también se utiliza para controlar otras plagas, a pesar de los efectos adversos que causan en las personas y el medio ambiente.

Ante esta necesidad se plantea la búsqueda de alternativas ecológicas sostenibles. El suelo rizosférico de los cafetos en la provincia de San Ignacio es un hábitat rico en biodiversidad microbiana, y las rizobacterias presentes desempeñan un papel fundamental en la promoción de la salud de las plantas; por lo tanto, una opción prometedora frente al uso excesivo de compuestos químicos es la utilización de las rizobacterias nativas con capacidad biofertilizantes asociadas a los cultivos de café, estas bacterias están adaptadas a las condiciones climáticas locales y son las principales responsables del buen estado sanitario de las plantaciones, es por ello, que se vuelven una opción biotecnológica.

A través de este estudio, se espera contribuir al conocimiento de la comunidad científica sobre el potencial biocontrolador de las rizobacterias nativas de *Coffea arabica* de la región Cajamarca frente a *Meloidogyne* spp., utilizando cultivos de *Capsicum annuum* como planta modelo de la investigación en condiciones de invernadero. La utilización de *C. annuum*, resulta ser apropiado por la facilidad de manejo en invernadero y la alta susceptibilidad a los fitonematodos, de esta manera, nos permite analizar con exactitud la interacción planta–patógeno. De tal manera, se busca ampliar el conocimiento existente acerca del efecto biocontrolador que ciertas rizobacterias pueden ejercer sobre los fitonematodos pertenecientes al género *Meloidogyne*.

A través de la presente investigación, se aporta una alternativa de manejo ecológico amigable con el medio ambiente. La obtención de resultados experimentales podrá servir de base para la elaboración de bioinoculantes y se aspira a abordar de manera efectiva los desafíos que aquejan a los horticultores y cafetaleros, brindando en consecuencia soluciones basadas en la biotecnología para el tratamiento de estas patologías y a su vez, contribuirá significativamente a reducir la dependencia de sustancias químicas dañinas.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

El fitonematodo *Meloidogyne* spp. es uno de los fitopatógenos más perjudiciales a nivel global, ya que causa un daño significativo en las raíces de diversos cultivos (Luc et al., 2005). Se distingue por tener un comportamiento alimenticio polífago y un amplio espectro de hospederos, especialmente en regiones tropicales y subtropicales (Moens et al., 2009), siendo considerado el nematodo fitoparásito de mayor relevancia económica a nivel global debido a su rápida propagación, alta tasa de infestación y su habilidad para disminuir el rendimiento en hasta un 68% (Espárrago & Navas, 1995). Los perjuicios ocasionados no solo disminuyen la cantidad de frutos del cultivo, sino que también afectan su calidad, lo que repercute en sus precios (Parveen et al., 2020).

Abd El-Aal et al. (2021), realizó un estudio sobre el manejo *in vivo* e *in vitro* de *Meloidogyne incognita* utilizando bacterias de la rizósfera, *Pseudomonas* spp. y *Serratia* spp. en comparación con oxamil. Tuvo como objetivo evaluar y comparar el efecto nematicida del oxamil y rizobacterias frente a *Meloidogyne incognita in vivo* e *in vitro*. La metodología utilizada *in vitro*, se utilizó 100 huevos libres y 100 juveniles infecciosos (J2) del nemátodo *Meloidogyne incognita*, en cambio, *in vivo* se utilizó la misma cantidad de huevos y juveniles infecciosos, pero infectados intencionalmente en plantas de *Luffa aegyptiaca* L. en condiciones de invernadero, en los dos manejos se agregó suspensiones de rizobacterias (*Pseudomonas* spp. y *Serratia* spp.). En los resultados se obtuvo que *Pseudomonas* spp. tuvo 48,31 a 55,15% de eficacia contra los huevos y en los J2 fue de 20,98 a 25,30%, mientras que *Serratia* spp. con 44,55 a 49,75% de los huevos y 19,06 a 21,61% con J2 *in vitro*. *In vivo*, las rizobacterias mezcladas extirparon elocuentemente el número de agallas y la reproducción de los huevos en la planta, mejor peso, en cambio, con oxamil se obtuvieron los mejores resultados. En conclusión, es mejor la utilización de diferentes consorcios de rizobacterias para biocontrolar nemátodos en las plantas.

De igual manera Abdellatif et al. (2021), realizó un estudio sobre la actividad de *Serratia* ssp. y *Bacillus* spp. como agentes de biocontrol contra *Meloidogyne incognita* que infecta al tomate. El objetivo es la evaluación de quitinolíticos cuantitativos y cualitativos de *Serratia, Bacillus megaterium* y *B. subtilis*, y el efecto nematicida contra *Meloidogyne incognita in vivo e in vitro*. Se realizaron pruebas con agar quitinasa y medios líquidos, para evaluar la actividad quitionolítica. Por otro lado; para la actividad nematicida se realizaron bioensayos en probetas e invernadero. En los resultados obtenidos *Serratia* spp (S2), presentó mayor actividad de

quitinasa total y específica 0,620 U/mL y 0,079 U/mg, en cambio; *B. megaterium* manifestó actividad de quitinasa totales y específicas mínimas de 0,320 U/mL y 0,042 U/mg, y no se manifestó acción de quitinasa para *B. subtilis*.

En el estudio realizado por Gowda et al. (2022), sobre el potencial nematicida de rizobacterias PGPR contra *Meloidogyne incognita* infestando tomate bajo cultivo protegido. Se evalúo el potencial nematicida de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) frente a *M. incognita*. *In vitro* se evaluó la mortalidad de juveniles y eclosión de los huevos donde, se vertió en una placa con cultivo nematodos de 100 J2/10 µL y se agregó 1 mL de mezcla de las PGPR en concentraciones de 10 %, 50 % y 25%. En cambio, en las macetas se utilizaron tres consorcios diferentes de PGPR en concentración de 10^8 UFC/mL y 2 J2/cc suelo, de juveniles recién nacidos en macetas. En los resultados obtenidos el consorcio PGPR al 100 % registró el 91, 67 % de mortalidad en los juveniles y 73,33 al 81,33% de PGPR individuales

Un estudio referido sobre la restauración de la biota del suelo fumigado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal para contrarrestar *Meloidogyne incognita* (*Tylenchida*: *Heteroderidae*) estimula el crecimiento y las defensas de la berenjena. Tuvo como objetivo evaluar dos formulaciones de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR): Bio Arc (BA; *Bacillus megaterium*) y BECTO Grows Roots (BGR; *Serratia marcescens*, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens*). La investigación se centró en la aplicación de un nematicida químico para garantizar la reducción de *Meloidogyne incognita* e eliminación del microbiota del suelo; después, se inoculó con las formulaciones de rizobacterias. Se determinó que la aplicación del producto químico no solo afecta la biota del suelo, sino que también afectó el peso fresco de la raíz. En cambio, BGR logró obtener el mayor porcentaje en cuanto a los parámetros de la planta, como: raíz fresca (18,48%), brote fresco de la planta (23,52%), peso fresco de la planta (21,03%) y disminución significativa en cuanto a las agallas presentes en la cabellera radicular; seguido de BA, con porcentajes menores: raíz fresca (11,98%), brote fresco (20,77%) y peso fresco de la planta (16,38%), respectivamente. En conclusión, es mejor la utilización de combinaciones de PGPR en el control de *Meloidogyne incognita*, además de que garantizan un crecimiento vigoroso y eficaz de las plantas (Ali et al., 2024).

Un estudio reciente sobre Caracterización de rizobacterias nativas antagonistas de nematodos agalladores para promover el crecimiento de plantas y su evaluación en tomate. Evaluó el potencial de seis cepas de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), aisladas de plantaciones de tomate infectadas como no infectadas. Las cepas aisladas de plantas infestadas fueron: *Microbacterium laevaniformans* (MlIRh3), *Staphylococcus kloosii* (SkIRh4)

y *Priestia aryabhattai* (PaIRh7); mientras que de las no infectadas son *Staphylococcus sciuri* (SsHRh3), *Bacillus pumilus* (BpHRh5) y *Priestia megaterium* (PmHRh10). Estas bacterias se le realizo caracterización bioquímica PGPR: solubilización de fosfato en medio Pikovskaya, producción de ácido indolacético (AIA) en presencia de triptófano, generación de amoníaco. Los resultados mostraron que tenían mejora actividad promotora del crecimiento, las cepas *P. megaterium* PmHRh10, *M. laevaniformans* MlIRh3 y *P. aryabhattai* PaIRh7 produjeron AIA, mientras que cinco de las seis cepas demostraron capacidad para solubilizar fosfato. En los ensayos en maceta, se aplicaron los aislados tanto de forma individual como en consorcios. El consorcio compuesto por *S. sciuri* SsHRh3, *B. pumilus* BpHRh5 y *P. megaterium* PmHRh10, proveniente de la rizósfera de plantas sanas, destacó al inducir un aumento significativo en el crecimiento de las plantas, logrando un incremento del 59,3 % en la biomasa total en comparación con el grupo control sin tratamiento. En contraste, la cepa *S. kloosii* SkIRh4 no presentó efectos positivos significativos, ni individualmente ni en combinación. En síntesis, este estudio resalta el valor de las rizobacterias nativas como agentes de biocontrol y promotores del desarrollo vegetal. La formulación de consorcios específicos, como el mencionado, podría ofrecer una alternativa biológica eficaz frente al uso de nematicidas sintéticos, especialmente en sistemas de producción protegidos (Thondihalu & Chawla, 2024).

2.2. Bases de la primera y segunda variable

Las rizobacterias se definen como bacterias que colonizan la rizosfera, la capa del suelo inmediatamente adyacente al sistema radicular vegetal, y pueden tener un impacto positivo en el desarrollo y la salud de las plantas (Glick, 2012). Algunas de estas rizobacterias tienen la capacidad de controlar fitopatógenos y se conocen como rizobacterias biocontroladoras (Compant et al., 2019).

El pimiento dulce o chile, es una planta muy popular que se cultiva en diferentes partes del mundo. El fruto es utilizado frecuentemente como salsa y se adiciona en diversos tipos de cocinas y asimismo se emplea en la medicina tradicional (Waqas et al., 2022). Además, presenta diferentes enfermedades originadas por fitopatógenos como: nematodos, hongos, virus (Hammad & El-Sagheer, 2023).

El control de estas enfermedades a menudo se logra mediante el uso de pesticidas, que pueden tener consecuencias adversas en el medio ambiente y la salud humana (Mendoza-Ponce et al., 2021). Debido que los nematicidas sintéticos deterioran el medio ambiente, existe la necesidad de investigar medidas ecológicas alternas para el control de *Meloidogyne* spp. que reducen el rendimiento de los cultivos (Bhat et al., 2023).

En los últimos años, ha aumentado el interés en la utilización de rizobacterias como agentes de biocontrol en la agricultura (Lugtenberg & Kamilova, 2009). Las rizobacterias biocontroladoras pueden actuar mediante diferentes mecanismos, como la producción de antibióticos, la competencia por nutrientes y la inducción de resistencia en la planta huésped (Compant et al., 2019).

Diversos estudios han destacado la capacidad de las rizobacterias como agentes de biocontrol para combatir fitopatógenos del pimiento dulce o chile u otra variedad de hortaliza. Por ejemplo, El-Ashry et al. (2022)**,** evaluó y concluyó que las rizobacterias junto a aceites vegetales, presentan la mayor efecto nematicida frente al fitonematodo en cultivo de *Capsicum annuum*. Asimismo, Borrajo et al. (2022) aislaron rizobacterias del género *Pseudomonas* spp. y *Bacillus* spp. que presentan efecto biocontrolador a *Meloidogyne javanica* en cultivos de lechuga *in vivo.*

Por otro lado, *Meloidogyne* spp. es un género de fitonematodos que afectan los sembríos de pimento o chile (*Capsicum annuum*) y otras variedades de plantas en diferentes regiones del mundo. *Meloidogyne* spp. es el agente causal de las agallas en las raíces, marchitez de tallos y hojas en las plantas, disminuyendo la cantidad y calidad de la producción (Feng et al., 2022). Este nematodo infectan las plantas mediante el transporte de partículas de agua, donde se desplaza y mediante el estilete perforan la raíz para alimentarse de los nutrientes de la planta y este proporciona sustancias químicas propias, generando la hinchazón de las células vegetales para dar lugar a las agallas (FertiLab, 2014).

Los fitonematodos agalladores (*Meloidogyne* spp.) representan una gran amenaza para la agricultura en diferentes cultivos. La utilización de diferentes nematicidas químicos para controlar los nematodos fitoparásitos tiene efectos adversos en el medio ambiente y la salud de las personas (Giri et al., 2022). Por lo tanto; existe una demanda urgente para desarrollar alternativas seguras y sostenibles para el control de las enfermedades provocadas por nematodos, una de las estrategias es la utilización de rizobacterias nativas biocontroladoras, que pueden inhibir la eclosión de los huevos y mortalidad de los nematodos juveniles infecciosos, mediante la producción de compuestos nematicidas (Abdellatif et al., 2021).

En resumen, el uso de rizobacterias como agentes de biocontrol para el control de fitonematodos puede ofrecer una alternativa sostenible y efectiva al uso de nematicidas químicos. Además, se ha demostrado que las rizobacterias biocontroladoras pueden tener un impacto positivo en la salud y el crecimiento de las plantas huésped. Por lo tanto, es importante seguir investigando el potencial de las rizobacterias como agentes empleados en el biocontrol y biofertilizantes en la agricultura.

2.2.1. Rizosfera y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR)

La rizosfera es la zona del suelo que se encuentra en estrecha proximidad con las raíces de las plantas. Esta región está compuesta principalmente por partículas de tierra de distintas texturas, agua, micronutrientes y una amplia variedad de microorganismos, tanto benéficos como patógenos (Flores-Álvarez et al., 2024). Debido a esta diversidad, la rizosfera constituye un entorno clave donde se lleva a cabo la mayoría de las actividades microbiológicas, protagonizadas por hongos, bacterias, fitonematodos, entre otros organismos del suelo (Fertilab, 2021).

Entre los microorganismos más relevantes que habitan esta zona, se encuentran las bacterias rizosféricas, también conocidas como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR). Estas bacterias representan uno de los principales componentes de la microbiota rizosférica y desempeñan un papel esencial en el mantenimiento del estado fitosanitario de los cultivos (Beneduzi et al., 2012). Es importante destacar que las rizobacterias intervienen activamente en diversos procesos biológicos. Por ejemplo, tienen la capacidad de asimilar nutrientes esenciales como la solubilización de fósforo y potasio, fijación de nitrógeno atmosférico, producir diversas fitohormonas como el ácido indolacético, de ese modo activando la inmunidad en las plantas (Velasco-Jiménez et al., 2020).

Estas funciones no solo mejoran la fertilidad del suelo, sino que también favorecen el desarrollo radicular y el crecimiento general de las plantas gracias a estas capacidades, las PGPR no solo se consideran agentes biofertilizantes, sino también aliados potenciales en el manejo ecológico de plagas, contribuyendo así a una agricultura más sostenible y eficiente (Carnicer et al., 2013).

2.2.2. Mecanismos directos de las rizobacterias PGPR

Las bacterias PGPR, son únicas por la capacidad que tienen de colonizar la cabellera radicular, desarrollarse en la rizosfera, suscitar el crecimiento vegetal y controlar fitopatógenos (Khoso et al., 2024).

Los mecanismos PGPR son:

a. Solubilización de nutrientes

La solubilización de nutrientes es un proceso fundamental en la nutrición de las plantas, estimulado en gran parte por la actividad microbiana por parte de los microorganismos que habitan en la rizosfera.

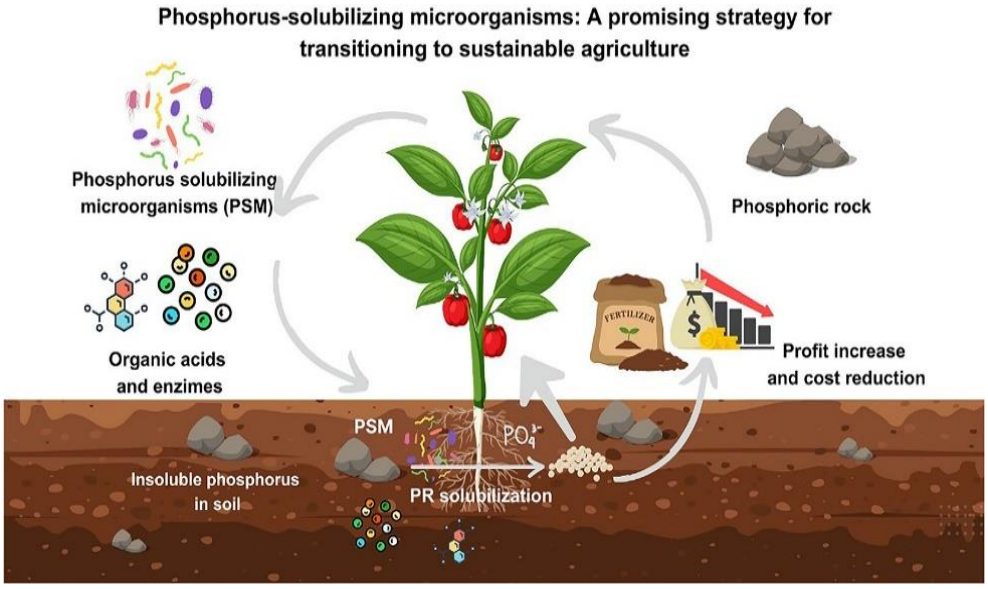
Estas bacterias benéficas del suelo tienen el potencial de convertir los nutrientes minerales que se encuentran en forma insolubles a estar disponibles para la asimilación de las plantas, mediante mecanismos de solubilización y mineralización (Cheng et al., 2023).

Entre los nutrientes del suelo que generalmente es más solubilizado por rizobacterias es el fósforo (P). El P es el segundo elemento más importante para el desarrollo vegetal y desempeña un papel importante en diferentes procesos metabólicos (Elhaissoufi et al., 2022). A pesar de la importancia, la disponibilidad del fósforo es restringido debido a que se encuentra en moléculas orgánicas; es por ello; que las bacterias rizosféricas tiene la función de realizar mecanismos de asimilación (García-Berumen et al., 2025) **(**Figura 1**).** De mismo modo, que ayudan mejorar el rendimiento nutricional, la actividad enzimática y participan en la diversidad y estabilidad de la microbiota del suelo (Li et al., 2023).

La utilización de bacterias rizosféricas solubilizadoras de fosfatos en la agricultura ha demostrado eficiencia en la mejora de la productividad y sostenibilidad en cultivos diferentes (Zhang et al., 2024).

