

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA**



TESIS:

Capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., aislados de *Pisum sativum* L. "arveja" Ayacucho-2025

Para optar el título profesional de:
BIÓLOGA, ESPECIALIDAD: MICROBIOLOGÍA

PRESENTADO POR:
Bach. Jessica Maruja RODRIGUEZ JANAMPA

ASESORA:
Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ

COASESOR:
Mg. Rilder Nemesio GASTELÚ QUISPE

AYACUCHO - PERÚ

2026

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí y ser mi guía.

A mis padres por su amor, apoyo incondicional, colaboración y consejos durante todo mi proceso académico y ser mi mayor motivación.

AGRADECIMIENTO

A mi *Alma Mater*, la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por formarme profesionalmente durante estos años y brindarme las herramientas y el espacio necesario para mi desarrollo académico y profesional.

A la Facultad de Ciencias Biológicas, a la Escuela Profesional de Biología y a los docentes del Programa Académico de Microbiología, por sus enseñanzas, consejos y exigencia académica durante los años de mi formación profesional.

A la Blga. Ruth Elsa Huamán De La Cruz, asesora de la presente investigación, por su valiosa orientación, su tiempo, paciencia, dedicación y aportes para poder realizar el presente trabajo. Sus enseñanzas y guía fueron fundamentales para la culminación del presente estudio.

Al Blgo. Rilder Gastelú Quispe, coasesor de este proyecto, por su apoyo y confianza durante todo el tiempo que se realizó la presente investigación.

Al Blgo. Víctor Humberto Alegría Valeriano y al Blgo. Luis Uriel Moscoso García, por el tiempo dedicado en la revisión y corrección de este trabajo, así como por las recomendaciones y consejos que sumaron en la finalización del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	3
2.1.1. Antecedentes internacionales	3
2.1.2. Antecedentes nacionales	4
2.1.3. Antecedentes locales	5
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. Antagonismo	6
2.2.2. Actividad antifúngica	6
2.2.3. Controlador biológico	6
2.2.4. Cepas nativas	6
2.2.5. Fitopatógeno	7
2.2.6. Signo	7
2.2.7. Síntoma	7
2.2.8. Antracnosis	7
2.2.9. Marchitez vascular	7
2.2.10. Compuesto bioactivo	8
2.3. Fundamento teórico	8
2.3.1. <i>Pisum sativum</i> “arveja”	8
2.3.2. <i>Fusarium</i> sp.	11
2.3.3. <i>Colletotrichum</i> sp.	13
2.3.4. <i>Streptomyces</i> sp	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación del lugar	18
3.2. Lugar de ejecución	18
3.3. Tipo de investigación	18
3.4. Diseño de investigación	18

3.5.	Población y muestra	18
3.5.1.	Población	18
3.5.2.	Muestra	19
3.6.	Metodología	19
3.6.1.	Aislamiento de las bacterias del género <i>Streptomyces</i>	19
3.6.2.	Recolección y aislamiento de hongos fitopatógenos	20
3.6.3.	Obtención de los fitopatógenos en tapete y block de gelosa	22
3.6.4.	Prueba de antagonismo en placa mediante el enfrentamiento dual	22
3.6.5.	Obtención del compuesto bioactivo	23
3.6.6.	Prueba <i>in vitro</i> del compuesto bioactivo de <i>Streptomyces spp.</i> frente a <i>Fusarium sp.</i> y <i>Colletotrichum sp.</i>	24
3.7.	Análisis estadístico	25
IV.	RESULTADOS	26
V.	DISCUSION	34
VI.	CONCLUSIONES	40
VII.	RECOMENDACIONES	41
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de hongos fitopatógenos y actinobacterias antagonistas aisladas.	27
Tabla 2. Porcentaje de inhibición de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	48
Tabla 3. Porcentaje de inhibición de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	48
Tabla 4. Prueba de normalidad para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	48
Tabla 5. Prueba de homogeneidad de varianzas para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	48
Tabla 6. Evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	48
Tabla 7. Comparaciones múltiples para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	49
Tabla 8. Comparaciones múltiples para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	49
Tabla 9. Prueba de normalidad para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	50
Tabla 10. Prueba de homogeneidad de varianzas para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	50
Tabla 11. Evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	50
Tabla 12. Comparaciones múltiples para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	49
Tabla 13. Comparaciones múltiples para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la prueba de enfrentamiento dual de <i>Streptomyces</i> spp. contra <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp. para la evaluación del porcentaje de inhibición.	23
Figura 2. Esquema de metodología de difusión por pozos para determinar el porcentaje de inhibición de los extractos crudos de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp. y <i>Fusarium</i> sp.	24
Figura 3. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp.	30
Figura 4. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Colletotrichum</i> sp.	31
Figura 5. Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp.	32
Figura 6. Diámetro de los halos de inhibición obtenidos por el compuesto bioactivo de la cepa S-17 de <i>Streptomyces</i> sp. frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp.	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resultados complementarios de la capacidad antagónica <i>in vitro</i> de cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a hongo fitopatógeno de <i>Fusarium</i> sp.	48
Anexo 2. Resultados complementarios de la capacidad antagónica <i>in vitro</i> de cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a hongo fitopatógeno de <i>Colletotrichum</i> sp.	50
Anexo 3. Comparaciones por parejas para el efecto simple del tipo de microorganismo dentro de cada cepa sobre el factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp.	52
Anexo 4. Colección de cepas de actinobacterias aisladas del suelo.	53
Anexo 5. Observación macroscópica de las cinco cepas de <i>Streptomyces</i> spp. usadas en el enfrentamiento dual.	54
Anexo 6. Observaciones microscópicas de las 5 cepas de <i>Streptomyces</i> spp. mediante tinción Gram y microcultivo de 10 días con azul de lactofenol.	55
Anexo 7. Observación macroscópica y microscópica de los hongos fitopatógenos.	57
Anexo 8. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.	59
Anexo 9. Toma de muestra de suelo y plántulas de <i>Pisum sativum</i> .	59
Anexo 11. Muestras de <i>Pisum sativum</i> con síntomas de antracnosis causado por <i>Colletotrichum</i> sp.	60
Anexo 12. Procedimiento de aislamiento de <i>Streptomyces</i> spp. a partir de muestras de suelo.	61
Anexo 13. Aislamiento de actinobacterias en el medio GYM y agar avena.	61
Anexo 14. Prueba bioquímica de catalasa de las 5 cepas de <i>Streptomyces</i> spp. de estudio.	62
Anexo 15. Prueba de enfrentamiento dual.	63
Anexo 16. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces</i> spp. (cepa S-3) contra <i>Fusarium</i> sp. y control.	64
Anexo 17. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces</i> spp. (cepa S-3) contra <i>Colletotrichum</i> sp. y control.	64