Figura 1

Solubilización de fósforo inorgánico



Fuente. Tomado de "Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: The role of microbial solubilization and innovations in nutrient management", por García-Berumen et al., 2025. *Current Research in Microbial Sciences*, 100326 (https://doi.org/10.1016/J.CRMICR.2024.100326).

b. Fijación de nitrógeno atmosférico

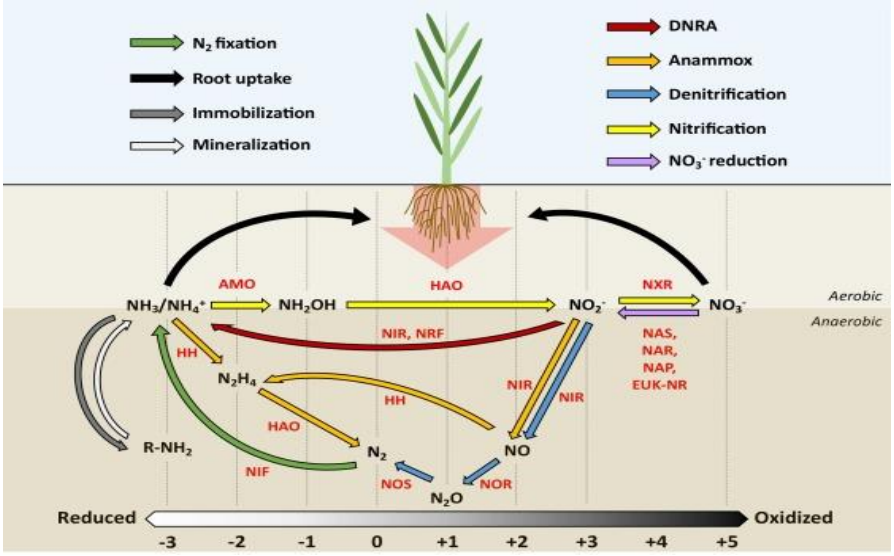
Las bacterias fijadoras de nitrógeno es un grupo de bacterias que viven en la rizósfera en constante interacción con las plantas y cumplen un papel fundamental en la sostenibilidad agrícola (Zhang et al., 2023).

El nitrógeno atmosférico (N_2) es el principal elemento para el desarrollo vegetal, este se encuentra en estado gaseoso; por el cual; para poder ser absorbido necesita ser asimilado. La transformación se origina por medio del ciclo de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN) (Figura 2), un proceso mediante el cual un determinado grupo de bacterias del suelo convierten el N_2 en moléculas más pequeñas como el amonio (NH_4^+), nitrato (NH_2^-) y nitrito (NH_3^-) (W. Hu et al., 2024).

Este proceso se lleva a cabo gracias a la nitrogenasa una enzima que se caracteriza por tener la capacidad de romper el enlace triple del nitrógeno (N2) y de tal manera aportar nitrógeno a las plantas para subsistir (Nawaz et al., 2024). El proceso de FBN no solo es proveer el elemento a la planta, sino que también están relacionadas con otros mecanismos secundarios como la inducción de resistencias sistemática, colonización de la raíz, compitiendo por nutrientes exudados, evitando la instalación de otros microrganismos como los fitopatógenos (Kumar et al., 2022).

Figura 2

Ciclo de Fijación Biológica del Nitrógeno



Fuente. Tomado de "How Plant Root Exudates Shape the Nitrogen Cycle", por Coskun et al., 2017, *Trends in Plant Science*. 661–673. https://doi.org/10.1016/J.TPLANTS.2017.05.004

c. Producción de Fitohormonas

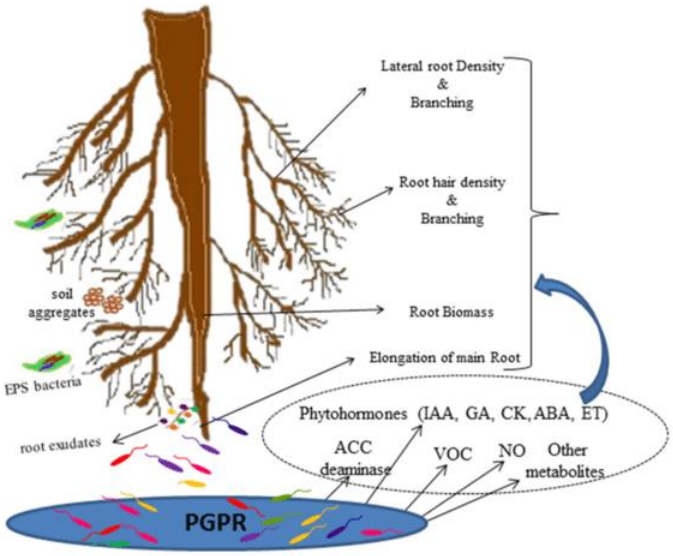
Las bacterias PGPR no solo cumplen funciones como la fijación de nitrógeno o la solubilización de nutrientes, sino que también son productoras de bioestimulantes. Entre las más importantes se encuentran el ácido indolacético (AIA), giberelinas, citoquininas, etileno y acido abscísico, todas estas están relacionadas en el crecimiento de la cabellera radicular y área (Husna et al., 2023).

De todas las fitohormonas, el AIA es la que está siendo estudiada en las bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Esta fitohormona tiene la función de estimular el crecimiento celular, formación de nuevas raíces, de tal manera ayudando a la absorción de los nutrientes que se encuentran en el suelo, esto ayuda a la activación del sistema inmune y al fortalecimiento de las plantas (Figura 3) (Pereira et al., 2023).

La producción de AIA por parte de las bacterias se da mediante diferentes rutas metabólicas. Es decir, cada ruta utiliza enzimas específicas hasta llegar al producto final; por lo tanto, asimilan el triptófano (precursor común para diferentes rutas), producto de la exudación de las plantas por las raíces y mediante un proceso bioquímico convierten el triptófano en AIA que, afecta directamente en el crecimiento y elongación de las raíces de la planta (Tang et al., 2023).

Figura 3

Interacción y producción de fitohormonas



Fuente. Tomado de "PGPR Mediated Alterations in Root Traits: Way Toward Sustainable Crop Production", por Grover et al., 2017, *Frontiers in Sustainable Food Systems*. https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.618230

2.2.3. Impacto en la agricultura sobre la aplicación de rizobacterias

En la actualidad la aplicación de rizobacterias en la agricultura moderna ha tenido un impacto positivo como uso de estrategias sostenibles para mejorar la producción agrícola. Estas bacterias como: *Agrobacterium, Arthobacter, Azospirillum, Bacillus, Burkholderia, Flavobacterium, Pseudomonas, Rhizobium*, etc. Bacterias nativas que se encuentran en la rizosfera, juegan un papel importante en la promoción del crecimiento de las plantas no solo por ser biofertilizantes o biocontroladoras sino que también actúan como intermediarios en el control del estrés vegetal (Dutta et al., 2022).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de inoculantes de origen bacteriano incrementa significativamente la producción de los diferentes cultivos, ayudan el sistema inmune y desarrollo vegetativo de los cultivos. Por ejemplo Urgiles-Gómez et al. (2021), realizó una revisión bibliográfica de las aplicaciones de rizobacterias en cultivos de café, es decir a escala real, donde menciona diferentes investigaciones realizadas, concluyendo que el uso de bioinoculantes a partir de PGPR, se obtiene resultados formidables a comparación de los controles; además, en algunos países ya están utilizando productos biológicos a base de estas bacterias. Por otro lado Giri et al. (2023), aisló bacterias del género *Pseudomonas* ssp y *Azospirillum* ssp asociadas a los cultivos de *Oriza sativa*, donde multiplicó las cepas y realizó la inoculación en campo, como resultado de la inoculación mejoraron el estado de salud de las plantas y el rendimiento productivo.

Estos antecedentes de estudio nos ayudan a centrarnos en investigar más la microbiota nativa asociada a los cultivos y que estas cumplen un papel fundamental en el entorno agrícola.

2.2.4. *Meloidogyne* el nematodo agallador

Meloidogyne o también conocido como el nematodo agallador es una plaga muy importante en el sector agrícola causante de pérdidas productivas en los cultivos (Puttawong et al., 2024). Estos fitonematodos interfieren directamente con la función de la raíz normal; es decir, inducen a la formación de agallas en el sistema radicular causando hiperplasia e hipertrofia en las células de sus hospedantes (Antil et al., 2023). Esta alteración afecta la capacidad de la planta para absorber los nutrientes y agua.

La proliferación de fitonematodos es favorecida en clima cálidos con humedad apropiada donde se realizan principalmente monocultivos, estos lugares son áreas donde

el nematodo puede desarrollarse de manera natural sin la interferencia de otros hospedantes (Haris, 2024).

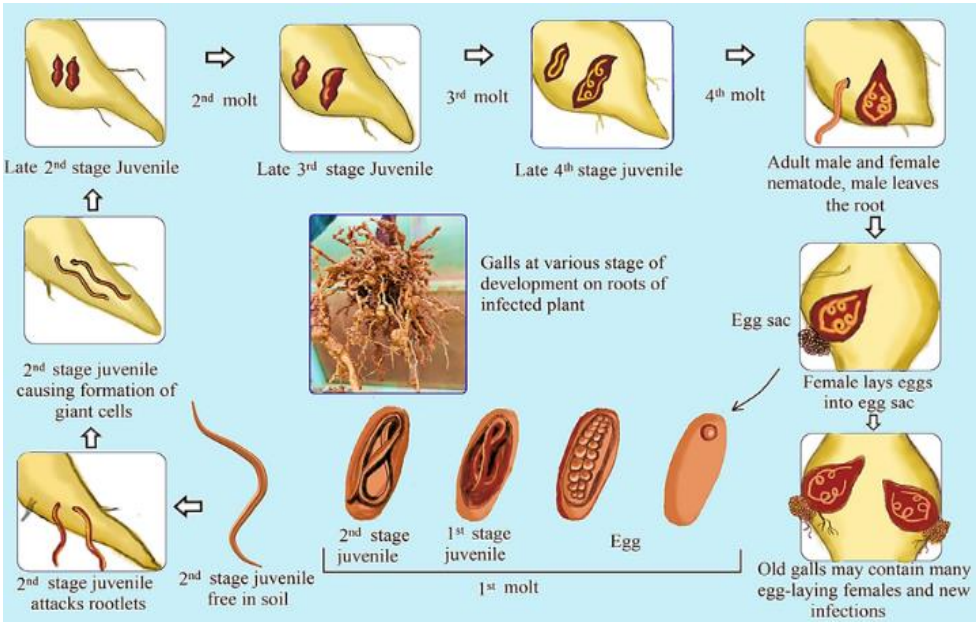
2.2.5. Ciclo de vida del fitonematodo

El ciclo de vida de *Meloidogyne* spp. es corto, principalmente cuando este se encuentra en climas favorables, humedad del suelo, disponibilidad de algún hospedante, y está compuesto por seis etapas (Figura 4).

La fase de inicio comienza cuando la hembra deposita los huevos en la raíz infectada. A partir de este empieza a desarrollarse convirtiéndose en primer estadio conocido como juvenil 1 (J1), este estadio aun no es infeccioso. Cuando el J1 pasa al segundo estadio conocido como juvenil (J2), este tiene la capacidad de infectar a las raíces, por eso se desplaza por el suelo en busca de raíces susceptibles, cuando el J2 penetra la raíz sigue el proceso convirtiéndose en J3 y J4. Durante este periodo genera la formación células gigantes (formación de agallas) (Pradhan et al., 2023).

Figura 4

Ciclo de vida del fitonematodo Meloidogyne



Fuente. Tomado de "Breeding for root-knot nematode resistance in fruiting Solanaceous vegetable crops: a review", por Pradhan et al., 2023, *Euphytica*, *219*(7). https://doi.org/10.1007/S10681-023-03204-2

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Biocontrol

Es el uso de diferentes microorganismos o compuestos de plantas, que tienen la capacidad de inhibir el crecimientos o efectos tóxicos generados por un determinado grupo de patógenos que afecta de manera directa el crecimiento y productividad de un cultivo (Thomashow, 1996).

2.3.2. Antagonismo

Es una relación letal o de impedimento; es decir, es la inhibición, disminución o extinción de un microorganismo por efecto de otro con capacidad inhibitorio (Pérez et al., 2014).

2.3.3. Nematodos fitoparásitos

Son parásitos que existen sobre y/o alrededor de la cabellera radicular de las plantaciones de cultivos (rizósfera), donde causan efectos primarios como; alterando la absorción de nutrientes y minerales, la interferencia en el transporte desde las raíces hacia el tallo, hojas y ramas, estableciendo un desbalance de macro nutrientes y micro nutrimentos que afectan su asimilación y desarrollo. Por lo tanto; conlleva a la antracnosis de los cultivos (Guzmán-Piedrahita et al., 2020).

2.3.4. Rizobacterias

Según Velasco-Jiménez et al. (2020), las rizobacterias son macroorganismos que habitan en la rizosfera, región del suelo que se adhiere a las raíces y se extiende en toda la superficie de la raíz y se caracterizan por presentar relaciones benéficas a la planta de manera simbiótica, proporcionando nutrientes y biocontrol de fitopatógenos.

2.3.5. *Meloidogyne* spp.

Son nematodos fitoparásitos de mayor importancia en la agricultura, debido que ataca a la mayoría de cultivos de gran importancia agrícola, generando grandes pérdidas del producto, se caracteriza por la infección en las raíces y tallos formando agallas en las partes infectadas de las plantas (Martínez-gallardo, 2019).

2.3.6. *Coffea arabica*

Es considerado una de las especies de café más importantes del mundo, es reconocido no solo por su gran valor económico, sino por ser materia prima de una de las bebidas más apreciadas y consumidas en la actualidad (Zhang et al., 2024).

2.3.7. *Capsicum annuum*

Es un cultivo de importancia en el mundo, debido a que en los últimos años se ha incrementado un crecimiento exponencial en la producción y exportación a diferentes países, generando grandes ingresos económicos a los agricultores (Martínez, 2013).

2.3.8. Biofertilizante

Los biofertilizantes son productos biotecnológicos que ayudan a mejorar la producción de los cultivos, proporcionando nutrientes que estimulan el crecimiento vegetal mediante la producción de bioestimulantes, la aplicación permite disminuir el uso de agroquímicos, promoviendo una agricultura sostenible (Virk et al., 2024).

2.3.9. Inoculante

Son productos elaborados a base de microorganismos vivos y benéficos, que se aplican a las raíces, semillas o suelo con la finalidad de promover el rendimiento y el desarrollo fisiológicos de los cultivos, además que actúan como agentes de biocontrol frente a microorganismos fitopatógenos (Santos et al., 2019).

2.3.10. Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) son bacterias que viven en el suelo, estas se encuentran de forma natural y colonizan las raíces de las plantas, además, tienen la capacidad de intervenir en el estado fitosanitarios de las plantas, mediante mecanismos de biofertilización, biocontrol y bioestimulación fisiológica (Reséndez et al., 2018).

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La aplicación de bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica* tiene un efecto biofertilizante y/o biocontrolador de *Meloidogyne* spp. en cultivos de *Capsicum annuum,* es decir, las rizobacterias proveen sustancias nutritivas que estimulan el

crecimiento vegetal y/o sustancias antagonistas que limitan la proliferación del nematodo, ocasionando la disminución de nematodos formadores de nódulos radiculares.

3.1.2. Hipótesis alternativa 1

Las rizobacterias nativas de *Coffea arabica* poseen características biofertilizantes como fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de ácido indol acético, que estimulan y protegen del ataque de ciertos fitopatógenos como *Meloidogyne* spp. en los cultivos de *Capsicum annum,* bajo condiciones de invernadero.

3.1.3. Hipótesis alternativa 2

Las rizobacterias fortalecen el sistema radicular, el tallo y promueven el crecimiento vegetativo en *Capsicum annuum*, resultando plantas vigorosas que afrontan mejor el ataque de *Meloidogyne* spp. En contraste, las plantas sin rizobacterias muestran un crecimiento vegetativo deteriorado, menor robustez y más susceptibles al ataque de *Meloidogyne* spp.

3.1.4. Hipótesis nula

La aplicación de rizobacterias nativas *Coffea arabica* poseen características de producir ácido indolacético, fijación de nitrógeno y solubilización de fosfatos, sin embargo; no protegen del ataque de ciertos fitopatógenos.

3.2. Variables

3.2.1. Variable independiente

Rizobacterias nativas de *Coffea arabica*.

3.2.2. Variable dependiente

Efecto biocontrolador de *Meloidogyne* spp.

3.3.Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento/ Escala
V.I. Rizobacterias nativas de *Coffea arabica*	Microorganismos existentes en la rizosfera de las plantas de café para controlar la proliferación y daño causado por los fitonematodos (Compant et al., 2020).	Capacidad de las rizobacterias para controlar *Meloidogyne* spp.	Eficacia del biocontrol	Aislamiento y Características de promoción de crecimiento vegetal	1. Solubilización de fosfatos	Índice de solubilización en milímetros
					2. Fijación de nitrógeno atmosférico	Producción de ácidos en medio sin nitrógeno por indicador de pH
					3. Producción de ácido indolacético	Nivel de intensidad de color grosella (µg/mL)
VD. Efecto biocontrolador de *Meloidogyne* spp.	Fitonematodo parasitario que origina la formación de agallas radiculares (enfermedad del nudo de la raíz) (Parveen et al., 2020).	Presencia y severidad del nematodo	Presencia de la enfermedad	Disminución de la multiplicación de *Meloidogyne* spp.	1. Número de nódulos radiculares	Recuento de nódulos radiculares
					2. Altura de las plantas de C*apsicum annuum*	Medición en cm
					3. Peso seco y/o fresco de plantas y raíces de *Capsicum annuum*	Medición en gramos

IV. METODOLOGIA

4.1. Enfoque de investigación

4.1.1. Enfoque Cuantitativo

La presente investigación se sustenta en un enfoque cuantitativo, ya que todo el proceso se establece desde la recolección de muestras hasta el experimento en invernadero mediante análisis e interpretación de los datos numéricos obtenidos.

4.2. Tipos de investigación

La investigación se desarrolló en dos etapas: selección y caracterización *in vitro* de rizobacterias (investigación descriptiva) y aplicación de las cepas seleccionadas en condiciones de invernadero (investigación experimental).

4.2.1. Investigación descriptiva

El estudio aplica la investigación descriptiva donde, nos permite conocer y seleccionar las cepas con el mejor potencial biofertilizante y la actividad antagonista al someterlas a la prueba de biocontrol frente a *Meloidogyne* spp.

4.2.2. Investigación experimental

Debido a la manipulación de las variables bajo condiciones controladas de invernadero; es decir, la inoculación de las rizobacterias y *Meloidogyne*. Posteriormente; se realiza las medidas de los efectos en el crecimiento y el número de agallas presentes en la raíz de la planta.

4.3. Diseño de investigación

4.3.1. Diseño Experimental con Posprueba Únicamente y Grupo Control

En este diseño, se seleccionaron por conveniencia los grupos de tratamiento y el grupo de control para comparar el efecto de la aplicación de las rizobacterias nativas sobre la multiplicación e infección del nematodo en la planta. La manipulación controlada de variables implica la aplicación de consorcios diferentes de rizobacterias en los grupos de tratamiento, mientras que el grupo control no recibe dicha aplicación. Se realizó una comparación posterior entre los grupos para evaluar si existe una diferencia significativa en la incidencia y severidad de la enfermedad entre los grupos tratados y el grupo control. Este diseño nos permitió establecer una relación causal entre la aplicación de las rizobacterias y la reducción del nematodo, al controlar otros factores que podrían influir en los resultados.

Esquema para el diseño experimental:

RG_1----------(X)----------O1

RG_2----------(--) ----------O2

RG_1: *Meloidogyne* spp.

RG_2: Grupo control, ausencia de rizobacterias

O1: Observación 1

O2: Observación 2

X: Tratamiento con rizobacterias fijadoras de nitrógeno/solubilizadoras de fosfatos, productoras de ácido indolacético y consorcios mixtos de rizobacterias

(--): Ausencia de estímulo.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Rizobacteria
CONTROL	Sin rizobacteria
BFN	Bacterias Fijadoras de nitrógeno
BSP	Bacterias Solubilizadoras de fosfatos
BPAIA	Bacterias Productoras de Acido Indol Acético
CONSORCIO	Consorcio mixto de rizobacterias

4.4. Método

4.4.1. Localización del área de estudio

a. Ubicación geográfica

Las Parcelas de estudio, denominadas el Acerillo y el Laurel de la familia Granda Ramos están ubicadas en el caserío de Ricardo Palma, Distrito y Provincia de San Ignacio, departamento del Cajamarca (Figura 5). Geográficamente, las parcelas de estudio están ubicado al norte del Perú, en la franja fronteriza con la República del Ecuador, formando parte de la ceja de selva, zona que se encuentra entre los andes y la amazonia, con suelos característicamente fértiles y húmedos (MPSI, 2025).

b. Clima y Relieve

Las parcelas de estudio se encuentran a 1 700 m s. n. m. de altitud (DePeru, 2025), factor que garantiza un clima templado y húmedo, con temperaturas que oscilan entre

18 ºC en época de invierno hasta 28 °C en el periodo de verano, presencia de precipitaciones durante los meses de noviembre a abril (SENAMHI, 2025).

Esta combinación de factores climáticos y edáficas hacen que el lugar sea rico en biodiversidad y sus suelos sean altamente productivos para la agricultura y ganadería.

c. Agricultura y ganadería

El lugar se caracteriza por la siembra de *Coffea arabica* como cultivo principal y fuente de ingreso económico en las familias agrícolas. También se realiza cultivos secundarios como *Musa paradisiaca* (plátano*)*, *Manihot esculenta* (yuca), entre otros productos endémicos de la región; por otro lado, un pequeño grupo se dedica a la siembra de árboles frutales y madereros.

En los últimos años se está realizando actividades pecuarias a menor escala como la ganadería, crianza de aves y porcinos, como parte de mejora en las condiciones de vida (Pyme, 2025).

Figura 5

Ubicación de las parcelas de estudio

Fuente. Imagen tomada de Google Earth

4.5. Población, muestra y muestreo

4.5.1. Población

Compuesta por todas las cepas bacterianas nativas aisladas del suelo rizosférico de los cafetos de las parcelas del Caserío Ricardo Palma, Distrito y Provincia de San Ignacio, Departamento de Cajamarca.

4.5.2. Muestra

Cinco rizobacterias con el mejor potencial biofertilizante en la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y productoras de ácido indolacético.

4.5.3. Muestreo

Para la toma de muestras se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando parámetros de calidad en la planta como: estado sanitario (ausencia de plagas y enfermedades), desarrollo vegetativo característico, sistema de raíces saludables y variedad, para garantizar la calidad de las muestras recolectadas (Tabla 2). Cada muestra procesada se obtuvo a partir de 6 submuestras tomadas en campo, con la finalidad de obtener muestras representativas para la investigación.

Tabla 2

Parcelas de muestreo y georreferencias

Parcela	Edad (años)	Variedad *Coffea arabica*	Número de Muestra	Código de muestras	Georreferencia		
					Sur	Este	Altitud (m.s.n.m)
Acerillo	11	Catimor	Muestra 1	ACM01	5°06′59	79°02′58	1,620
	9	Catimor	Muestra 2	ACM02	5°07′03	79°02′57	1,643
	4	Catimor	Muestra 3	ACM03	5°07′05	79°02′55	1,662
	2	Catimor	Muestra 4	ACM04	5°07′06	79°02′58	1,641
Laurel	11	Catimor	Muestra 5	LCM05	5°06′53	79°03′11	1,444
	10	Catimor	Muestra 6	LCM06	5°06′51	79°03′08	1,504
	9	Bourbon	Muestra 7	LBM07	5°06′55	79°03′05	1,532
	7	Bourbon	Muestra 8	LBM08	5°06′49	79°03′04	1,562
	9	Bourbon	Muestra 9	LBM09	5°06′51	79°03′01	1,596
	6	Bourbon	Muestra 10	LBM10	5°06′55	79°02′59	1,622

4.6. Procedimiento

a. Muestreo de suelo rizosférico

Para la toma de muestras se empleó la metodología descrita por McPherson et al. (2018), con modificaciones y adaptado a las condiciones de la presente investigación, primeramente se registró los puntos de georreferencia con un GPS manual marca Garmin modelo GPSMAP 64s. Posteriormente con ayuda una palana recta

previamente desinfectada se realizó una calicata de 30 cm x 30 cm a 80 cm de distancia del tallo de la planta y a 15 cm de profundidad aproximadamente, se colocó las raíces adheridas con suelo rizosférico en bolsas de polipropileno debidamente etiquetadas y posteriormente a temperatura de refrigeración se transportó las muestras al laboratorio de microbiología de la Facultad de Ciencias Naturales y Aplicadas (FACINA) de la Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua para su posterior análisis.

b. Aislamiento de rizobacterias

Con las muestras obtenidas se realizó diluciones en serie (10^{-1} hasta 10^{-6}). Por lo tanto, en condiciones estériles se pesaron 10 gramos de suelo rizosférico, se colocó en el frasco aforado con agua destilada estéril 90 mL. La mezcla se agitó durante 5 minutos hasta diluir, a partir de la cual se efectuaron las diluciones seriadas correspondientes (Cui et al., 2015).

A continuación, de las diluciones 10^{-5} y 10^{-6}, se tomaron 0.1 ml de c/u y se sembró en las placas Petri con medio de cultivo Plate Count Agar (PCA) utilizando la técnica de siembra por superficie, las placas se incubaron a 30 °C durante 48 horas (Qessaoui et al., 2020). Pasado el periodo de incubación, se verificó el crecimiento bacteriano y seleccionaron las colonias según sus características fenotípicas. Luego, se realizó la siembra por estría en frascos con medios de cultivos PCA inclinado (cultivos puros), luego se realizaron purificaciones por duplicado en placas Petri con PCA, se incubaron y conservaron en refrigeración para la caracterización *in vitro* (Peng et al., 2021). Este procedimiento implicó a todas las muestras de suelo rizosférico analizado.

c. Caracterización rizobacteriana

Antes de realizar la caracterización, se agregó en los tubos de microcentrífuga (2 ml) con caldo nutritivo Brain Heart Infusion (BHI), suplementado con L-triptófano, una asada de los cultivos puros conservado y se incubaron a 200 rpm durante 96 horas. Completado las horas de incubación, se realizó las pruebas *in vitro* con características biofertilizantes como:

- **Solubilizadoras de fosforo**

Primeramente, se realizó la homogenización de los tubos Eppendorf con crecimiento bacteriano en un vortex a 3000 rpm por 10 segundos. Luego se utilizó el método de placa extendida utilizada por Gupta et al. (2021), esta técnica fue acondicionada al alcance de la investigación; por lo tanto, se tomó 10 µL y colocó en las placas Petri divididas en 6 cuadrantes con medio de cultivo Pikovskaya (asegurar que forme una

circunferencia), se dejó en incubación a temperatura ambiente por 48 horas. Una vez pasado el tiempo establecido se procedió a realizar las medidas con vernier digital el índice de solubilización (IS), el cual representa la solubilización de fosfatos (Ibarra-Galeana et al., 2017). Las bacterias que presentan más IS (mayor a 2) en el tiempo determinado se utilizaron en los tratamientos de biocontrol frente al nematodo.

Para calcular del IS, se utilizó la metodología propuesta por Nautiyal, (1999), mediante la siguiente fórmula:

IS = D / d

Donde:

IS: Índice de solubilización

D: Diámetro de la colonia + halo de solubilización

d: Diámetro de la colonia

- **Fijación de nitrógeno**

La determinación de nitrógeno se realizó mediante el método de Florez et al. (2016), modificado, de los tubos homogenizados, con un asa bacteriológica se tomó dos asadas del cultivo y se procedió a introducir el asa en el centro del tubo de ensayo con medio de cultivo Norris semisólido suplementado con azul de bromotimol, se dejó en incubación durante 48 horas. Luego, se realizó la observación para determinar el cambio de color de azul a amarillo. Posteriormente, se seleccionaron e identificaron los tubos con el 100 % de color amarillo y una película blanquecina consistente.

- **Productoras de ácido indolacético**

Para la producción de ácido indolacético, las cepas bacterianas con 96 horas de incubación en caldo de cultivo suplementado con triptófano, se centrifugaron a 1200 rpm durante 15 minutos, con la finalidad de separar la biomasa y el sobrenadante (Gang et al., 2019). Después de la centrifugación, se mezcló 300 µL del sobrenadante y 1200 µL de reactivo Salkowsky ($HClO_4$ al 70 % y $FeCl_3$0.05 Mm) (proporción 1:4), se dejó en total oscuridad durante 30 minutos (se observó en algunos cultivos el cambio de color), luego, se realizó la lectura en equipo espectrofotómetro, para determinar presencia de AIA en µg/ml (Patel et al., 2018). Por lo tanto; para la selección de las mejores cepas, se tuvo en cuenta que la lectura en el equipo sean mayores a 50 µg/mL; por tal motivo, garantizando una mejor selección.

d. Muestreo de raíces infectadas

Previamente, se seleccionó las plantas infectadas y luego con la palana recta a 30 cm aproximadamente del tallo se excavó hasta tener presencia de raíces infectadas (presencia de agallas), las cuales fueron recolectadas en bolsas de primer uso y colocadas en el cooler a 4°C y realizó la extracción de los juveniles infecciosos en el laboratorio de la UNIFSLB (Olsen et al., 2013).

e. Aislamiento e identificación fenotípica de *Meloidogyne*

Las raíces recolectadas de los campos de café infestados, se lavaron con agua corriente con la finalidad de eliminar restos de tierra. Luego, se realizó cortes de 2 cm aproximadamente, se agregó hipoclorito de sodio al 1% y se licuó a baja velocidad durante 15 segundos. Posteriormente, la mezcla se hizo pasar por un sistema de tamices (colador, tamices de 75 µm y 38 µm), este sistema tiene como objetivo aislar juveniles del segundo estadio (J2) de *Meloidogyne* spp (Carta et al., 2005). Para la identificación, se tomó una muestra de los tubos Falcon y se observó en el microscopio.

f. Esterilización de suelo

Se recolectó suelo de campo con cultivos, para todos los propósitos experimentales (macetas y semilleros). El suelo se mezcló con compost y arena en una proporción de 2:1:1, con la finalidad de obtener sustrato agrícola aireado. Este se esterilizó en una olla a presión durante 4 h y almacenado en bolsas de polietileno de primer uso (Gowda et al., 2022). Se agregó sustrato esterilizado al semillero hasta cubrir los cubos, de igual manera se agregó 1 kg en las macetas estériles.

g. Experimentos en invernadero

Para la inoculación, se preparó una mezcla rizobacteriana con las mejores cepas con características biofertilizantes. Se realizó la siembra en frascos aforados con 260 mL de caldo BHI y se mantuvo a incubación durante 24 horas a 30 °C por 150 rpm. Terminado el tiempo, se verifico el crecimiento bacteriano en UFC/mL (Seo et al., 2012).

Las semillas de *Capsicum annuum*, se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2 % durante 3 minutos y luego se enjuagó cuatro veces con agua destilada estéril, para eliminar residuo de hipoclorito, se dejó secar en papel filtro durante 10 minutos y luego se sumergieron en suspensión mixta bacteriana de $1x10^6$ UFC/mL (Yanti et al., 2024), posteriormente se realizó la siembra en los semilleros una semilla/hoyo. Después de tres semanas, trasplantaron en las macetas, se realizó la inoculación con 10 mL/planta de los diferentes tratamientos de rizobacterias y pasado las 24 horas se agregó suspensiones de 10 mL/planta

de fitonematados del segundo estadio (J2), aislados de raíces infectadas de *Coffea arabica* (Díaz-Manzano et al., 2023).

Los experimentos en invernadero consistieron en 4 tratamientos experimentales y un control, los cuales estaban formados por una planta de *C. annuum* y *Meloidogyne.* Sin embargo, adicionalmente el tratamiento BFN, contenía bacterias fijadoras de nitrógeno, el tratamiento BSP, bacterias solubilizadoras de fósforo, el tratamiento BPAIA, bacterias productoras de ácido indolacético y el tratamiento CONSORCIO contenía la mezcla de las rizobacterias anteriores.

h. Evaluación de parámetros de la planta y biocontrol

Dos meses de post inoculación del nematodo, se realizó la evaluación y las medidas finales de las plantas de cada tratamiento (Yanti et al., 2024). Posteriormente, las plantas se cortaron a nivel del sustrato, seguido del retiro de las raíces de las macetas y lavado con agua destilada estéril para desechar cualquier residuo de tierra (Seo et al., 2012), posterior a ello, se procedió a realizar el conteo de agallas presentes en el sistema radicular, con el propósito de evaluar la infección de *Meloidogyne* spp. en respuesta al biocontrol de los diversos tratamientos de rizobacterias aplicados (Viljoen et al., 2019). Finalmente se dejaron secar y realizar la medición del peso de la biomasa radicular y aéreo (Seo et al., 2012).

4.7. Validez y confiabilidad de instrumentos

4.7.1. Validez y confiabilidad de equipos de laboratorio y de medición física

En la presente investigación no se realizó un proceso de validación de instrumentos, debido a que los equipos y materiales empleados corresponden principalmente a instrumentos de laboratorio y de medición estandarizados, como balanza analítica, incubadora, centrífuga, vernier digital, espectrofotómetro, autoclave, vortex, entre otros. Por lo tanto, Estos equipos cuentan con calibración por parte del fabricante, por lo que no es necesario realizar validación estadística o de contenido. Asimismo, su uso se efectuó bajo condiciones controladas en el laboratorio, siguiendo los protocolos establecidos de cada equipo para garantizar los resultados obtenidos con exactitud y confiabilidad en cada una de las etapas experimentales de la investigación.

4.7.2. Validez y confiabilidad de datos estadísticos

Con respecto al análisis estadístico, los datos experimentales obtenidos del invernadero, fueron procesados utilizando el Software Minitab versión 19, una herramienta conocida por su

precisión y robustes en procedimientos paramétricos y no paramétricos. Primeramente, se verificó los supuestos estadísticos de normalidad, con un criterio de $p > 0.05$ y homogeneidad de varianzas utilizando un nivel significancia $\alpha = 0.05$. Se aplicó ANOVA de Welch para las variables que presentaron distribución normal, pero varianzas heterogéneas. Con respecto a los datos que no cumplieron el supuesto de normalidad, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

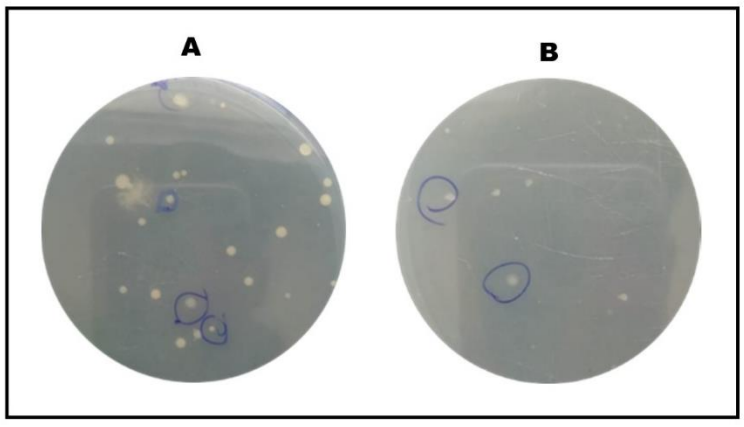
V. RESULTADOS

5.1. Obtención de cepas rizobacterianas

A partir de la rizosfera de cultivos de *Coffea arabica*, se obtuvo el crecimiento de diferentes colonias bacterianas en el medio no selectivo Plate Count Agar. Se observó una diversidad morfológica bacteriana caracterizada. Durante la observación inicial se evidenciaron diferencias en tamaño, elevación, borde, forma y color de la colonia, lo que permitió identificar distintos morfotipos presentes en la muestra. Para evitar el aislamiento de colonias repetidas con características similares, inicialmente se marcaron en las placas aquellas que presentaron morfología macroscópica distintas. A y B corresponden a dos muestras distintas sembradas individualmente, mostrando crecimiento bacteriano fenotípicamente diferente, como se muestra en la Figura 6. Posteriormente, se realizó la purificación por duplicado a todas las colonias seleccionadas.

Figura 6

Selección preliminar de colonias bacterianas



Al finalizar el procedimiento de selección y purificación por duplicado, se registró un total de 80 colonias bacterianas, a cada aislado se le asignó un código diferente con el fin de asegurar la identificación.