Anexo 18. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-9) contra <i>Fusarium sp.</i> y control.	65
Anexo 19. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-9) contra <i>Colletotrichum sp.</i> y control.	65
Anexo 20. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-11) contra <i>Fusarium sp.</i> y control.	66
Anexo 21. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-11) contra <i>Colletotrichum sp.</i> y control.	66
Anexo 22. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-17) contra <i>Fusarium sp.</i> y control.	67
Anexo 23. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-17) contra <i>Colletotrichum sp.</i> y control.	67
Anexo 24. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-26) contra <i>Fusarium sp.</i> y control.	67
Anexo 25. Enfrentamiento dual de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-26) contra <i>Colletotrichum sp.</i>	68
Anexo 26. Obtención de compuesto bioactivo de <i>Streptomyces spp.</i> (cepa S-17).	69
Anexo 27. Halos de inhibición producidos por el compuesto bioactivo de la cepa S-17 de <i>Streptomyces sp.</i> frente a <i>Fusarium sp.</i>	70
Anexo 28. Halos de inhibición producidos por el compuesto bioactivo de la cepa S-17 de <i>Streptomyces sp.</i>	70
Anexo 29. Protocolo de aislamiento de <i>Streptomyces sp.</i> del suelo.	70
Anexo 30. Protocolo de aislamiento de <i>Fusarium sp.</i>	70
Anexo 31. Protocolo para la obtencion del compuesto bioactivo de <i>Streptomyces spp.</i>	70
Anexo 32. Composicion de medios utilizados	70

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., aislados de *Pisum sativum* "arveja", y se desarrolló en el Laboratorio de Microbiología Ambiental de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. El tipo de investigación fue no experimental con un diseño completamente al azar y se establecieron 5 tratamientos con 3 repeticiones para cada fitopatógeno. El material biológico estuvo conformado por 5 cepas nativas de *Streptomyces* spp., 1 cepa de *Fusarium* sp. y 1 cepa de *Colletotrichum* sp.; aislados de suelo, tallos, hojas y vainas de plantas de arveja. La capacidad antagónica se evaluó mediante la técnica de enfrentamiento dual, determinándose el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC). Con los datos obtenidos, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, posteriormente, se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$; y las comparaciones múltiples de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey. Los resultados mostraron que las 5 cepas de *Streptomyces* spp. (S-3, S-9, S-11, S-17 y S-26) tuvieron una inhibición positiva frente a ambos fitopatógenos. Frente a *Fusarium* sp., las cepas de *Streptomyces* spp. alcanzaron porcentajes de inhibición de 37,4%; 47,7%; 54,5%; 61,7% y 58,3% respectivamente. Mientras que frente a *Colletotrichum* sp. los valores fueron de 45,1%; 52,8%; 62,2%; 62,8% y 57,1%. La cepa S-17 presentó la mayor actividad antagónica, con porcentajes de inhibición de 61,7% frente a *Fusarium* sp. y 62,8 % frente a *Colletotrichum* sp., por lo que fue seleccionada para la obtención de su compuesto bioactivo. Dicho compuesto produjo halos de inhibición de 11 mm frente a *Colletotrichum* sp. y de 4 mm frente a *Fusarium* sp., evidenciando su potencial como agente de biocontrol para el manejo de estos fitopatógenos.