La asignación de códigos se realizó en relación a la cantidad de aislados obtenidos por cada muestra procesada, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Códigos de identificación asignados a los aislados bacterianos

Parcela	Número de muestra	Código de muestra	Cepas bacterianas		
Acerillo	Muestra 1	ACM01	ACM01-01	ACM01-04	ACM01-07
			ACM01-02	ACM01-05	
			ACM01-03	ACM01-06	
	Muestra 2	ACM02	ACM02-01	ACM02-04	ACM02-07
			ACM02-02	ACM02-05	ACM02-08
			ACM02-03	ACM02-06	
	Muestra 3	ACM03	ACM03-01	ACM03-04	ACM03-07
			ACM03-02	ACM03-05	
			ACM03-03	ACM03-06	
	Muestra 4	ACM04	ACM04-01	ACM04-04	ACM04-07
			ACM04-02	ACM04-05	ACM04-08
			ACM04-03	ACM04-06	
Laurel	Muestra 5	LCM05	LCM05-01	LCM05-03	LCM05-05
			LCM05-02	LCM05-04	LCM05-06
	Muestra 6	LCM06	LCM06-01	LCM06-04	LCM06-07
			LCM06-02	LCM06-05	LCM06-08
			LCM06-03	LCM06-06	LCM06-09
	Muestra 7	LBM07	LBM07-01	LBM07-04	LBM07-07
			LBM07-02	LBM07-05	LBM07-08
			LBM07-03	LBM07-06	
	Muestra 8	LBM08	LBM08-01	ACM08-05	LBM08-09
			LBM08-02	LBM08-06	LBM08-10
			LBM08-03	LBM08-07	
			LBM08-04	LBM08-08	
	Muestra 9	LBM09	LBM09-01	LBM09-04	LBM09-07
			LBM09-02	LBM09-05	LBM09-08
			LBM09-03	LBM09-06	
	Muestra 10	LBM010	LBM10-01	LBM10-04	LBM10-07
			LBM10-02	LBM10-05	LBM10-08
			LBM10-03	LBM10-06	LBM10-09

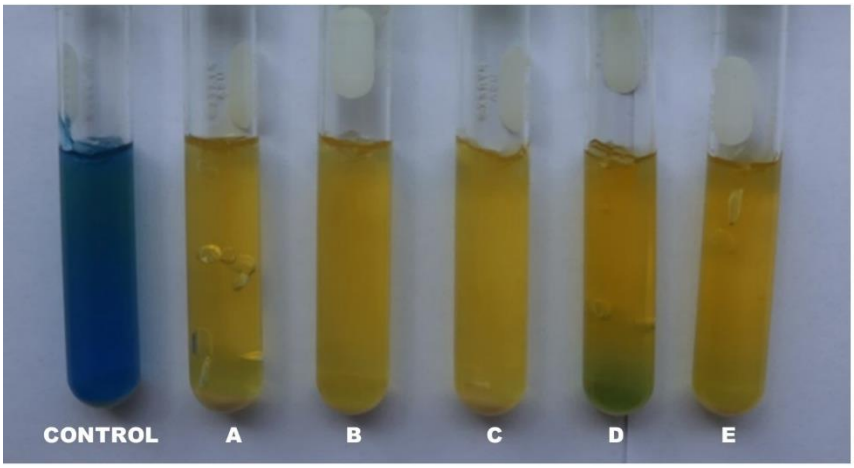
5.2. Selección de las cepas rizobacterianas con potencial biofertilizante

A todas las 80 cepas aisladas se realizó la caracterización *in vitro* para determinar su potencial biofertilizante, las pruebas realizadas incluyeron mecanismos directos como: la fijación de nitrógeno, solubilización de fosfatos y producción de ácido indolacético. De acuerdo con la metodología establecida, se seleccionaron las cinco cepas con mejor potencial biofertilizante por cada característica. En la prueba de fijación biológica de nitrógeno, se consideró como criterio principal de selección el cambio de color en el medio semisólido, es decir, de azul intenso a un color amarillo (100 %), acompañada de una biopelícula (crecimiento bacteriano).

A, B, C, D y E, representan a los 5 aislados con mejor fijación de nitrógeno evidenciado por el cambio de color y la formación de película superficial, a comparación del grupo control, como se muestra en la Figura 7. Las cepas bacterianas seleccionadas fueron: ACM01-04, ACM02-01, ACM02-02, LBM08-04 y LBM09-02, estas fueron las únicas que cumplieron los parámetros de selección establecidos.

Figura 7

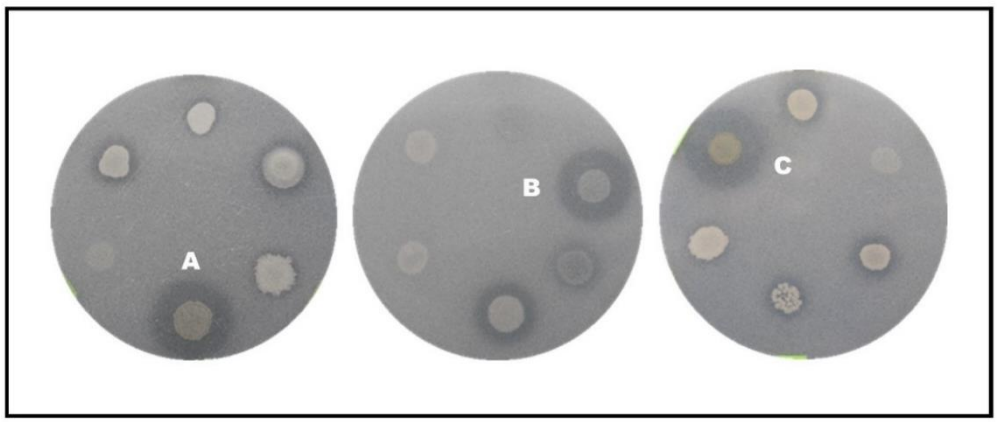
Ensayo de fijación de nitrógeno en medio semisólido Norris.



Para la solubilización de fósforo, se tomó como referencia el cálculo del índice de solubilización (IS) mayor a 2, mediante la fórmula establecida en el procedimiento. Debido a su naturaleza, diferentes cepas formaron halos de solubilización, y se seleccionaron las cepas que superaron el IS mínimo establecido. A, B y C, representan tres cepas de las cinco seleccionadas con mejor IS, Figura 8. Los aislados con códigos ACM01-02, ACM02-01, ACM03-06, ACM04-05 y LCM06-09, fueron las cinco cepas que marcaron la diferencia de IS a comparación de los otros aislados.

Figura 8

Ensayo de solubilización de fosfato en medio de cultivo Pikovskaya

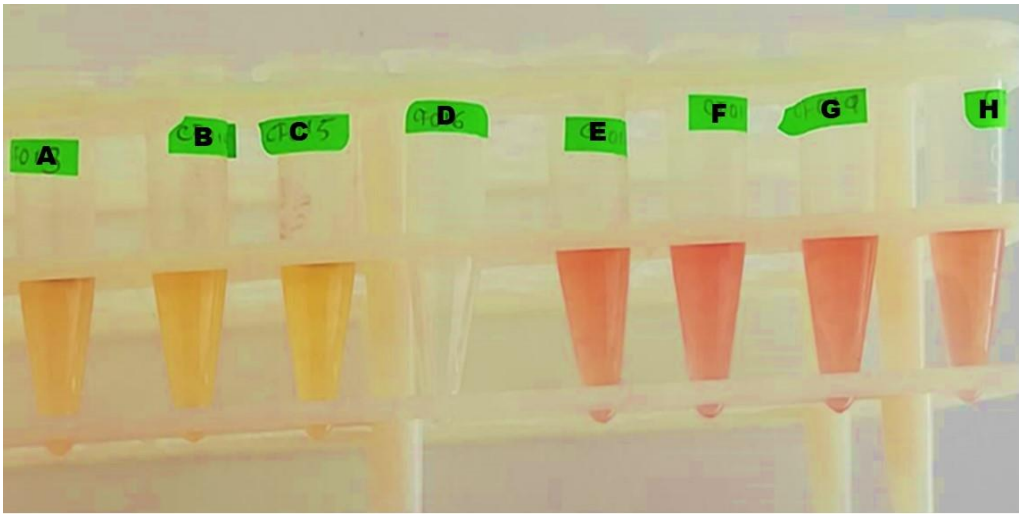


En cuanto a la producción de ácido indolacético (AIA), se seleccionaron las cepas bacterianas que desarrollaron una coloración grosella intensa o rosa intensa. Los aislados A, B, C y D, presentaron una coloración tenue asociadas a una menor actividad auxínica, en comparación con los aislados E, F, G y H que representaron a cuatro de las cinco cepas seleccionadas con mayor producción de AIA (Figura 9).

Como resultado de la reacción del reactivo aplicado, la lectura espectrofotométrica fue superior a 50 µg AIA/mL, lo que permitió la selección de las mejores cepas en cuanto a la producción de AIA. Las cepas seleccionadas con estas características fueron: ACM01-01, ACM01-03, ACM04-04, LCM05-01 y LCM06-01, teniendo una lectura superior al umbral establecido.

Figura 9

Producción de ácido indolacético (AIA) en reacción al reactivo Salkowski



Finalmente, las cepas seleccionadas por cada prueba fueron organizados en la tabla 4, donde se presentan los valores obtenidos en los ensayos *in vitro*, permitiendo una comparación clara entre los aislados con mayor potencial biofertilizantes.

Tabla 4

Comparación in vitro de las bacterias seleccionadas biofertilizante

CODIGO	BPAIA (96h)		BSP (48h)	BFN (48 h)	
	µg/mL	Abs	IS (cm)	Película	% Acidez
ACM01-01	**51.994**	0.701	0	No	0%
ACM01-02	12.452	0.202	**2.30**	No	0%
ACM01-03	**56.308**	0.756	1.19	No	0%
ACM01-04	1.577	0.064	1.64	**SI**	**100%**
ACM02-01	7.386	0.138	**2.24**	**SI**	**100%**
ACM02-02	6.130	0.122	1.64	**SI**	**100%**
ACM03-06	6.569	0.127	**2.18**	No	0%
ACM04-04	**65.418**	0.871	1.26	No	0%
ACM04-05	6.693	0.129	**2.19**	No	0%
LCM05-01	**76.579**	1.012	0	No	0%
LCM06-01	**52.316**	0.705	1.32	No	0%
LCM06-09	5.701	0.116	**2.70**	No	0%
LBM08-04	10.100	0.172	1.49	**SI**	**100%**
LBM09-02	11.720	0.192	1.82	**SI**	**100%**

En función a los resultados de los ensayos en laboratorio, la cepa ACM02-01, presenta un comportamiento integralmente favorable dentro de las pruebas realizadas *in vitro*, esta cepa no solo tiene la capacidad de solubilizar fosfato, sino que además tienen capacidad para fijar nitrógeno, dos elementos muy importantes para el desarrollo fisiológicos de las plantas. La combinación de estas características bioquímicas es particularmente relevante, ya que indica que, posee un potencial funcional más completo en comparación con las demás rizobacterias evaluadas, que solo tienen una característica biofertilizante representativa. Esta cepa rizosférica se posiciona como una potencial candidata prometedora para su aplicación, como biofertilizante y promotora del crecimiento vegetal.

5.3. Estadística descriptiva de los parámetros evaluados

Tabla 5

Resumen descriptivo de los parámetros evaluados

PARÁMETROS	Medidas descriptivas	BFN	BSP	BPAIA	CONSORCIO	CONTROL
Longitud	**Mediana**	12.00	18.00	12.00	13.50	11.00
	Media	11.58	16.92	14.92	13.75	10.33
	SD	1.88	3.58	5.84	3.47	2.96
	Min	9.00	10.00	8.00	8.00	6.00
	Max	16.00	22.00	28.00	20.00	15.00
Grosor	**Mediana**	4.00	4.68	3.90	4.27	2.87
	Media	3.93	4.58	3.85	4.10	2.96
	SD	0.58	0.82	1.14	0.94	0.87
	Min	2.96	3.39	1.83	2.50	1.52
	Max	4.74	6.32	5.58	5.14	4.46
Peso Foliar	**Mediana**	1.26	2.26	1.25	1.11	0.44
	Media	1.20	2.35	1.76	1.20	0.48
	SD	0.50	0.98	1.74	0.64	0.23
	Min	0.45	0.92	0.17	0.15	0.06
	Max	2.07	4.47	6.65	2.36	0.95
Peso Radicular	**Mediana**	0.14	0.41	0.25	0.33	0.10
	Media	0.19	0.45	0.28	0.30	0.12
	SD	0.11	0.21	0.17	0.16	0.09
	Min	0.07	0.15	0.04	0.03	0.01
	Max	0.39	0.94	0.58	0.55	0.33
Nódulos	**Mediana**	10.00	4.50	4.50	4.50	16.50
	Media	9.75	4.58	4.83	4.92	16.83
	SD	3.39	1.56	1.70	1.56	3.54
	Min	3.00	3.00	3.00	3.00	12.00
	Max	15.00	8.00	7.00	9.00	22.00

La Tabla 5, muestra los valores descriptivos de los parámetros agronómicos evaluados para los cuatro tratamientos en comparación con el grupo control. De los tratamientos evaluados, el tratamiento BSP, mostró los promedios más elevados en la mayoría de las variables del desarrollo fisiológico de la planta (longitud, grosor, peso foliar, y peso radical), evidenciando un efecto positivo superior a comparación de los demás tratamientos. Los tratamientos BPAIA y el consorcio presentaron valores intermedios y consistentes, en cambio, el tratamiento BFN, registró promedios más bajos en comparación con los tratamientos anteriores y por último el grupo control estuvo por debajo de todos los tratamientos.

Con respecto al número de nódulos, el control presento la mayor cantidad de nódulos, por lo cual no es favorable, ya que mayor cantidad de nódulos se asocia a la proliferación de los fitonematodos. En contraste, los tratamientos con las rizobacterias redujeron significativamente el número de nódulos, mostrando promedios menores y relativamente similares entre sí, resultando un efecto beneficioso para el desarrollo vegetal.

5.4. Evaluación de los parámetros y nodulación de *Capsicum annuum*

Al finalizar el periodo experimental de dos meses aproximadamente, se evaluó los parámetros como: el crecimiento longitudinal, el grosor del tallo, el peso foliar y radicular seco y la nodulación, para detectar los efectos positivos en la promoción del crecimiento vegetal y/o la inhibición o disminución de los nódulos en reacción a los diferentes tratamientos aplicados y comparar con el grupo control, en los cultivos de *Capsicum annuum.*

Para la evaluación de los parámetros, primeramente, se verificó la normalidad de los residuos. Los que no cumplieron este supuesto fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, mientras los que presentaron varianzas heterogéneas se evaluaron mediante la prueba ANOVA de Welch. La Tabla 6 resume los p-valores de normalidad de los residuos y el nivel de significancia de la prueba aplicada (p-valor). Se trabajó con p-normalidad >0.05 y con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Tabla 6

Resultados de normalidad y significancia por parámetro

Parámetro	p-normalidad	Prueba aplicada	p- valor
Longitud	0.296	Welch ANOVA	0.001
Grosor	0.100	Welch ANOVA	0.003
Peso foliar	0.010	Kruskal-Wallis	0.001
Peso radicular	0.100	Welch ANOVA	0.001
N° Nódulos	0.100	Welch ANOVA	0.001

Posteriormente, para identificar los tratamientos que defirieron entre sí, se aplicó las pruebas de Post-hoc correspondientes. Para los análisis paramétricos realizados con Welch, se utilizó Games-Howell y Conover para los análisis no paramétricos. Estas comparaciones nos permitieron determinar los grupos estadísticos (A, B) y establecer cuál fue el tratamiento con mejor desempeño en cada parámetro evaluado.

5.2.1. Longitud de la planta

Tabla 7

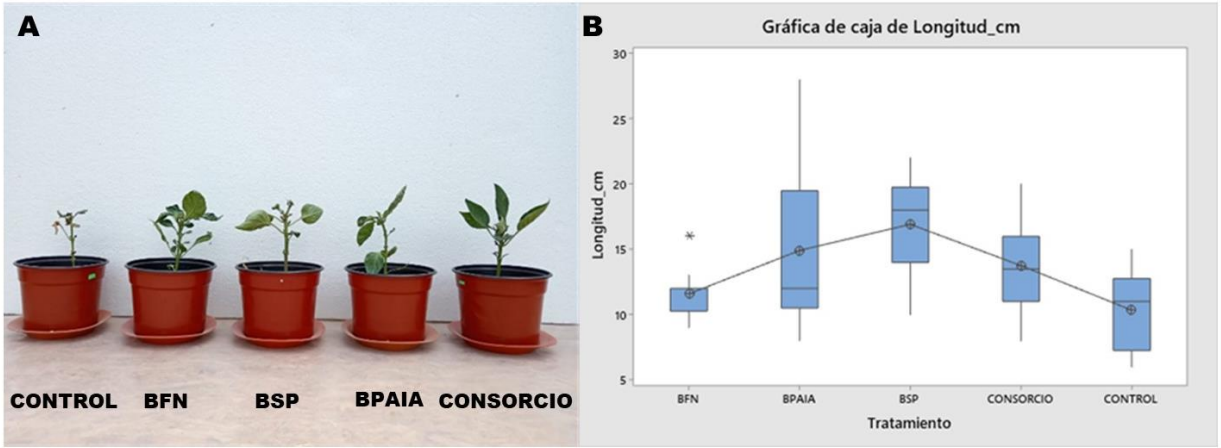
Comparaciones en parejas de Games-Howell para la variable longitud

TRATAMIENTO	N	MEDIA	AGRUPACIÓN	
BSP	12	16.92	A	
BPAIA	12	14.92	A	B
CONSORCIO	12	13.75	A	B
BFN	12	11.583		B
CONTROL	12	10.333		B

La Tabla 7 muestra las comparaciones múltiples de Games-Howell para el parámetro de longitud. Los tratamientos BSP, BPAIA, y CONSORCIO, se ubicaron en el grupo A, sin diferencia significativa entre ellos y presentaron las medias más altas. En cambio, el grupo B, conformado por el tratamiento BFN y el grupo control, evidenciaron valores mínimos en comparación al grupo A. además, el tratamiento BSP es significativamente diferente con el tratamiento BFN y el grupo CONTROL. Los resultados obtenidos demuestran que los tratamientos del grupo A, evidencian un efecto positivo superior en la variable evaluada, mientras que los tratamientos que conforman el grupo B, presentan el rendimiento más bajo a comparación del agrupo anterior. En la Figura 10, A muestra el efecto del crecimiento de las plantas de *Capsicum annuum* en reacción a los tratamientos aplicados y B demuestra, estadísticamente que el tratamiento BSP obtuvo el mayor promedio de longitud de la planta (16.92) en comparación con BPAIA (14.92), CONSORCIO (13.75). Finalmente, el tratamiento BFN (11.58) y el grupo CONTROL (10.33), presentan los promedios de longitudes más bajas.

Figura 10

Efecto de los tratamiento y promedio longitudinal de las plantas



5.2.2. Grosor del tallo

Tabla 8

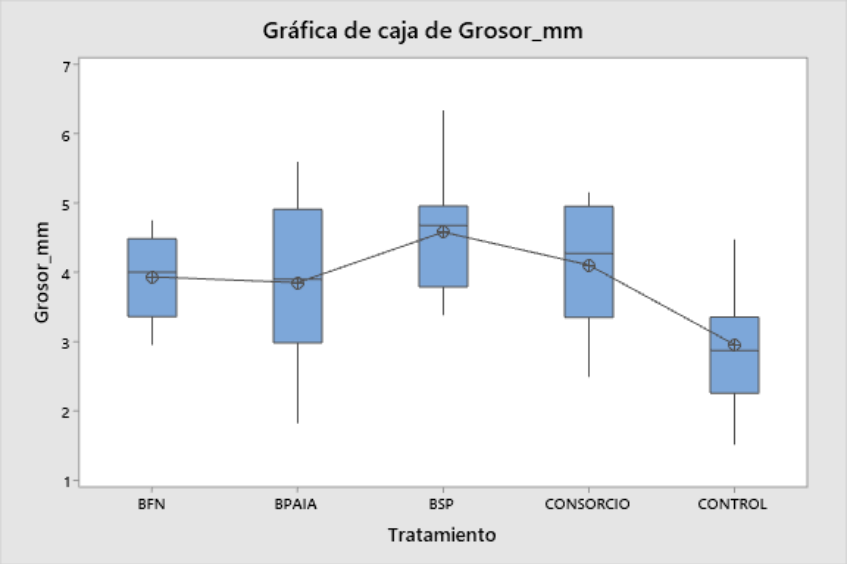
Comparaciones en parejas de Games-Howell para el tallo

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
BSP	12	4.578	A	
CONSORCIO	12	4.103	A	
BFN	12	3.933	A	
BPAIA	12	3.85	A	B
CONTROL	12	2.956		B

En la Tabla 8 se observa las comparaciones múltiples, donde el tratamiento BSP (A) obtuvo el mayor grosor del tallo, indicando que es significativamente diferente con el grupo CONTROL. Además, el tratamiento CONSORCIO (A), también mostró valores superiores, siendo significativamente diferente con el grupo CONTROL. De igual forma para el tratamiento BFN (A) con el grupo CONTROL. Sin embargo, el tratamiento BPAIA (A, B) no hubo diferencias significativas con el grupo CONTROL (B). Los resultados mostrados en la tabla se visualizan con mayor precisión en la Figura 11, en esta figura se aprecia el comportamiento de los tratamientos con respecto al grosor del tallo, donde el tratamiento BSP, presenta un promedio mayor (4.578), Seguido del tratamiento CONSORCIO (4.103), como tercer mejor tratamiento destaca el BFN (3.933), seguido del BPAIA (3.85) y finalmente el grupo control con el promedio mínimo (2.956).

Figura 11

Grosor del tallo de las plantas por tratamiento



5.2.3. Biomasa aérea y/o foliar

Tabla 9

Estadística descriptiva de las medianas de los tratamientos

Tratamiento	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
BFN	12	1.2565	30.5	0.01
BPAIA	12	1.2465	33.5	0.67
BSP	12	2.261	47.3	3.73
CONSORCIO	12	1.11	29.5	-0.21
CONTROL	12	0.4405	11.6	-4.2

Como se utilizó una prueba no paramétrica, en la Tabla 9 observamos las medianas por tratamiento para el indicador peso foliar. Se observa que entre los tratamientos no se ve una gran diferencia, pero si hay una gran diferencia con el grupo CONTROL (0.4405).

Tabla 10

Prueba no paramétrica Test de Conover con corrección de Holm.

TRATAMIENTO	BFN	BPAIA	BSP	CONSORCIO
BPAIA	1.000	-	-	-
BSP	0.019 (*)	0.063	-	-
CONSORCIO	1.000	1.000	0.015 (*)	-
CONTROL	0.010 (*)	**0.002 (**)**	**0.000 (**)**	0.015 (*)

(*) Significativa a nivel del 0.05

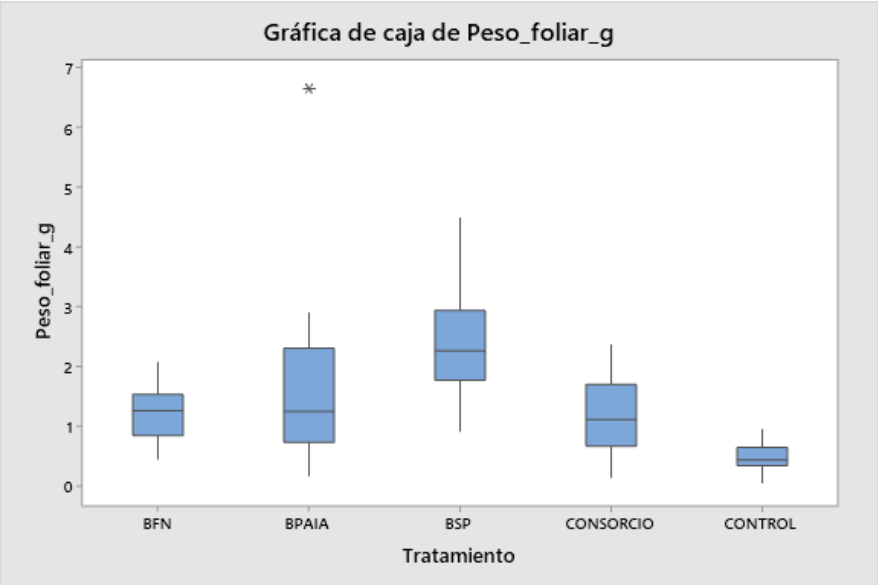
(**) Significativa a nivel del 0.01

En la Tabla 10, se observa los resultados de las comparaciones múltiples, los cuatro tratamientos son significativamente diferentes con el grupo CONTROL. Entre los tratamientos se observó que el tratamiento BSP hay diferencias significativas con el BFN, de la misma forma con el tratamiento BSP con el CONSORCIO. En los demás tratamientos no hay evidencia estadística que muestren diferencias significativas.

En la Figura 12, el tratamiento BSP obtuvo mejor promedio (2.26), seguido del tratamiento BFN (1.26), BPAIA (1.25) y finalmente el CONSORCIO (1.11), en comparación con el grupo control. Destacando como mejor tratamiento en cuanto a BSP.

Figura 12

Biomasa aérea por tratamiento



5.2.4. Biomasa radicular

Tabla 11

Comparaciones en parejas de Games-Howell de la biomasa.

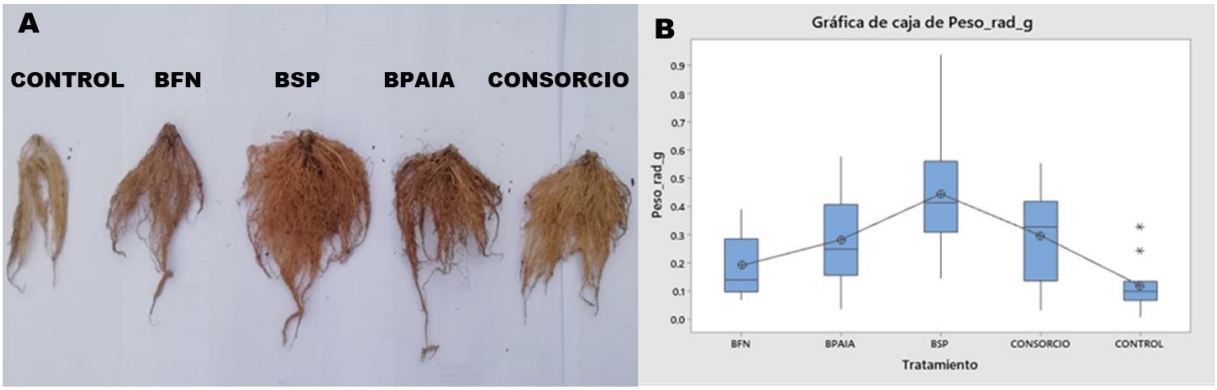
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
BSP	12	0.4452	A		
CONSORCIO	12	0.2972	A	B	
BPAIA	12	0.2827	A	B	C
BFN	12	0.1909		B	C
CONTROL	12	0.1194			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes y los que comparten no presentan diferencias significativas en el parámetro evaluado. Según la Tabla 11, en las comparaciones múltiples, se observa que el tratamiento BSP (A) muestra diferencias significativas frente al tratamiento BFN (B, C) y el grupo CONTROL (C). Además, el tratamiento CONSORCIO (B, C), también muestra diferencia significativa en comparación con el grupo CONTROL (C). Como se observa en la Figura 13, A muestra, el crecimiento de la cabellera radicular en reacción a los tratamientos aplicados y B demuestra, que el tratamiento BSP

muestra el promedio mayor (0.4452), indicando que fue el más efectivo con respecto a la biomasa radicular, seguido del CONSORCIO (0.2972) y BPIA (0.2827). El tratamiento BFN (0.1909) y el grupo CONTROL (0.1194), presentan los promedios más bajos reflejando menor biomasa radicular.

Figura 13

Crecimiento radicular y Biomasa por tratamiento aplicado



5.2.5. Número de nódulos

Tabla 12

Comparaciones en parejas de Games-Howell de nódulos

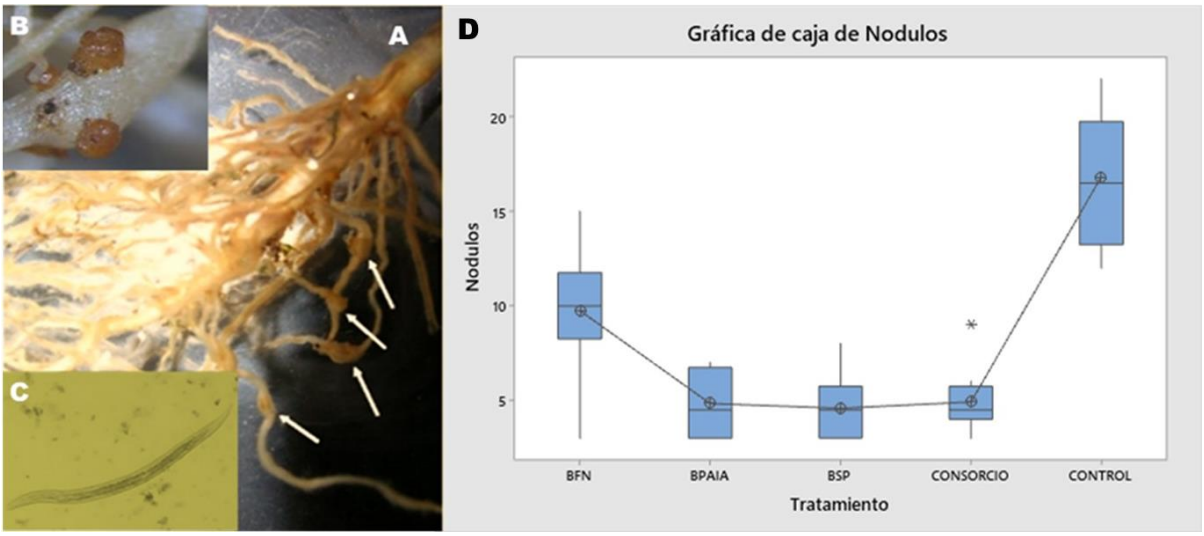
Tratamiento	N	Media	Agrupación		
CONTROL	12	16.83	A		
BFN	12	9.75		B	
CONSORCIO	12	4.917			C
BPAIA	12	4.833			C
BSP	12	4.583			C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. En la Tabla 12 se observan las comparaciones múltiples donde el tratamiento BSP (C) es significativamente diferente comparado con el tratamiento BFN (B) y el grupo CONTROL (A). Además, el tratamiento CONSORCIO (C) es significativamente diferente con el grupo CONTROL(A) y el tratamiento BFN (B). Según la Figura 14, A evidencia, la cantidad de nódulos en el sistema radical, B un nódulo individual atrofiado, C un juvenil del estadio 2 (J2) observado bajo microscopio y D demuestra, que el tratamiento BSP, redujo significativamente en cuanto a número de nódulos con el promedio mínimo (4.583), seguido de BPAIA (4.833) y el CONSORCIO (4.917), estos tratamientos indican una mejor efectividad en cuanto al biocontrol de los fitonematodos. Por otra parte, el tratamiento BFN y el grupo CONTROL, obtuvieron los

promedios mayores (9.75 - 16.83), en cuanto a la nodulación, esto indica que hubo mayor infección de los nematodos en el sistema radicular.

Figura 14

Nodulación radicular y gráfica de los tratamientos evaluados frente al patógeno



VI. DISCUSION

En este estudio, las pruebas realizadas *in vitro* demostraron que las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) con características en la fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de fósforo y productoras de ácido indolacético (AIA), muestran un potencial en el desarrollo fisiológico y el estado fitosanitario de las plantas. Estos resultados se correlacionan con los efectos positivos de los parámetros de la planta en la etapa experimental, reforzando la relevancia biotecnológica de las cepas seleccionadas.

Caracterización *in vitro* de las rizobacterias biofertilizantes

La selección de las bacterias fijadoras de nitrógeno, se basó en evaluar las cepas en el medio libre de nitrógeno (Norris) con indicador azul de bromotimol, Después del periodo de incubación, se observó una película blanquecina y cambio de color de azul a amarillo. La película indica crecimiento bacteriano y el cambio de color se asocia a los metabolitos producidos o cambio de pH, debido a la actividad nitrogenasa que realizan a la mayoría de especies diazotróficas (Jee et al., 2025). El cambio de coloración del medio, es respaldada y comúnmente utilizado por diferentes investigadores, para seleccionar diazotróficos *in vitro*, esta transformación está asociada a una mayor capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en rizobacterias (Raimi et al., 2020). Las bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica*

solubilizadoras de fosfatos, presentaron halos con índice de solubilización (IS) mayor a 2 en el medio Pikovskaya, en respuesta a la solubilización del fosfato tricálcico (fósforo insoluble) que contiene el medio de cultivo. Estos resultados coinciden con reportes de diferentes estudios sobre rizobacterias solubilizadoras de fósforo, por ejemplo, un estudio reciente se reportó cepas bacterianas con un índice de solubilización menor de 2.72 y mayor 4.0 (Rafique et al., 2022). De igual manera Batool & Iqbal, (2019), determinaron cepas bacterianas con la capacidad de solubilizar fosfatos formando halos y determinando el índice de solubilización entre 4.0 y 7.0. En otro estudio reciente, se aislaron y caracterizaron 743 rizobacterias solubilizadoras de fosforo, obteniendo índice de solubilización mínimo de 1.8 y máximo de 3.3, finalmente se seleccionaron 98 cepas que presentaban el IS >2 (Alemneh et al., 2025). Por lo tanto, es mejor seleccionar rizobacterias con un promedio de IS >2, debido a que nos garantiza obtener resultados óptimos cuando se apliquen en los experimentos *in situ* o en campo. En cuanto a la producción de ácido indolacético (AIA) las cepas seleccionadas produjeron más de 50 µg AIA/ml, lo cual este valor resalta como altos niveles de la producción de fitohormonas que favorecen el crecimiento de la cabellera radicular y mejoran la absorción de los nutrientes. Por ejemplo, en un determinado estudio se realizó caracterización en la producción de ácido indolacético, obteniendo como resultados un rango menor de 57.1 µg AIA/mL y mayor de 204.28 µg AIA/mL, evidenciando valores elevado en cuanto a la producción de la fitohormona (Fahsi et al., 2021). De igual manera Rathod & Shrivastav, (2025), en su estudio con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal reportaron que una cepa de *Azotobacter* alcanzó un valor de 55 µg AIA/mL. Según estas investigaciones, las cepas de rizobacterias nativas de *Coffea arabica* productoras de AIA, tienen un desempeño competitivo frente a otros PGPR ya reportados. También, se han reportado en diferentes estudios con valores elevados en la producción de AIA, tal es el caso de la investigación realizada por Sitlaothaworn et al. (2023), de 50 cepas bacterianas, una alcanzó un valor máximo de 202.25 µg AIA/mL, convirtiéndose en una cepa con valor biotecnológico que se debe utilizara para elaboración de bioinoculantes.

En consecuencia, durante la selección de las rizobacterias con el mejor potencial biofertilizante se detectó la cepa ACM02-01, posee dos características biofertilizantes (fijadora de nitrógeno y solubilizadora de fósforo), estas cualidades la hacen única dentro del grupo de las bacterias seleccionadas, convirtiéndose, en una cepa que se puede utilizar para formular bioinoculantes y erradicar la dependencia de agroquímicos.

Correlación entre los resultados *in vitro* y experimentales

La coherencia entre los ensayos *in vitro* y los resultados experimentales en la especie vegetal *Capsicum annuum*, es uno de los hallazgos más evidentes dentro de la investigación, esto nos demuestra que las rizobacterias seleccionadas que, presentaron los mejores resultados *in vitro*, influyen de manera directa en el desarrollo fisiológico de las plantas en comparación con el grupo control. Las cepas con alto IS agrupadas en el tratamiento BSP, evidenciaron los mejores resultados en cuanto a los parámetros fisiológicos de las plantas (longitud, grosor, peso radicular y aéreo), Seguido de las cepas productoras de AIA agrupadas en el tratamiento BPAIA y el CONSORCIO (BFN+BSP+BPAIA), que también tuvieron efectos positivos en el desarrollo agronómico de *Capsicum annuum* y en cuanto a las bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), presentaron resultados mínimos a comparación de los demás tratamientos, pero con diferencia mínima en cuanto al grupo control. Los resultados obtenidos con el tratamiento BSP, evidenciaron el mejor desempeño con respecto en los parámetros agronómicos evaluados. Con este tratamiento se registraron los valores más altos de longitud de la planta, grosor del tallo, biomasa foliar y radicular en *Capsicum annuum*. Estos resultados concuerdan con otros estudios recientes que demuestran el efecto positivo de las rizobacterias solubilizadoras de fósforo sobre el crecimiento vegetal. Por ejemplo Elhaissoufi et al. (2020), reportaron que la inoculación con bacterias rizosféricas solubilizadoras de fosfatos incrementó significativamente la biomasa radicular, influyó en el diámetro de la raíz y aumentó la biomasa de los brotes, confirmando la capacidad de este grupo microbiano para mejorar el desarrollo morfológico de los cultivos. Del mismo modo, Hu et al. (2024), evaluaron cepas de PSB (bacterias solubilizadoras de fósforo), aisladas del suelo rizosferico de *Parashorea chinensis* y encontró que la inoculación con estas bacterias promovieron un aumento significativo en la longitud de las plántulas y en el crecimiento del diámetro basal, con un aumento de 1,56 cm y 0,53 mm en comparación con el grupo control. Además, otro estudio demuestra que las rizobacterias solubilizadoras influyen en la germinación de las semillas y en el desarrollo vegetativo de las plantas (Mahdi et al., 2020). Estos resultados respaldan lo observado en la presente investigación, donde las cepas con mayor capacidad de solubilización demostraron una ventaja clara con respecto a la promoción del crecimiento vegetal. El segundo tratamiento que mostró efecto positivo en cuanto al desarrollo de la planta es BPAIA, este tratamiento estuvo constituido por bacterias productoras de ácido indolacético con un promedio mayor a 50 µg AIA/mL en laboratorio, estos resultados preliminares también se reflejaron en el experimento, donde influyo en el crecimiento, grosor, biomasa aérea y radicular. Estos resultados muestran similitud con otras investigaciones. Un trabajo de investigación describe como los aislados con capacidad de

producir ácido indolacético *in vitro,* también influyeron en pruebas de vivero, promovieron el crecimiento y biomasa del sistema radicular (Ganesh et al., 2024) . Por otro lado, se determinó que las bacterias productoras de AIA *in vitro*, afectaron positivamente en el crecimiento radicular y biomasa acumulada en los cultivos de *Solarium lycopersicum* en comparación con el grupo control (Khan et al., 2016). Y por último el tratamiento CONSORCIO, mostró resultados similares al BPAIA, esto se debe a que este tratamiento estuvo constituido por las rizobacterias de los tratamientos BFN, BSP Y BPAIA, las cuales de una u otra manera influyeron en el crecimiento de la planta, pero los resultados no fueron superiores a los demás grupos a pesar que tenía bacterias con las tres características biofertilizantes. Con respecto al tratamiento BFN, los resultados no fueron evidentes a pesar que en la selección *in vitro* presentaron resultados óptimos. Quizás por si solas este grupo no actúa en el desarrollo de las plantas, sino que necesita de otro grupo con característica biofertilizante, para poder actuar, tal como se reporta en la investigación de Li et al. (2020), donde evaluaron los efectos de la co-inoculación con una bacteria diazotrófica y una solubilizadora de fosforo sobre el crecimiento en el cultivo de trigo. Determinaron que la co-inoculación, aumento significativamente la biomasa de la planta (longitud y peso) y la actividad nitrogenasa al 69% en comparación con la inoculación de la bacteria diazotrófica (bacterias fijadoras de nitrógeno). Lo que sugiere que la bacteria fijadora de nitrógeno necesita una solubilizadora, como intermediario para actuar.