Palabras clave: *Streptomyces* spp., antagonismo, control biológico, fitopatógeno.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación evalúo *in vitro* la actividad antagónica de diferentes cepas nativas de *Streptomyces spp.* aisladas de suelos de *Pisum sativum* L. “arveja” frente a los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., con el propósito de determinar su potencial como agentes de control biológico para el manejo de enfermedades que afectan el cultivo de arveja. Esta investigación responde a la necesidad de buscar estrategias sostenibles para el control de *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. debido a que las enfermedades producidas por estos fitopatógenos limitan la productividad del cultivo y ocasiona fuertes pérdidas económicas; promoviendo así, el uso intensivo de fungicidas químicos, cuyo empleo genera impactos negativos en la salud y el ambiente (Lino, 2022).

Pisum sativum L. “arveja” constituye una de las leguminosas de grano de mayor importancia en la alimentación de la población peruana debido a su aporte nutricional y su contribución como complemento de los cereales en la dieta. Su cultivo constituye una fuente de ingresos para miles de productores, especialmente en la sierra del país, donde se desarrolla entre los 1 700 y 3 200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), siendo el departamento de Ayacucho una de las principales regiones productoras (González, 2018). Asimismo, posee importancia económica porque se comercializa a nivel nacional como internacional, contribuyendo al desarrollo del sector agrícola (Valdez, 2017).

A pesar de su relevancia económica, la productividad del cultivo de arveja en el Perú se ve fuertemente afectado por enfermedades causadas por hongos fitopatógenos como *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Pythium* y *Ascochyta pisi*, que reducen significativamente la producción de esta leguminosa (Alvarado, 2016). Entre ellos, *Colletotrichum* es uno de los principales fitopatógenos pos cosecha a nivel mundial, causante de la antracnosis, enfermedad que afecta hojas, vainas y semillas, llegando a generar pérdidas en la producción de hasta el 100% (Lara *et al.*, 2016; Leiva, 2019). *Fusarium*, por su parte, incluye diversas especies de distribución mundial que provocan marchitez vascular y pudriciones en raíces, tallos

y semillas, afectando a más de 80 cultivos de relevancia económica, entre ellos las leguminosas (Cabrera, 2019).

Ambos fitopatógenos reducen significativamente la calidad y los rendimientos de la producción, generando pérdidas económicas en los agricultores peruanos, quienes recurren principalmente al uso de fungicidas químicos para su control. No obstante, la aplicación continua e indiscriminada de estos productos genera efectos adversos en ambiente y la salud de los consumidores, además de tener como consecuencia el desarrollo de la resistencia de los microorganismos fitopatógenos (Mateo, 2017). El empleo de microorganismos con capacidad antagonista es una alternativa eficaz y ambientalmente segura, que ha adquirido gran importancia por su capacidad para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos a través de la producción de compuestos como antibióticos, enzimas hidrolíticas y otros metabolitos secundarios. Entre estos microorganismos destacan las actinobacterias y particularmente, el género *Streptomyces*, reconocido por producir más del 70% de los metabolitos bioactivos descritos para este grupo, lo que lo convierte en un recurso promisorio para el desarrollo de biofungicidas (Osorio, 2022).

La importancia de la arveja en el suministro de alimentos y la economía rural del país destaca la necesidad de contar con agentes de control efectivos y seguros; las especies pertenecientes al género *Streptomyces* representan una opción prometedora para el control de las enfermedades ocasionadas por estos hongos, favoreciendo una agricultura sostenible.

Objetivo general

Evaluar la capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp, aislados de *Pisum sativum* "arveja" Ayacucho - 2025.

Objetivos específicos

1. Aislar e identificar morfológicamente las cepas nativas de *Streptomyces* spp. de suelos con cultivo de arveja.
2. Aislar e identificar morfológicamente los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp.
3. Determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento radial PIRC de *Streptomyces* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp.
4. Determinar la actividad del compuesto bioactivo de *Streptomyces* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Medina *et al.* (2013), en Coahuila, México; estudiaron diferentes aislamientos de actinobacterias obtenidos en distintos medios de cultivo y evaluó su efecto antagónico frente a hongos fitopatógenos de importancia agrícola como *Alternaria* sp., *Rhizoctonia* sp., *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. Se obtuvieron muestras de rizosfera, suelo, larvas y adultos de hormigas para el aislamiento de actinobacterias. Las muestras fueron sometidas previamente a un tratamiento con agua fenolizada y posteriormente, sembradas mediante la técnica de difusión en los siguientes medios de cultivo: agar papa dextrosa, agar de actinomicetos, agar almidón caseína y agar czapek dox. Se obtuvieron 70 cepas de actinomicetos, de los cuales 25 cepas evidenciaron capacidad antagónica y cuatro cepas (AAH53, APA2, AASH48 y APC70) fueron seleccionadas debido a su capacidad inhibitoria y a su estabilidad en el tiempo. En cuanto a los porcentajes de inhibición, la cepa *Streptomyces* sp. APC70 alcanzó el mayor efecto frente a *Alternaria* sp., con 57,6 %, mientras que *Streptomyces* sp. AAH53 presentó los mejores resultados frente a *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Colletotrichum* sp., registrando porcentajes de inhibición de 49,36%; 53,08% y 61,57%, respectivamente.

Osorio (2022), en Guatemala, recolectó actinobacterias nativas con la finalidad de seleccionar cepas con actividad inhibitoria *in vitro* sobre los hongos fitopatógenos: *Lasiodiplodia brasiliensis*, *Neofusicaccum parvum*, *Alternaria* sp. y *Fusarium oxysporum*. El porcentaje de inhibición se determinó mediante enfrentamientos duales, empleando seis cepas de actinobacterias frente a doce hongos fitopatógenos, teniendo como resultado, que todas las cepas evaluadas presentaron capacidad inhibitoria. Asimismo, se analizó la acción de los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y difusibles (DOCs) producidos por estas actinobacterias. En el ensayo con VOCs, la mayor actividad inhibitoria correspondió a *Allostreptomyces* sp. rbES-339 frente a *Alternaria* sp., mientras que, para los DOCs, *Streptomyces* sp. rbES-173 presentó el mayor efecto inhibitorio frente a *N.*

parvum. En ambos tipos de evaluación se evidenció actividad inhibitoria de las cepas de actinobacterias frente a los hongos fitopatógenos estudiados.

Ríos & Evangelista (2025), en Jalisco - Mexico, estudiaron el potencial antifúngico de la cepa *Streptomyces* sp. GCAL-9 y de los compuestos bioactivos producidos, frente a *Colletotrichum musae* y *Colletotrichum siamense*, hongos asociados con la antracnosis en cultivos de plátano y papaya. La capacidad inhibitoria de la cepa fue determinada mediante ensayos de enfrentamiento dual, complementados con evaluaciones empleando su extracto bioactivo. Los resultados mostraron que *Streptomyces* sp. GCAL-9 logró inhibir el crecimiento de *C. siamense* en 54% y de *C. musae* en 94%, evidenciando una mayor actividad antifúngica en comparación con el agente de control biológico comercial *Streptomyces lydicus* WYEC108. Asimismo, el extracto bioactivo manifestó una respuesta inhibitoria dependiente de la concentración y ocasionó alteraciones en la membrana de los conidios, sin producir modificaciones en su contenido de quitina. En consecuencia, el extracto bioactivo de *Streptomyces* sp. GCAL-9 posee un alto potencial para el control biológico de la antracnosis.

Rodríguez (2023), en La paz - Mexico, determinó la actividad antifúngica de actinomicetos marinos como alternativa para el control de enfermedades en plantas de tomate causadas por *Fusarium solani*. Durante el estudio se obtuvo ocho aislamientos de *Fusarium* a partir de plantas que presentaban síntomas de enfermedad y 30 cepas de actinomicetos provenientes de sedimentos de manglares. De estas últimas, cuatro evidenciaron actividad inhibitoria frente al fitopatógeno. Entre ellas, la cepa A19, identificada como *Streptomyces* sp., destacó por presentar una inhibición del 72% sobre el crecimiento micelial y un PICR de 76,75%, asociado a la producción de compuestos orgánicos volátiles. Además, las cepas de actinomicetos evaluadas demostraron capacidad para producir sideróforos y ejercer un efecto inhibitorio sobre *F. solani*. De manera complementaria, el tratamiento con quitosano a una concentración de 3 g/L alcanzó un PICR de 81,43%; mientras que su aplicación conjunta con los actinomicetos contribuyó a mejorar el crecimiento de las plantas y disminuir tanto la incidencia como la severidad de la enfermedad.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Leiva (2019), en Trujillo, identificó y evaluó *in vitro* la actividad antifúngica de cinco cepas de *Streptomyces* spp. aisladas de suelo desértico frente al hongo *Colletotrichum* spp. Para determinar su capacidad inhibitoria sobre el crecimiento del hongo, las cepas fueron sometidas a ensayos de enfrentamiento dual e inhibición por difusión en pozos. Los resultados evidenciaron diferencias en la capacidad

inhibitoria entre las cepas evaluadas, las cepas Q-84 y Q-60 presentaron mayor inhibición, alcanzando valores de 92% y 88%, respectivamente. Por su parte, mediante la técnica de difusión en pozos, la cepa Q-84 alcanzó el mayor porcentaje de inhibición (56%). Además, la cepa Q-84 presentó actividad enzimática asociada a la producción de proteasas, celulasas y lipasas; presentando una alta similitud genética con *Streptomyces maritimus* y *S. rochei*.