Efecto biocontrolador

En cuanto al biocontrol, casi todos los tratamientos (excepto BFN) aplicados en los cultivos mostraron un efecto biocontrolador frente al fitonematodo *Meloidogyne*, reduciendo el número de agallas como símbolo de antagonismo. BSP obtuvo el menor promedio (4.833) en cuanto a agallas y/o nódulos radiculares, destacando como un grupo de tratamiento ecológico para el manejo integrado de este fitopatógeno. Los efectos positivos de este grupo bacteriano en el desarrollo de las plantas, afectaron directamente en la protección de los cultivos frente al ataque de los fitoparásitos. Los tratamientos BPAIA y CONSORCIO, también tuvieron un promedio similar (4.917 – 4.833) al BSP en comparación al tratamiento BFN y el grupo control, que presento el mayor promedio de nódulos (16.83), es decir, las cepas aisladas y caracterizadas en laboratorio, juegan un papel muy importante de antagonismo frente a la *Meloidogyne*. Estos resultados son similares a otros ya reportados, como es el caso del estudio realizado por Ye et al. (2022), donde aislaron una bacteria de la rizosfera del arroz y comprobaron en condiciones de invernadero, redujo eficientemente el número de agallas, causadas por la proliferación de *Meloidogyne* y también promovió el crecimiento de las plantas de arroz. En la siguiente investigación se reportó la utilización de las cepas promotoras del crecimiento vegetal, como

Pseudomonas spp. y *Serratia* spp, dos rizobacterias que se caracterizan por tener actividad biofertilizantes, durante el experimento estas rizobacterias, promovieron el crecimiento longitudinal de las raíces y aumento de la biomasa de las raíces y brotes, además, suprimieron la formación de agallas (nódulos formados por fitonematodos) en comparación con el grupo control (Abd El-Aal et al., 2021). Otro estudio realizado en cultivos de *Solanum lycopersicum* L. se evaluaron cuatro rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, en los parámetros de crecimiento y el control biológico, se reportó que estas rizobacterias aumentaron los parámetros de crecimiento en las plantas y también afectaron el factor reproductivo de *Meloidogyne javanica* en cuanto a la reducción de agallas (Sohrabi et al., 2018). Estos resultados coinciden con los obtenidos en la presente investigación, determinando, que las bacterias PGPR, no solo influyen en el crecimiento de las plantas, sino que también, tienen efecto biocontrolador en respuesta al ataque de *Meloidogyne,* reduciendo la formación de agallas en los cultivos y de esa manera la planta pueda absorber los nutrientes sin ninguna interferencia.

El tratamiento BSP, fue el más efectivo tanto en los parámetros de crecimiento y en biocontrol. Esto se debe a que las bacterias solubilizadoras de fósforo, incrementaron la disponibilidad de nutrientes en especial el nitrógeno y el fósforo, dos elementos principales para que las plantas puedan desarrollarse y mantenerse fisiológicamente estable. La mayor disponibilidad de nutrientes en la rizosfera, se reflejó en la longitud y biomasa de *Capsicum annuum*, en comparación con el grupo control. Asimismo, presentó la menor nodulación. La reducción de agallas y/o nódulos evidencia un efecto biocontrolador por parte de las rizobacterias solubilizadoras de fósforo. Es decir, a mayor disponibilidad de nutrientes la planta se fortalece y activa sus mecanismos de defensa, es por ello, que el tratamiento BSP presentó mejores valores en cuanto a los parámetros vegetales. El segundo mejor tratamiento fue BPAIA, que también mejoró la disponibilidad de los nutrientes, y mediante la producción de AIA, incrementó la formación de nuevas raíces para absorber los nutrientes necesarios. Este tratamiento también mostró una reducción moderada de los nódulos y, como tercer mejor tratamiento es el CONSORCIO bacteriano, el cual presentó mejoras intermedias tanto en los parámetros fisiológicos como la reducción de nódulos en las raíces de *Capsicum annuum.* por lo tanto; a mayor disponibilidad de nutrientes y una menor intensidad por el daño causado por *Meloidogyne*, se determina por qué el tratamiento BSP fue el más eficiente.

VII. CONCLUSIONES

- Los resultados demostraron que las bacterias rizosféricas nativas de *Coffea arabica* ejercieron un efecto biocontrolador significativo sobre *Meloidogyne* spp. en cultivos de *Capsicum annuum* bajo condiciones de invernadero, evidenciando su potencial como alternativa sostenible para el control de nematodos fitopatógenos.
- Se logró aislar y caracterizar eficazmente las rizobacterias nativas de *Coffea arabica*, identificándose cepas con características asociadas a la promoción del crecimiento vegetal, lo que confirma su potencial como agentes bioestimulantes en sistemas agrícolas.
- Las rizobacterias evaluadas de los tratamientos BSP, BPAIA y CONSORCIO mostraron un efecto biocontrolador notable frente a *Meloidogyne* spp. en cultivos de *Capsicum annuum* bajo condiciones de invernadero, reduciendo el número de nódulos y/o agallas radiculares, demostrando su viabilidad como alternativa sostenible para el manejo de nematodos fitopatógenos.
- La evaluación in vitro de las rizobacterias fijadoras de nitrógeno, indicó gran potencial biofertilizante, sin embargo, experimentalmente en maceta tuvo un impacto limitado, lo que sugiere necesita de interacción que se convine con otras rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

VIII. RECOMENDACIONES

Como un paso posterior a esta investigación, se sugiere realizar ensayos a nivel de campo al tratamiento BSP, debido a que fue el más eficiente en la mejora de los parámetros agronómicos y, además obtuvo un promedio mínimo en cuanto a la reducción de agallas causado por *Meloidogyne* spp. de tal manera permitiendo confirmar su efectividad bajo condiciones de campo. Asimismo, también se sugiere evaluar el segundo mejor tratamiento BPAIA en diferentes tipos de suelos y condiciones ambientales, con la finalidad de determinar la estabilidad de sus efectos en reacción al tipo de suelo. Para el CONSORCIO como el tercer mejor tratamiento, se recomienda realizar ajuste de inoculación y frecuencia de aplicación, con el objetivo de determinar si su eficiencia puede optimizarse en las futuras investigaciones. También se recomienda, complementar estudios con análisis para verificar la disponibilidad inicial y final de nutrientes en la rizosfera y la actividad enzimática, con el objetivo de comprender mejor los mecanismos de solubilización del fósforo, la fijación de nitrógeno y los efectos de biocontrol. Adicionalmente, considerar las evaluaciones sobre la persistencia de las rizobacterias en el suelo y la interacción con el microbiota nativa, para poder determinar la

durabilidad de sus efectos en relación al tiempo. finalmente, se sugiere realizar ensayos con los distintos niveles de infestación de *Meloidogyne* spp., además se recomienda realizar muestreo de suelo para determinar la población final de juveniles del segundo estadio en cuanto al efecto de biocontrol, realizar análisis moleculares para determinar la especie de *Meloidogyne* y también a las cepas de rizobacterias con los mejores resultados para determinar a qué género pertenecen, para establecer la viabilidad de la aplicación en sistemas agrícolas y el posible uso como bioinoculantes para el manejo integrado de los fitonematodos.

IX. REFRENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abd El-Aal, E. M., Shahen, M., Sayed, S., Kesba, H., Ansari, M. J., El-Ashry, R. M., Aioub, A. A. A., Salma, A. S. A., & Eldeeb, A. M. (2021a). In vivo and in vitro management of Meloidogyne incognita (Tylenchida: Heteroderidae) using rhizosphere bacteria, Pseudomonas spp. and Serratia spp. compared with oxamyl. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(9), 4876–4883. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.06.078

Abd El-Aal, E. M., Shahen, M., Sayed, S., Kesba, H., Ansari, M. J., El-Ashry, R. M., Aioub, A. A. A., Salma, A. S. A., & Eldeeb, A. M. (2021b). In vivo and in vitro management of Meloidogyne incognita (Tylenchida: Heteroderidae) using rhizosphere bacteria, Pseudomonas spp. and Serratia spp. compared with oxamyl. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(9), 4876. https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.06.078

Abdellatif, A. A. M., Tahany M.A, A.-R., M.A, S., Dina S.S., I., & M.M.K., E. (2021). Activity of serratia spp. and bacillus spp. as biocontrol agents against meloidogyne incognita infecting tomato. *Pakistan Journal of Biotechnology*, *18*((2-3)), 37–47. https://doi.org/10.34016/PJBT.2021.18.2/3.37

Alemneh, A. A., Cawthray, G. R., Zhou, Y., Ryder, M. H., & Denton, M. D. (2025). A new isolation methodology for phosphate-solubilizing bacteria using a step-wise enrichment process. *Journal of Applied Microbiology*, *136*(5), 101. https://doi.org/10.1093/JAMBIO/LXAF101

Ali, A. A. I., El-Ashry, R. M., Khairy, A. M., Elakkad, H. A., Aioub, A. A. A., & Ramadan, M. M. (2024). Restoration of fumigated soil biota with plant growth-promoting rhizobacteria to counteract Meloidogyne incognita (Tylenchida: Heteroderidae) boosts eggplant growth and defenses. *European Journal of Plant Pathology*, *169*(4), 841–856. https://doi.org/10.1007/S10658-024-02873-6/FIGURES/2

Antil, S., Kumar, R., Pathak, D. V., & Kumari, A. (2023). Recent advances in utilizing bacteria as biocontrol agents against plant parasitic nematodes emphasizing Meloidogyne spp. *Biological Control*, *183*, 105244. https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2023.105244

Ayub, J., Tahir, A., Iqbal, U., Ayub, H., Hyder, M. Z., Kiyani, A., Hafeez, F. Y., Ilyas, M. K., Ghafoor, A., & Yasmin, T. (2024). Effective biological control of Lentil (Lens culinaris) Fusarium wilt and plant growth promotion through native Rhizobacteria. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *129*, 102203. https://doi.org/10.1016/J.PMPP.2023.102203

Batool, S., & Iqbal, A. (2019). Phosphate solubilizing rhizobacteria as alternative of chemical fertilizer for growth and yield of Triticum aestivum (Var. Galaxy 2013). *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(7), 1400–1410. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.05.024

Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. P. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and Molecular Biology*, *35*(4 Suppl), 1044. https://doi.org/10.1590/S1415-47572012000600020

Bhat, A. A., Shakeel, A., Kesba, H. H., Handoo, Z. A., & Khan, A. A. (2023). Elucidating the role of fly ash in root-knot nematode (Meloidogyne incognita) suppression on okra (Abelmoschus esculentus L.): Insights into cellular viability and host defence system. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, *126*, 102042. https://doi.org/10.1016/J.PMPP.2023.102042

Borrajo, M. P., Mondino, E. A., Maroniche, G. A., Fernández, M., & Creus, C. M. (2022). Potential of rhizobacteria native to Argentina for the control of Meloidogyne javanica. *Revista Argentina de Microbiología*, *54*(3), 224–232. https://doi.org/10.1016/J.RAM.2021.02.010

Carnicer, Á. R., Reyes-ramírez, F., & Manyani, H. (2013). *Elaboración de un producto biofertilizante y biocontrol con bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRs) del género Azospirillum* . *2*(2010), 2013.

Carta, L. K., Handoo, Z. A., States, U., Powers, T. O., Miller, S. A., General, D., Vegetal, D. S., Nacional, C., & Fitosanitaria, D. R. (2005). Guidelines for Isolation and Identification of Regulated Nematodes of Potato (Solanum tuberosum L.) in North America. *Revista Mexicana de Fitopatología*, *23*(2), 211–222.

Cheng, Y., Narayanan, M., Shi, X., Chen, X., Li, Z., & Ma, Y. (2023). Phosphate-solubilizing bacteria: Their agroecological function and optimistic application for enhancing agro-productivity. *Science of The Total Environment*, *901*, 166468. https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166468

Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2019). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, *84*(17), e01055-18. https://doi.org/https://doi.org/10.1128/AEM.01055-18

Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2020). Use of plant growth-

promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. Applied and environmental microbiology, 86(5), e03035-19. https://doi.org/10.1128/AEM.03035-19. *Applied and Environmental Microbiology*, *86*(5), e03035-19. https://doi.org/https://doi.org/10.1128/AEM.03035-19

Cui, H., Yang, X., Lu, D., Jin, H., Yan, Z., Chen, J., Li, X., & Qin, B. (2015). Isolation and characterization of bacteria from the rhizosphere and bulk soil of Stellera chamaejasme L. *Canadian Journal of Microbiology*, *61*(3), 171–181. https://doi.org/10.1139/CJM-2014-0543

DePeru. (2025). *Ricardo Palma en Cajamarca: Centros Poblados*. https://www.deperu.com/centros-poblados/ricardo-palma-36958?utm_source=chatgpt.com

Deza, N., López, E., & Reyes, C. (2012). Eficacia de la cepa nativa de Bacillus subtilis como agente supresor del nematodo del nudo Meloidogyne spp. en cultivo de Capsicum annuum (ají pimiento piquillo). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, *3*, 25. https://doi.org/10.22490/21456453.931

Díaz-Manzano, F. E., Amora, D. X., Martínez-Gómez, Á., Moelbak, L., & Escobar, C. (2023). Biocontrol of Meloidogyne spp. in Solanum lycopersicum using a dual combination of Bacillus strains. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1077062. https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.1077062/BIBTEX

Dutta, P., Muthukrishnan, G., Gopalasubramaiam, S. K., Dharmaraj, R., Karuppaiah, A., Loganathan, K., Periyasamy, K., Pillai, M. A., Upamanya, G. K., Boruah, S., Deb, L., Kumari, A., Mahanta, M., Heisnam, P., & Mishra, A. K. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and its mechanisms against plant diseases for sustainable agriculture and better productivity. *Biocell*, *46*(8), 1843–1859. https://doi.org/10.32604/BIOCELL.2022.019291

Egan, A., & Kakouli-Duarte, T. (2022). Observations on the interaction between plant growth-promoting bacteria and the root-knot nematode Meloidogyne javanica. *MicrobiologyOpen*, *11*(6). https://doi.org/10.1002/mbo3.1319

El-Ashry, R. M., Hillal Althubaiti, E., Qattan, S. Y. A., Mostafa, E. S. M., Elshaer, N., A. Gh. Farag, A., El-Saadony, M. T., Albaqami, N. M., & El-Deeb, A. M. (2022). Effects of rhizobacteria and seed oils as eco-friendly agents against Meloidogyne incognita infested pepper plants under greenhouse and repeated applications field conditions. *Saudi Journal*

of Biological Sciences. https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2022.02.005

Elhaissoufi, W., Ghoulam, C., Barakat, A., Zeroual, Y., & Bargaz, A. (2022). Phosphate bacterial solubilization: A key rhizosphere driving force enabling higher P use efficiency and crop productivity. *Journal of Advanced Research*, *38*, 13–28. https://doi.org/10.1016/J.JARE.2021.08.014

Elhaissoufi, W., Khourchi, S., Ibnyasser, A., Ghoulam, C., Rchiad, Z., Zeroual, Y., Lyamlouli, K., & Bargaz, A. (2020). Phosphate Solubilizing Rhizobacteria Could Have a Stronger Influence on Wheat Root Traits and Aboveground Physiology Than Rhizosphere P Solubilization. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 979. https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.00979/FULL

Espárrago, G., & Navas, A. (1995). Nematofauna fitoparásita asociada a cultivos hortícolas y tabaco en regadíos de Extremadura. *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, *21*(3), 303–317.

Fahsi, N., Mahdi, I., Mesfioui, A., Biskri, L., & Allaoui, A. (2021). Phosphate solubilizing rhizobacteria isolated from jujube ziziphus lotus plant stimulate wheat germination rate and seedlings growth. *PeerJ*, *9*, 1–23. https://doi.org/10.7717/peerj.11583

Feng, H., Zhou, C., Zhu, F., Le, X., Jing, D., Daly, P., Zhou, D., & Wei, L. (2022). Resistance analysis of the rice variety Huaidao 5 against root-knot nematode Meloidogyne graminicola. *Journal of Integrative Agriculture*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.11.008

Fertilab. (2021). La importancia de la rizósfera. *Fertilab*, 1–4. https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/176-Importancia-de-la-Rizosfera.pdf

FertiLab. (2014). *Importancia del Género Meloidogyne*. 5. https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-18-S09-Importancia-del-Genero-Meloidogyne.pdf

Flores-Álvarez, A. Y., Sánchez-Minutti, L., https://orcid.org/0009-0002-9465-9553, & https://orcid.org/0000-0003-4739-5196. (2024). *La rizosfera y su mundo microscópico*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. https://doi.org/10.5281/zenodo.10553307

Florez, J. D., Leal-Medina, G. I., Ardila-Leal, L. D., & Cárdenas-Caro, D. M. (2016). Aislamiento y caracterización de rizobacterias asociadas a cultivos de arroz (Oryza sativa L.) DEL NORTE DE SANTANDER (Colombia). *Publicado Como artículo En Agrociencia*, *51*, 373–391.