Caro (2016), en Lima, evaluó el potencial antagónico de actinomicetos aislados de la rizosfera de cultivos de papa provenientes de Andahuaylas, región Apurímac, frente *Fusarium* sp., *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* y *Lasiodiplodia* sp. Se obtuvieron 49 aislamientos de actinomicetos, que fueron caracterizados fenotípicamente, en su mayoría, como especies del género *Streptomyces* sp. Del total de cepas evaluadas, el 69,4% inhibió el crecimiento del hongo *Fusarium* sp., el 46,9 % mostró antagonismo frente a *Phytophthora infestans*., el 55,1% frente a *Rhizoctonia solani* y el 46,9 % frente a *Lasiodiplodia* sp. Además, el 38,8% presentó actividad inhibitoria contra los cuatro hongos fitopatógenos estudiados. Los extractos orgánicos obtenidos de la cepa ADN 24 mediante diclorometano y acetato de etilo mostraron actividad antifúngica frente a *Lasiodiplodia* sp.; en cambio, el extracto butanólico evidenció efecto inhibitorio contra *Fusarium* sp. El análisis filogenético reveló que la cepa estudiada sería *Streptomyces sampsonii*. Concluyendo que las actinobacterias rizosféricas asociados al cultivo de papa tienen un gran potencial para producir compuestos antifúngicos contra diferentes hongos fitopatógenos.

Quispe (2021), en Lambayeque, evaluó el efecto antagónico de cepas de *Streptomyces* frente a *Colletotrichum* mediante el método de enfrentamiento dual. La capacidad inhibitoria se determinó mediante el porcentaje de inhibición de crecimiento (PIC), obteniendo la mayor inhibición de la cepa Q84, con 97,3%. Posteriormente, se obtuvo el compuesto bioactivo producido por esta cepa, el cual presentó un 44,78% de inhibición. La evaluación *in vivo*, se desarrolló aplicando el extracto a mangos previamente inoculados con el hongo y se realizó el seguimiento de la enfermedad durante 14 días a 70 - 80% de humedad relativa. El primer tratamiento redujo la progresión de la enfermedad en un 24%, mientras que el testigo alcanzó hasta 43,9%; evidenciando el potencial inhibitorio del extracto de *Streptomyces* sobre el desarrollo del patógeno.

Antecedentes locales

Ayala (2019), en Ayacucho, evaluó el potencial antagónico de cepas nativas de *Trichoderma* spp. frente a los hongos fitopatógenos *Fusarium* spp. y *Colletotrichum* spp. Para ello se empleó la técnica de ensayo dual, determinando el porcentaje de inhibición radial (PIRC) y el grado de micoparasitismo. Los resultados evidenciaron

las cepas de *Trichoderma* spp., ejercieron un efecto inhibitorio sobre ambos fitopatógenos. Frente a *Colletotrichum* spp., se obtuvieron valores de PIRC entre 26,32 y 45%, mientras que para *Fusarium* spp. los porcentajes de inhibición oscilaron entre 28,57 y 61,11%. Asimismo, se evidenció micoparasitismo de las cepas T-2, T-3 y T-4,2 sobre *Colletotrichum* spp., mientras que frente a *Fusarium* spp. esta interacción fue observada en las cepas T-1, T-2, T-3, T-4,1, T-4,2 y T-5. Los resultados obtenidos evidenciaron que las cepas nativas de *Trichoderma* spp. poseen actividad antagónica y un potencial importante para su aplicación como agentes de biocontrol frente a estos fitopatógenos.

Bautista (2016), en Ayacucho, analizó la actividad antifúngica de los actinomicetos obtenidos de sedimento marino de las costas peruanas frente a diferentes especies de *Candida*, entre ellas *Candida albicans* ATCC 10231, *Candida albicans* ATCC 90028, *Candida albicans* 7516, *Candida parapsilosis* 7307 y *Candida tropicalis* 7206. Estas cepas fueron aisladas a partir de hemocultivos procedentes de distintos servicios del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen. La actividad antifúngica fue evaluada inicialmente por la técnica de doble capa, destacando la cepa BI-IM2 por presentar la mayor inhibición, posteriormente, se realizó la extracción de los metabolitos con el extracto diclorometánico y hexánico, obteniendo una concentración mínima inhibitoria (CMI) de 4,453 µg/mL frente a *Candida tropicalis* 7206. En conjunto, los resultados confirmaron que los actinomicetos marinos evaluados presentan capacidad antifúngica.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Antagonismo

Es la interacción biológica en la que un microorganismo (bacterias, hongos o levaduras) inhibe el crecimiento y desarrollo de otro microorganismo por medio de diversos mecanismos de acción como la competencia por espacios y nutrientes (Mateo, 2017).

2.2.2. Actividad antifúngica

Capacidad que posee un microorganismo para inhibir o prevenir el crecimiento y desarrollo o reproducción de hongos fitopatógenos; esta actividad se da mediante la producción de antibióticos, compuestos volátiles, enzimas hidrolíticas, entre otros metabolitos secundarios, para reducir la incidencia de enfermedades causadas por hongos en distintos cultivos (Harman et al., 2004).

2.2.3. Controlador biológico

Microorganismo como una bacteria, hongo o nemátodo, que se utiliza para prevenir, controlar o suprimir el crecimiento de otros organismos fitopatógenos, mediante

mecanismo de antagonismo, competencia por nutriente, micoparasitismo y la producción de metabolitos. Estos microorganismos benéficos contribuyen al manejo sostenible de las enfermedades que afectan los cultivos (Alvarado, 2016).

2.2.4. Cepas nativas

Población de microorganismos que han sido aislados directamente de un ambiente natural, como el suelo, el agua o un organismo vivo, y que ha evolucionado y adaptado a las condiciones específicas de ese lugar. Estas cepas conservan características fisiológicas y genéticas propias del lugar de aislamiento, por lo que presentan mayor capacidad de colonización e interacción con otros microorganismos del mismo ambiente (Mateo, 2017).

2.2.5. Fitopatógeno

Cualquier microorganismo, sea bacterias, hongos, virus, nemátodos, protozoos, capaz de infectar y causar enfermedades en las plantas, alterando su adecuado crecimiento, desarrollo y productividad. Estos organismos invaden los tejidos vegetales, generando alteraciones fisiológicas que se manifiestan mediante síntomas como manchas foliares, marchitez, pudriciones, clorosis, canchros, deformaciones y necrosis. Debido a estos daños, representan una de las principales causas de pérdidas en el rendimiento de los cultivos (Agrios, 2008).

2.2.6. Signo

La evidencia física, directa y visible del organismo causante de la enfermedad, los signos corresponden a las estructuras del propio fitopatógeno, tales como el micelio, las hifas, esporas, exudado bacteriano y otras estructuras reproductivas, su presencia permite confirmar el desarrollo del fitopatógeno en el tejido infectado y facilita su identificación (Coto, 2009).

2.2.7. Síntoma

Manifestación visible de las alteraciones que experimenta la planta a causa de la infección del fitopatógeno. Los síntomas reflejan la reacción de la planta hospedera frente a la enfermedad y pueden presentarse en distintos órganos en forma de clorosis, mosaicos necrosis, manchas foliares, deformaciones, marchitez vascular, canchros, entre otros (Coto, 2009).

2.2.8. Antracnosis

Enfermedad fitopatológica destructiva ocasionada por el género *Colletotrichum*, cuyos síntomas son las lesiones necróticas generalmente hundidas y de forma circular o irregular que se desarrollan en los tallos, hojas y vainas o frutos; en condiciones favorables estas lesiones presentan masas de esporas (acérvulos), que constituyen el principal signo de la enfermedad. La antracnosis ocasiona la

destrucción de tejidos y disminuye el rendimiento en leguminosas y frutales (Aguilar *et al.*, 2021).

2.2.9. Marchitez vascular

Enfermedad causada principalmente por el hongo *Fusarium oxysporum*, se caracteriza por la invasión del tejido vascular, impidiendo el adecuado transporte de agua y nutrientes. El desarrollo de esta enfermedad inicia cuando el fitopatógeno ingresa a la planta desde la raíz y se establece en los vasos conductores, especialmente del xilema, bloqueando el movimiento del agua a través de sus tejidos, esta alteración fisiológica provoca los síntomas característicos de marchitez, incluso cuando el suelo dispone de suficiente humedad (Castillo *et al.*, 2022).

Entre los principales síntomas se observa el amarillamiento gradual de las hojas, acompañado del oscurecimiento de los tejidos del tallo. La expresión de la enfermedad puede intensificarse bajo condiciones de temperaturas elevadas, suelos con pH bajo y determinadas prácticas de fertilización (Vásquez & Castaño, 2017).

2.2.10. Compuesto bioactivo

Son sustancias producidas de manera natural por diversos organismos vivos, entre ellos bacterias, hongos y plantas; generalmente se encuentran en bajas concentraciones. Los compuestos bioactivos incluyen metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas o sustancias promotoras de crecimiento vegetal, que favorecen el desarrollo de las plantas y el control de enfermedades (Osorio, 2022).