Forghani, F., & Hajihassani, A. (2020). Recent Advances in the Development of Environmentally Benign Treatments to Control Root-Knot Nematodes. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 557202. https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.01125/FULL

Ganesh, J., Hewitt, K., Devkota, A. R., Wilson, T., & Kaundal, A. (2024). IAA-producing plant growth promoting rhizobacteria from Ceanothus velutinus enhance cutting propagation efficiency and Arabidopsis biomass. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1374877. https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1374877/FULL

Gang, S., Sharma, S., Saraf, M., Buck, M., & Schumacher, J. (2019). Analysis of Indole-3-acetic Acid (IAA) Production in Klebsiellaby LC-MS/MS and the Salkowski Method. *Bio-Protocol*, *9*(9), e3230. https://doi.org/10.21769/BIOPROTOC.3230

García-Berumen, J. A., Flores de la Torre, J. A., de los Santos-Villalobos, S., Espinoza-Canales, A., Echavarría-Cháirez, F. G., & Gutiérrez-Bañuelos, H. (2025). Phosphorus dynamics and sustainable agriculture: The role of microbial solubilization and innovations in nutrient management. *Current Research in Microbial Sciences*, *8*, 100326. https://doi.org/10.1016/J.CRMICR.2024.100326

Giri, B., Rawat, R., Saxena, G., Manchanda, P., Wu, Q. S., & Sharma, A. (2022). Effect of Rhizoglomus fasciculatum and Paecilomyces lilacinus in the biocontrol of root-knot nematode, Meloidogyne incognita in Capsicum annuum L. *Communicative and Integrative Biology*, *15*(1), 75–87. https://doi.org/10.1080/19420889.2021.2025195

Giri, K., Mishra, G., Chandra Suyal, D., Kumar, N., Doley, B., Das, N., Baruah, R. C., Bhattacharyya, R., & Bora, N. (2023). Performance evaluation of native plant growth-promoting rhizobacteria for paddy yield enhancement in the jhum fields of Mokokchung, Nagaland, North East India. *Heliyon*, *9*(3), e14588. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E14588

Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, *2012*, 1–15. https://doi.org/https://doi.org/10.6064/2012/963401

Gowda, A. P. A., Pankaj, Singh, D., Singh, A. K., & Sowmya, R. (2022). Nematicidal potential of plant growth-promoting rhizobacteria against Meloidogyne incognita infesting tomato under protected cultivation. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, *32*(1), 1–13. https://doi.org/10.1186/S41938-022-00643-2

Gowda, M. T., Meena, B. R., Krishnan, N., Manjunath, M., Sellaperumal, C., Rai, A. B., Singh, A., Manimurugan, C., Patil, J., Pandey, K. K., & Singh, J. (2022). Antimicrobial peptides

producing native Bacillus spp. for the management of root-knot nematode Meloidogyne incognita infecting okra (Abelmoschus esculentus L. Moench). *Biological Control*, *171*, 104951. https://doi.org/10.1016/J.BIOCONTROL.2022.104951

Grover, M., Bodhankar, S., Sharma, A., Sharma, P., Singh, J., & Nain, L. (2021). PGPR Mediated Alterations in Root Traits: Way Toward Sustainable Crop Production. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*. https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.618230

Gupta, R., Kumari, A., Sharma, S., Alzahrani, O. M., Noureldeen, A., & Darwish, H. (2021). Identification, characterization and optimization of phosphate solubilizing rhizobacteria (PSRB) from rice rhizosphere. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *29*(1), 35. https://doi.org/10.1016/J.SJBS.2021.09.075

Guzmán-Piedrahita, O. A., Carolina, C., & López-Nicora, H. D. (2020). Physiological interactions of plants with plant-parasitic nematodes: A review. *Boletin Cientifico Del Centro de Museos*, *24*(2), 190–205. https://doi.org/10.17151/bccm.2020.24.2.13

Habteweld, A., Kantor, M., Kantor, C., & Handoo, Z. (2024). Understanding the dynamic interactions of root-knot nematodes and their host: role of plant growth promoting bacteria and abiotic factors. *Frontiers in Plant Science*, *15*, 1377453. https://doi.org/10.3389/FPLS.2024.1377453/FULL

Hammad, E. A., & El-Sagheer, A. M. (2023). Comparative efficacy of essential oil nanoemulsions and bioproducts as alternative strategies against root-knot nematode, and its impact on the growth and yield of Capsicum annuum L. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *22*(1), 47–53. https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2022.06.002

Haris, T. (2024). The Economic and Ecological Impact of Root Nematodes on Agriculture. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, *15*(1), 1–2. https://doi.org/10.35248/2157-7471.24.15.711

Hu, W., Wang, X., Xu, Y., Wang, X., Guo, Z., Pan, X., Dai, S., Luo, Y., & Teng, Y. (2024). Biological nitrogen fixation and the role of soil diazotroph niche breadth in representative terrestrial ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, *189*, 109261. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2023.109261

Hu, Z., Wei, S., Li, W., Wu, T., Ullah, S., & Yang, M. (2024). Effect of Inoculation with Rhizosphere Phosphate-Solubilizing Bacteria on the Growth and Physiological Characteristics of Parashorea chinensis. *Forests 2024, Vol. 15, Page 1932*, *15*(11), 1932. https://doi.org/10.3390/F15111932

Husna, Hussain, A., Shah, M., Hamayun, M., Iqbal, A., Qadir, M., Alataway, A., Dewidar, A. Z., Elansary, H. O., & Lee, I. J. (2023). Phytohormones producing rhizobacteria alleviate heavy metals stress in soybean through multilayered response. *Microbiological Research*, *266*, 127237. https://doi.org/10.1016/J.MICRES.2022.127237

Ibarra-Galeana, J. A., Castro-Martínez, C., Fierro-Coronado, R. A., Armenta-Bojórquez, A. D., & Maldonado-Mendoza, I. E. (2017). Characterization of phosphate-solubilizing bacteria exhibiting the potential for growth promotion and phosphorus nutrition improvement in maize (Zea mays L.) in calcareous soils of Sinaloa, Mexico. *Annals of Microbiology*, *67*(12), 801–811. https://doi.org/10.1007/S13213-017-1308-9/TABLES/3

Jee, J. U., Chang, S. W., Ryu, J., & Chun, S. C. (2025). Isolation and Characterization of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria from Mud Flats in South Korea: Potential for Lettuce Growth Promotion and Control of Sclerotinia Rot. *The Plant Pathology Journal*, *41*(4), 456. https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2025.0035

Jindapunnapat, K., Sroisai, P., Auangaree, N., Pornsopin, N., Techawongstien, S., & Tarinta, T. (2025). Spice Defense: Resistance, Capsaicin, and Photosynthesis in Diverse Capsicum Genotypes Under Root-Knot Nematode Stress. *Horticulturae 2025, Vol. 11, Page 607*, *11*(6), 607. https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE11060607

Jones, J. T., Haegeman, A., Danchin, E. G. J., Gaur, H. S., Helder, J., Jones, M. G. K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J. E., Wesemael, W. M. L., & Perry, R. N. (2013). Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, *14*(9), 946–961. https://doi.org/10.1111/MPP.12057

Khan, A., Haris, M., Hussain, T., Khan, A. A., Laasli, S. E., Lahlali, R., & Mokrini, F. (2023). Counter-attack of biocontrol agents: Environmentally benign Approaches against Root-knot nematodes (Meloidogyne spp.) on Agricultural crops. *Heliyon*, *9*(11), e21653. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E21653

Khan, A. L., Halo, B. A., Elyassi, A., Ali, S., Al-Hosni, K., Hussain, J., Al-Harrasi, A., & Lee, I. J. (2016). Indole acetic acid and ACC deaminase from endophytic bacteria improves the growth of Solarium lycopersicum. *Electronic Journal of Biotechnology*, *19*(3), 58–64. https://doi.org/10.1016/J.EJBT.2016.02.001

Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., Poudel, T. R., Manghwar, H., & Liu, F. (2024). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, *11*, 100341.

https://doi.org/10.1016/J.STRESS.2023.100341

Kumar, M., Poonam, Ahmad, S., & Singh, R. P. (2022). Plant growth promoting microbes: Diverse roles for sustainable and ecofriendly agriculture. *Energy Nexus*, *7*, 100133. https://doi.org/10.1016/J.NEXUS.2022.100133

Li, N., Wen, J., Wu, R., Hu, D., Zhang, L., Zhang, W., & Zhang, M. (2023). Dual effects of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on the Moso bamboo-soil system: Plant growth promotion and microbial community stability. *Industrial Crops and Products*, *203*, 117151. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.117151

Li, Y., Li, Q., Guan, G., & Chen, S. (2020). Phosphate solubilizing bacteria stimulate wheat rhizosphere and endosphere biological nitrogen fixation by improving phosphorus content. *PeerJ*, *8*(3). https://doi.org/10.7717/PEERJ.9062

López-Gómez, M., Flor-Peregrín, E., Talavera, M., & Verdejo-Lucas, S. (2015). Suitability of zucchini and cucumber genotypes to populations of Meloidogyne arenaria, M. incognita, and M. javanica. *Journal of Nematology*, *47*(1), 79–85.

López Hidalgo, M. A. (2018). *Caracterización de poblaciones de nematodos del género Meloidogyne asociadas a los cultivos de banano, caña de azúcar y arroz en las principales zonas productoras del norte del Perú*.

Luc, M., Sikora, R. A., & Bridge, J. (2005). Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture: Second Edition. In *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture: Second Edition*.

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, *69*, 541–556. https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

Mahdi, I., Fahsi, N., Hafidi, M., Allaoui, A., & Biskri, L. (2020). Plant Growth Enhancement using Rhizospheric Halotolerant Phosphate Solubilizing Bacterium Bacillus licheniformis QA1 and Enterobacter asburiae QF11 Isolated from Chenopodium quinoa Willd. *Microorganisms*, *8*(6), 1–21. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8060948

Marquez, J., & Hajihassani, A. (2023). Identification, Diversity, and Distribution of Meloidogyne spp. in Vegetable Fields of South Georgia, U.S.A. *Phytopathology*, *113*(6), 1093–1102. https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-22-0246-R

Martínez-gallardo, J. Á. (2019). *Identification and distribution of Meloidogyne spp . in tomato in Sinaloa Mexico*. *10*(2), 453–459.

Martínez, E. (2013). *Taxonomía del pimiento*. 48. http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/49000/120/10/T-UTB-FACIAG-AGR-000030.03.pdf

Martínez Gallardo, J. Á., Valdés, T. D., Molar, R. A., Manjarrez, J. E. R., & Carrillo Fasio, J. A. (2019). Identificación y distribución de Meloidogyne spp. en tomate de Sinaloa México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(2), 453–459. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.392

McPherson, M. R., Wang, P., Marsh, E. L., Mitchell, R. B., & Schachtman, D. P. (2018). Isolation and Analysis of Microbial Communities in Soil, Rhizosphere, and Roots in Perennial Grass Experiments. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, *2018*(137), 57932. https://doi.org/10.3791/57932

Mendoza-Ponce, A., García-Ávila, M., Baca, B. E., & Cortez-Rocha, M. O. (2021). Alternativas al uso de pesticidas: una revisión de los agentes de biocontrol y la perspectiva de la agricultura sostenible. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, 21*(1), 261–280. https://doi.org/https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/rmiq/2021v20n1/Mendoza

Miranda-Barrios, E., Quispe-Castro, R., Lima-Medina, I., Bravo-Portocarrero, R. Y., & Anculle-Arenas, A. (2020). Identification of species of the genus Meloidogyne in cucurbits: Distribution and occurrence in Arequipa, Peru. *Scientia Agropecuaria*, *11*(2), 195–202. https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.06

Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009a). Meloidogyne species - a diverse group of novel and important plant parasites. *Root-Knot Nematodes*, *September*, 1–17. https://doi.org/10.1079/9781845934927.0001

Moens, M., Perry, R. N., & Starr, J. L. (2009b). Meloidogyne species - a diverse group of novel and important plant parasites. *Root-Knot Nematodes*, 1–17. https://doi.org/10.1079/9781845934927.0001

Morales-Aranibar, L., Yucra, F. E. Y., Estrada, N. M. P., Flores, P. Q., Zevallos, R. N. M., Zegarra, J. C. L., Trujillo, U. P., Aranibar, C. G. M., Gonzales, H. H. S., Aguilera, J. G., Argentel-Martínez, L., & Vinent, S. N. (2023). Production of New Biopesticides from Cymbopogon citratus for the Control of Coffee Rust (Hemileia vastatrix) under Laboratory and Field Conditions. *Plants*, *12*(5). https://doi.org/10.3390/PLANTS12051166

MPSI. (2025). *División política - Contenido institucional - Municipalidad Provincial de San Ignacio (MPSI) - Plataforma del Estado Peruano*. https://www.gob.pe/21069-municipalidad-provincial-de-san-ignacio-division-politica

Muleta, D., Assefa, F., Börjesson, E., & Granhall, U. (2013). Phosphate-solubilising rhizobacteria associated with Coffea arabica L. in natural coffee forests of southwestern Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *12*(1), 73–84. https://doi.org/10.1016/J.JSSAS.2012.07.002

Narayanan, M., Kumarasamy, S., Kandasamy, S., & He, Z. (2022). Ecological impacts of pesticides on soil and water ecosystems and its natural degradation process. *Pesticides in the Natural Environment: Sources, Health Risks, and Remediation*, 23–49. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90489-6.00002-1

Nautiyal, C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiology Letters*, *170*(1), 265–270. https://doi.org/10.1111/J.1574-6968.1999.TB13383.X

Nawaz, T., Joshi, N., Nelson, D., Saud, S., Abdelsalam, N. R., Abdelhamid, M. M. A., Jaremko, M., Rahman, T. U., & Fahad, S. (2024). Harnessing the potential of nitrogen-fixing cyanobacteria: A rich bio-resource for sustainable soil fertility and enhanced crop productivity. *Environmental Technology & Innovation*, *36*, 103886. https://doi.org/10.1016/J.ETI.2024.103886

Olsen, M., Norton, R., McClure, M., & Brown, L. (2013). *Sampling Soil for Root Knot Nematode*. 2013. http://ag.arizona.edu/crops/cotton/files/RKNsampling.pdf

Parveen, G., Urooj, F., Moin, S., Farhat, H., Fahim, M. F., & Ehteshamul-Haque, S. (2020). Estimation of losses caused by root rotting fungi and root knot nematodes infecting some important crops in lower Sindh and Hub, Balochistan of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, *52*(2), 673–678. https://doi.org/10.30848/PJB2020-2(15)

Patel, D., Patel, A., Vora, D., Menon, S., Vadakan, S., Acharya, D., & Goswami, D. (2018). A resourceful methodology to profile indolic auxins produced by rhizo-fungi using spectrophotometry and HPTLC. *3 Biotech*, *8*(10), 413. https://doi.org/10.1007/S13205-018-1428-3

Peng, J., Ma, J., Wei, X., Zhang, C., Jia, N., Wang, X., Wang, E. T., Hu, D., & Wang, Z. (2021). Accumulation of beneficial bacteria in the rhizosphere of maize (Zea mays L.) grown in a saline soil in responding to a consortium of plant growth promoting rhizobacteria. *Annals*

of Microbiology, *71*(1), 1–12. https://doi.org/10.1186/S13213-021-01650-8/TABLES/2

Pereira, A., Moreira, H., Del, M., Orozco-Mosqueda, C., Santoyo, G., & Glick, B. R. (2023). Recent Advances in the Bacterial Phytohormone Modulation of Plant Growth. *Plants 2023, Vol. 12, Page 606*, *12*(3), 606. https://doi.org/10.3390/PLANTS12030606

Pérez-y-Terrón, R., Gonzalez-Montfort, T. S., & Muñoz-Rojas, J. (2014). Antagonismo microbiano asociado a cepas bacterianas provenientes de jitomate (Lycopersicum esculentum Mill) y maíz (Zea Mays). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, *1*(3), 53–60.

Pérez, F., Cruz, D., Poma, E., & Cadena, F. (2017). Densidad poblacional de nematodos en el cultivo de café (Coffea arábica L.), Alto Lima-Caranavi. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *4*(1), 53–59.

Pradhan, P., Naresh, P., Barik, S., Acharya, G. C., Bastia, R., Adamala, A. K., & Das, M. P. (2023). Breeding for root-knot nematode resistance in fruiting Solanaceous vegetable crops: a review. *Euphytica*, *219*(7). https://doi.org/10.1007/S10681-023-03204-2

Putri, R. I., Indarti, S., & Widiastuti, A. (2020). Responses of Capsicum annuum Varieties toward Root Knot Nematode Meloidogyne incognita Infection. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, *24*(2), 133. https://doi.org/10.22146/JPTI.23978

Puttawong, K., Beesa, N., Kasem, S., Jindapunnapat, K., Chinnasri, B., & Sasnarukkit, A. (2024). Potential of Bacillus spp. against root-knot nematode, Meloidogyne enterolobii parasitizing chili (Capsicum annuum L.). *Crop Protection*, *184*, 106780. https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2024.106780

Pyme. (2025). *Asociación de Productores Agropecuarios Ecologicos Ricardo Palma*. https://paginaspyme.com/ficha/20479559717/asociacion-de-productores-agropecuarios-ecologicos-ricardo-palma?utm_source=chatgpt.com

Qessaoui, R., Bouharroud, R., Benhima, R., Mayad, E. H., ChebIl, B., & Serghini, M. A. (2020). Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on Citrus macrophylla rootstock. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, *1*(2), 79–83. https://techagro.org/index.php/MJAS/article/view/833

Rafique, E., Mumtaz, M. Z., Ullah, I., Rehman, A., Qureshi, K. A., Kamran, M., Rehman, M. U., Jaremko, M., & Alenezi, M. A. (2022). Potential of mineral-solubilizing bacteria for physiology and growth promotion of Chenopodium quinoa Willd. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1004833. https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.1004833/FULL

Raimi, A., Roopnarain, A., Chirima, G. J., & Adeleke, R. (2020). Insights into the microbial composition and potential efficiency of selected commercial biofertilisers. *Heliyon*, *6*(7), e04342. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04342

Rathod, S. G., & Shrivastav, P. (2025). Screening of azotobacter, bacillus, and pseudomonas species for biofertilizer production. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, *9*(1), 293–295. https://doi.org/10.33545/26174693.2025.v9.i1d.3484

Reséndez, A. M., Mendoza, V. G., Carrillo, J. L. R., Arroyo, J. V., & Ríos, P. C. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *XX*(1), 68–83. https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n1.73707

Santos, M. S., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2019). Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. *AMB Express 2019 9:1*, *9*(1), 1–22. https://doi.org/10.1186/S13568-019-0932-0

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2025). *SENAMHI - Pronostico Meteorologico*. https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico

Seo, B. J., Rejish Kumar, V. J., Ahmad, R. I., Kim, B. C., Park, W., Park, S. D., Kim, S. E., Kim, S. D., Lim, J., & Park, Y. H. (2012). Bacterial mixture from greenhouse soil as a biocontrol agent against root-knot nematode Meloidogyne incognita, on oriental melon. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *22*(1), 114–117. https://doi.org/10.4014/jmb.1105.05053

Silva, J. de O., Loffredo, A., da Rocha, M. R., & Becker, J. O. (2019). Efficacy of new nematicides for managing Meloidogyne incognita in tomato crop. *Journal of Phytopathology*, *167*(5), 295–298. https://doi.org/10.1111/JPH.12798

Sitlaothaworn, K., Budsabun, T., Dechkla, M., Yukphan, P., Tanasupawat, S., & Savarajara, A. (2023). Identification and plant growth-promoting activity of endophytic bacteria from sugarcane roots and genome analysis of Gluconacetobacter strain PS25. *ScienceAsia*, *49*(2), 161–168. https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2022.145

Sohrabi, F., Sheikholeslami, M., Heydari, R., Rezaee, S., & Sharifi, R. (2018). Evaluation of four rhizobacteria on tomato growth and suppression of root-knot nematode, Meloidogyne javanica under greenhouse conditions, a pilot study. *Egyptian Journal of Biological Pest Control 2018 28:1*, *28*(1), 56-. https://doi.org/10.1186/S41938-018-0059-7

Sun, Y., Guo, Y., Pei, Y., Chen, Y., Feng, T., & Long, H. (2024). Biocontrol Efficacy of Bacillus thuringiensis Strain 00-50-5 Against the Root-Knot Nematode Meloidogyne enterolobii in Pepper. *Agriculture 2024, Vol. 14, Page 1920*, *14*(11), 1920. https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE14111920

Tang, J., Li, Y., Zhang, L., Mu, J., Jiang, Y., Fu, H., Zhang, Y., Cui, H., Yu, X., & Ye, Z. (2023). Biosynthetic Pathways and Functions of Indole-3-Acetic Acid in Microorganisms. *Microorganisms*, *11*(8), 2077. https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS11082077

Thomashow, L. S. (1996). Biological control of plant root pathogens. *Current Opinion in Biotechnology*, *7*(3), 343–347. https://doi.org/10.1016/S0958-1669(96)80042-5

Thondihalu, M. G., & Chawla, G. (2024). Characterization of native root-knot nematode antagonistic rhizobacteria for plant growth promotion traits and their evaluation in tomato. *Vegetable Science*, *51*(01), 127–135. https://doi.org/10.61180/VEGSCI.2024.V51.I1.17

Tran, D. M. (2022). Rhizosphere microbiome dataset of Robusta coffee (Coffea canephora L.) grown in the Central Highlands, Vietnam, based on 16S rRNA metagenomics analysis. *Data in Brief*, *42*, 108106. https://doi.org/10.1016/J.DIB.2022.108106

Urgiles-Gómez, N., Avila-Salem, M. E., Loján, P., Encalada, M., Hurtado, L., Araujo, S., Collahuazo, Y., Guachanamá, J., Poma, N., Granda, K., Robles, A., Senés, C., & Cornejo, P. (2021a). Plant growth-promoting microorganisms in coffee production: From isolation to field application. *Agronomy*, *11*(8), 1–12. https://doi.org/10.3390/agronomy11081531

Urgiles-Gómez, N., Avila-Salem, M. E., Loján, P., Encalada, M., Hurtado, L., Araujo, S., Collahuazo, Y., Guachanamá, J., Poma, N., Granda, K., Robles, A., Senés, C., & Cornejo, P. (2021b). Plant Growth-Promoting Microorganisms in Coffee Production: From Isolation to Field Application. *Agronomy 2021, Vol. 11, Page 1531*, *11*(8), 1531. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11081531

Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020a). Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, *38*(2), 333–345. https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.470

Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., Rodríguez-Sahagún, A., Velasco-Jiménez, A., Castellanos-Hernández, O., Acevedo-Hernández, G., Aarland, R. C., & Rodríguez-Sahagún, A. (2020b). Bacterias rizosféricas

con beneficios potenciales en la agricultura. *Terra Latinoamericana*, *38*(2), 333–345. https://doi.org/10.28940/TERRA.V38I2.470

Viljoen, J. J. F., Labuschagne, N., Fourie, H., & Sikora, R. A. (2019). Biological control of the root-knot nematode Meloidogyne incognita on tomatoes and carrots by plant growth-promoting rhizobacteria. *Tropical Plant Pathology*, *44*(3), 284–291. https://doi.org/10.1007/S40858-019-00283-2

Virk, H. K., Singh, G., & Kaur, R. (2024). Recent Advances in Application of Biofertilizers in Pulses: A Review. *Legume Research*, *47*(4), 511–518. https://doi.org/10.18805/LR-4808

Waqas, M., Ahmed, D., & Qamar, M. T. (2022). Surfactant-mediated extraction of capsaicin from Capsicum annuum L. fruit in various solvents. *Heliyon*, *8*(8), e10273. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E10273

Yanti, Y., Winarto, Hamid, H., & Wasirin, P. C. (2024). Potential of Bacillus spp. Consortium for controlling Meloidogyne spp. and enhancing tomato crop production. *Agromix*, *15*(1), 100–108. https://doi.org/10.35891/agx.v15i1.4242

Ye, S., Yan, R., Li, X., Lin, Y., Yang, Z., Ma, Y., & Ding, Z. (2022). Biocontrol potential of Pseudomonas rhodesiae GC-7 against the root-knot nematode Meloidogyne graminicola through both antagonistic effects and induced plant resistance. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1025727. https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.1025727/BIBTEX

Zhang, Q., Ma, D., Yang, Y., Hu, F., Fu, X., Li, G., Zhang, X., Wang, N., Liu, D., Wu, R., Bi, X., Lou, Y., Li, Y., Yu, H., Yan, W., & Li, Y. (2024). Population Genetic Characteristics of the Cultivated Coffea arabica with Whole-Genome Resequencing. *Horticulturae*, *10*(11), 1153. https://doi.org/10.3390/HORTICULTURAE10111153/S1

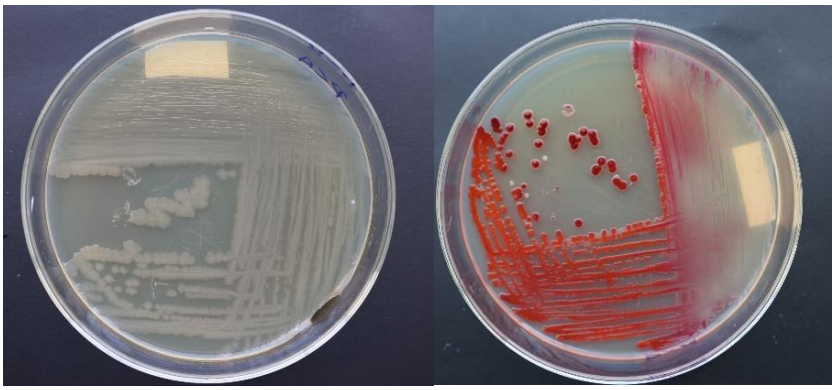
Zhang, T., Jian, Q., Yao, X., Guan, L., Li, L., Liu, F., Zhang, C., Li, D., Tang, H., & Lu, L. (2024). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and quality of several crops. *Heliyon*, *10*(10), e31553. https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E31553

Zhang, Y., Xu, Q., Wang, G., & Shi, K. (2023). Mixed Enterobacter and Klebsiella bacteria enhance soybean biological nitrogen fixation ability when combined with rhizobia inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, *184*, 109100. https://doi.org/10.1016/J.SOILBIO.2023.109100

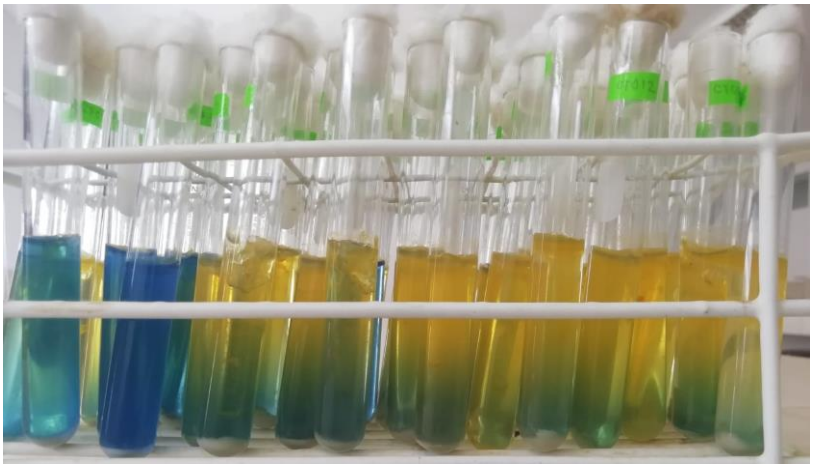
ANEXOS

Anexo 1: Evidencias fotográficas del experimento

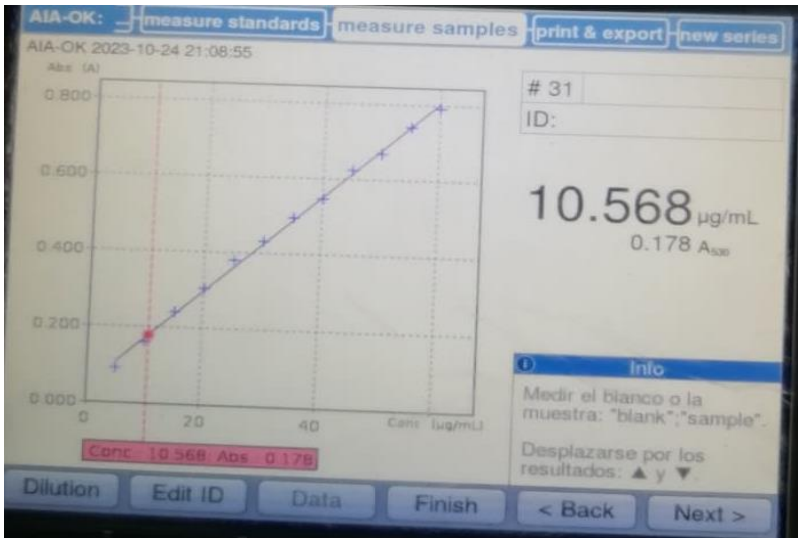
- Purificación de las cepas con características morfológicas diferenciadas



- Ensayos sobre fijación del nitrógeno en medio semisólidos Norris suplementado con azul de bromotimol.



- Lectura del AIA en el equipo espectrofotómetro



- Invernadero de la Facultad de Ciencias Naturales y Aplicadas de la UNIFSLB.

- Germinación de las semillas de *Capsicum annuum*

- Trasplante de plantines de *Capsicum annuum* a las macetas con sustrato

- Inoculación de los tratamientos y *Meloidogyne* en los cultivos

- Mesas con sus respectivos tratamientos en el invernadero

- Raíces de *Coffea arabica* con presencia de nódulos y/o agallas para el aislamiento de *Meloidogyne* spp.

Jeison Granda

INF TESIS

Quick Submit

Quick Submit

Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3451425635

Fecha de entrega
29 dic 2025, 9:41 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
29 dic 2025, 9:46 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME_FINAL_DE_TESIS_-_JEISON_DAVID_GRANDA_RAMOS_3.pdf

Tamaño del archivo
1.9 MB

74 páginas

21.074 palabras

125.196 caracteres

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

18% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
68 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
56 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

18% Fuentes de Internet
8% Publicaciones
7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		1%
2	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional Autonoma de Chota		<1%
3	Internet	
repositorio.chapingo.edu.mx		<1%
4	Internet	
repositorio.une.edu.pe		<1%
5	Internet	
www.coursehero.com		<1%
6	Internet	
ri-ng.uaq.mx		<1%
7	Internet	
alaronline.org		<1%
8	Internet	
www.smcsmx.org		<1%
9	Internet	
alicia.concytec.gob.pe		<1%
10	Trabajos del estudiante	
Universidad Continental		<1%
11	Internet	
dspace.espoch.edu.ec		<1%

12	Internet	
repositorio.unac.edu.pe		<1%
13	Internet	
editorapantanal.com.br		<1%
14	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		<1%
15	Internet	
produccioncientificaluz.org		<1%
16	Internet	
link.springer.com		<1%
17	Internet	
www.researchgate.net		<1%
18	Publicación	
Yuyang Cheng, Jinhang Luo, Yixuan Wang, Jianzhen Ge, Shanshan Zhou, Wenqua...		<1%
19	Internet	
revistas.unitru.edu.pe		<1%
20	Internet	
1library.co		<1%
21	Internet	
helvia.uco.es		<1%
22	Publicación	
Lluvia A. Chávez-Ambriz, Alejandro Hernández-Morales, José A. Cabrera-Luna, Lau...		<1%
23	Internet	
repositorio.udec.cl		<1%
24	Internet	
www.dspace.uce.edu.ec		<1%
25	Internet	
www.manage.gov.in		<1%

26	Publicación	
Adnan Shakeel, Aashaq Hussain Bhat, Shaistul Islam, Ricardo A.R. Machado et al. ...		<1%
27	Trabajos del estudiante	
Uniagustiniana		<1%
28	Trabajos del estudiante	
Universidad Católica de Santa María		<1%
29	Internet	
repositorio.lamolina.edu.pe		<1%
30	Internet	
www.revistas.unitru.edu.pe		<1%
31	Internet	
dspace.unitru.edu.pe		<1%
32	Internet	
myresearchjournals.com		<1%
33	Internet	
repositorio.uptc.edu.co		<1%
34	Internet	
www.cali.gov.co		<1%
35	Internet	
jupiter.utm.mx		<1%
36	Internet	
www.cienciasinaloa.ipn.mx		<1%
37	Internet	
bioqualitum.com		<1%
38	Publicación	
Araceli Rodríguez-Sahagún, Antonio Velasco-Jiménez, Osvaldo Castellanos-Hernán...		<1%
39	Internet	
iksadyayinevi.com		<1%

40 Internet
repositorio.uaaan.mx <1%

41 Internet
repositorioinstitucional.uaslp.mx <1%

42 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua <1%

43 Internet
aprenderly.com <1%

44 Internet
idus.us.es <1%

45 Internet
ouci.dntb.gov.ua <1%

46 Internet
books.kdpublications.in <1%

47 Internet
www.indianfarmer.net <1%

48 Internet
polibotanica.mx <1%

49 Publicación
G. Hernández, M. J. Moreno Alvarez. " EFECTO DEL SECADO Y DEL ÁCIDO CÍTRICO ... <1%

50 Internet
cgspace.cgiar.org <1%

51 Internet
digibug.ugr.es <1%

52 Internet
revistaenfoques.ciatej.mx <1%

53 Internet
www.scielo.sa.cr <1%

54 Internet
eprints.uanl.mx <1%

55 Internet
www.docinade.ac.cr <1%

56 Publicación
Fernando Abasolo Pacheco, Carlos Michel Ojeda Silvera, Jonathan Enrique Cervan... <1%

57 Internet
doczz.es <1%

58 Internet
dspace.unl.edu.ec <1%

59 Internet
repositorio.uchile.cl <1%

60 Internet
repositorio.ug.edu.ec <1%

61 Internet
repositorio.unan.edu.ni <1%

62 Internet
repositorio.utc.edu.ec <1%

63 Publicación
"Proceedings of the 4th Biotechnology World Symposium", Mexican Journal of Bi... <1%

64 Publicación
Pingan Zhang, Aizheng Yang, Xiaofang Wang, Lihong Wang, Yan Sha, Mo Li. "Opti... <1%

65 Trabajos del estudiante
Universidad de Cundinamarca <1%

66 Internet
carrerasuniversitarias.pe <1%

67 Internet
repositorio.ual.es <1%

68 Internet
repositorio.undc.edu.pe <1%

69 Internet
repository.javeriana.edu.co <1%

70 Trabajos del estudiante
ucss <1%

71 Internet
www.scielo.org.mx <1%

72 Trabajos del estudiante
Wageningen University <1%

73 Trabajos del estudiante
colpos <1%

74 Internet
orbi.uliege.be <1%

75 Internet
repositorio.ufra.edu.br:8080 <1%

76 Internet
theses.hal.science <1%

77 Internet
smic.in.ua <1%

78 Internet
www.banglajol.info <1%

79 Trabajos del estudiante
Area eped <1%

80 Internet
ejournal.usm.my <1%

81 Internet
fr.slideshare.net <1%

82 Internet
isvsvegsci.in <1%

83 Internet
www.preprints.org <1%

84 Internet
alam.science <1%

85 Internet
binran.ru <1%

86 Internet
eprints.walisongo.ac.id <1%

87 Internet
www.webislam.com <1%

88 Internet
cienciasagricolas.inifap.gob.mx <1%

89 Internet
cybertesis.unmsm.edu.pe <1%

90 Internet
rmt-bestim.org <1%

91 Internet
siip.uaq.mx <1%

92 Internet
tesis.ipn.mx <1%

93 Internet
www.investigo.biblioteca.uvigo.es <1%

94 Internet
www.scielo.org.co <1%

95 Internet
archive-mirage-mex.acom.ucar.edu <1%

96 Internet
datospdf.com <1%

97 Internet
ec.europa.eu <1%

98 Internet
host170.sedici.unlp.edu.ar <1%

99 Internet
oriusbiotech.com <1%

100 Internet
repositorio.ucsg.edu.ec <1%

101 Internet
repositorio.upct.es <1%

102 Internet
repositorio.upla.edu.pe <1%

103 Internet
repositorio.utn.edu.ec <1%

104 Internet
terralatinoamericana.org.mx <1%

105 Internet
worldwidescience.org <1%

106 Internet
www.ambulante.org <1%

107 Internet
www.scielo.br <1%

108 Internet
zaguan.unizar.es <1%

109 Publicación
Abdelhadi A. I. Ali, Ramadan M. El-Ashry, Ahmed M. Khairy, Hend A. Elakkad, Ahm... <1%

110 Internet
bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083 <1%

111 Internet
buleria.unileon.es <1%

112 Internet
es.slideshare.net <1%

113 Internet
fdocuments.mx <1%

114 Internet
files.bvs.br <1%

115 Internet
patents.google.com <1%

116 Internet
repositorio.continental.edu.pe <1%

117 Internet
repositorio.unjfsc.edu.pe <1%

118 Internet
revistasojs.ucaldas.edu.co <1%

119 Internet
sedici.unlp.edu.ar <1%

120 Internet
semspub.epa.gov <1%

121 Internet
www.agrociencia-colpos.org <1%

122 Internet
www.terralatinoamericana.org.mx <1%

123 Publicación
Angel Virgilio Cedeño-Moreira, Luis Humberto Vásquez-Cortez, Ítalo Fernando Es... <1%

124 Publicación
Fernando Abasolo-Pacheco, Karla Zambrano-Rios, Dayanara Reinoso-Viteri, Juan ... <1%

125 Publicación
Mario Paz A, John Meneses R, Jorge López M. "Digestibility of diets with flour fish ... <1%

126 Publicación
Miguel Torres Rodríguez. "Estudio de los patrones de expresión de genes implica... <1%

127 Internet
acervodigital.ufpr.br <1%

128 Internet
apirepositorio.unu.edu.pe <1%

129 Internet
bdigital.dgse.uaa.mx:8080 <1%

130 Internet
cenid.org <1%

131 Internet
idoc.pub <1%

132 Internet
iqb.es <1%

133 Internet
pesquisa.bvsalud.org <1%

134 Internet
repositorio.unheval.edu.pe <1%

135 Internet
repositorio.xoc.uam.mx <1%

136 Internet
search.bvsalud.org <1%

137 Internet
www.chilesustentable.cl <1%

138 Internet
www.frontiersin.org <1%

139 Internet
www.prnewswire.com <1%

140 Internet
www.sabiia.cnptia.embrapa.br <1%

141 Internet
www.slideshare.net <1%

142 Internet
www.yorku.ca <1%

143 Internet
microbescipublisher.com <1%

144 Publicación
Judith Reyes-Bonilla, Carla Quintanilla-Villegas, Zoila Guerrero-Mendoza, Moisés ... <1%

145 Internet
repositorio.unal.edu.co <1%

146 Internet
revistamvz.unicordoba.edu.co <1%

147 Trabajos del estudiante
Universidad Del Magdalena <1%