2.3. Fundamento teórico

2.3.1. *Pisum sativum* “arveja”

También conocida como guisante, es una planta anual herbácea perteneciente a la familia Fabaceae. Se caracteriza por presentar tallos trepadores y diversas variedades, que se clasifican según su crecimiento y altura.

Sus hojas son compuestas, alternas y paripinnadas, que forman estructuras delgadas denominadas zarcillos, que le permiten sujetarse a soportes y facilitar su crecimiento. Sus flores son de color blanco o ligeramente violáceo, de origen axilar y se agrupan en inflorescencias tipo racimo, con dos a tres flores, cada una con cinco pétalos. El fruto, también conocido como vaina, presenta una forma cilíndrica alargada, bivalva, con una longitud de 5 a 10 cm y en su interior contiene entre 4 y 10 semillas, las cuales varían en tamaño, color y forma de acuerdo a la variedad cultivada (Astete *et al.*, 2021).

El ciclo biológico de la arveja comprende las etapas de germinación, crecimiento vegetativo, floración y formado de vainas. Su duración puede variar entre 90 y 120 días, dependiendo de la variedad, las condiciones ambientales y las prácticas de manejo agronómico (Galindo, 2016).

En el Perú, la arveja se cultiva en las regiones de la costa y sierra; sin embargo, la mayor producción se encuentra en la sierra, entre los 1 700 y 3 200 m.s.n.m., donde forma parte de diversos agroecosistemas. Este cultivo constituye una alternativa importante dentro de los sistemas de producción agrícola, debido a su valor alimenticio, su aporte económico y su capacidad para contribuir al mejoramiento de la fertilidad del suelo mediante la fijación de nitrógeno (Gonzales, 2018).

Clasificación sistemática

Astete et al. (2021), reporta la siguiente clasificación taxonómica:

Subreino : Fanerógamas

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Subclase : Rosidae

Orden : Fabales

Familia : Fabaceae

Subfamilia: Faboidae

Género : Pisum

Especie: *Pisum sativum* L.

Nombre común: Arveja, guisante, chícharo.

Importancia del cultivo

La arveja es una leguminosa de gran importancia alimentaria, muy apreciada por su semilla, que puede ser consumida en estado verde, maduro o seco, tanto crudas como cocidas; así mismo, se comercializa y utiliza en diferentes presentaciones, como grano entero o harina. Con esta última se prepara sopas y potajes de elevado valor nutricional.

Por su composición nutricional, la arveja constituye un alimento de importancia en la dieta de la población peruana. Su consumo aporta proteínas, vitaminas, minerales, carbohidratos y fibra dietética. Además, se caracteriza por presentar bajo contenido de sodio y colesterol y ausencia de gluten, propiedades que amplían sus posibilidades de consumo (Aguilar *et al.*, 2021).

Según el censo agrario del Ministerio de Agricultura y Riego, la arveja se encuentra entre las leguminosas de mayor producción en el país, registrando más de 130,1 mil toneladas en grano verde y 54,3 mil de toneladas de grano seco, lo que evidencia su importancia como uno de los principales cultivos destinados al abastecimiento del mercado nacional. Este cultivo posee gran importancia alimentaria y económica en distintas zonas del Perú, especialmente en la sierra, donde contribuye al sustento económico de numerosos pequeños productores. En

la región Ayacucho, y particularmente en el distrito de Socos, la arveja forma parte del sistema de producción agrícola, además favorece la fertilidad del suelo mediante el proceso de fijación biológica de nitrógeno. No obstante, a pesar de las ventajas que ofrece este alimento, existe muchas deficiencias en su cultivo como las enfermedades fitopatógenas, que disminuyen su producción (Valdez, 2017).

Enfermedades que afectan el cultivo de arveja

a. Marchitamientos vasculares

Agente causal: *Fusarium oxysporum*

La enfermedad se caracteriza por presentar una sintomatología unilateral, entre las principales manifestaciones se encuentran la clorosis, el amarillamiento y la pérdida de turgencia de las hojas, además del doblamiento y alteración de los brotes. El avance de la enfermedad puede provocar la muerte prematura de la planta y afectar considerablemente el rendimiento del cultivo (Retana et al., 2018).

b. Oidium o cenicilla de la arveja

Agente causal: *Erysiphe poligoni*

Esta enfermedad se presenta en las primeras etapas de desarrollo del cultivo y su incidencia incrementa en períodos de altas temperaturas. Los primeros síntomas aparecen como manchas cloróticas en el haz foliar, sobre las cuales posteriormente se desarrolla una intensa formación de estructuras reproductivas del hongo. Conforme avance la infección, se produce una defoliación prematura, causando la destrucción de los órganos foliares y la disminución del transporte de agua y nutrientes hacia la planta, ocasionando su muerte (Astete et al., 2021).

c. Mildiu de la arveja

Agente causal: *Peronospora viciae*

Esta enfermedad afecta principalmente los tejidos jóvenes de la planta, incluyendo hojas, brotes y vainas. En las etapas iniciales de la enfermedad se observan manchas cloróticas de considerable tamaño en la superficie superior de las hojas. Con el avance de la infección, en el envés foliar aparece una formación micelial de tonalidad grisácea, asociada con la producción de estructuras correspondientes a la reproducción asexual del patógeno (Astete et al., 2021).

d. Antracnosis

Agente causal: *Colletotrichum* sp.

Esta enfermedad manifiesta lesiones necróticas principalmente en tallos y frutos. En las vainas, estas lesiones suelen presentar una forma circular o irregular y una coloración marrón oscura, mientras que en la zona central pueden observarse áreas más claras asociadas con la formación de estructuras reproductivas del hongo (Agrios, 2008).

e. Plaga de *Ascochyta*

Agente causal: *Ascochyta pisi*

Este patógeno causa lesiones necróticas de forma circular en hojas, tallos y vainas. En las hojas estas lesiones presentan una tonalidad marrón y anillos concéntricos, con un tamaño aproximado de 2 a 8 mm de diámetro. Cuando se presentan condiciones de humedad elevada, el patógeno desarrolla picnidios dentro de las áreas afectadas, los cuales se observan macroscópicamente como pequeños puntos oscuros (Suasnabar *et al.*, 2021).

f. Virus del mosaico

Agente causal: Virus del mosaico transmitido por el suelo

Esta enfermedad viral causa distintas alteraciones en el cultivo, incluyendo mosaicos foliares, enrollamientos foliares, necrosis y deformaciones en flores y frutos. La transmisión ocurre principalmente mediante semillas infectadas; sin embargo, el virus también puede dispersarse a través de pulgones, mediante un mecanismo no persistente (Astete *et al.*, 2021).

2.3.2. *Fusarium* sp.

Es un género conformado por numerosas especies de hongos filamentosos, distribuidos ampliamente en ecosistemas agrícolas a nivel mundial. Sus especies habitan principalmente el suelo actuando como fitopatógenos, afectando una amplia variedad de cultivos de importancia agrícola. Presentan una distribución cosmopolita, aunque su mayor abundancia se encuentran en zonas tropicales y templadas (Pastrana *et al.*, 2014).

Fusarium es considerado como uno de los géneros más importantes en la fitopatología debido a su distribución y su capacidad para infectar diversos cultivos. Numerosas especies afectan los tejidos vasculares, raíces, tallos, hojas y frutos, generando un menor rendimientos y calidad de los cultivos. Además, algunas especies tienen la capacidad de producir toxinas que pueden afectar la salud de los consumidores (Leslie & Sumerell, 2006).

Las especies de *Fusarium*, se encuentran entre los fitopatógenos de mayor distribución y complejidad por tener más de 100 formas especiales caracterizadas

por un alto grado de especificidad, cada una adaptada a infectar determinadas especies vegetales (Ayala, 2019).

Clasificación taxonómica

Agrios (2008), reporta la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Fungi

División: Ascomycota

Clase: Euascomycetes

Subclase: Hypocreomycetidae

Orden: Hypocreales

Familia: Hypocreaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium* sp.

Características de *Fusarium* sp.

Se caracteriza por presentar colonias abundantes de crecimiento rápido, micelio aéreo, extenso y con apariencia algodonosa de distintas tonalidades que van del blanco, rosado, salmón o violeta, dependiendo la especie y el medio de cultivo; estas colonias se expanden rápidamente hasta cubrir toda la superficie del medio (Ayala, 2019).

Este género presenta hifas ramificadas, y se caracteriza por formar tres estructuras asexuales: microconidios, macroconidios y clamidosporas. Los microconidios son estructuras unicelulares carentes de septos, de forma elipsoidal y cilíndrica. Por otro lado, las macroconidias presentan una morfología alargada y fusiforme, con paredes delgadas y entre tres y cinco septos transversales. Las clamidosporas se distinguen por presentar una pared gruesa, característica que las hace más resistentes frente a condiciones ambientales adversas y durante periodos en los que no existe un hospedante disponible (Torres, 2000).

***Fusarium* como agente causal de la marchitez vascular en arveja**

a. Sintomatología

Los síntomas se manifiestan con el amarillamiento y posterior marchitez de las hojas basales, este síntoma va progresando hacia la parte superior de la planta. Durante las primeras etapas, la planta puede presentar marchitez temporal en las horas de mayor temperatura, conforme avanza la enfermedad las hojas se debilitan y pierden turgencia, adquiriendo una tonalidad amarillo verdosa, seguido del marchitamiento y la pudrición seca en el interior de las raíces y en la base del tallo, por acción de las toxinas producidas por el hongo, las cuales afectan el xilema e

interfieren en el transporte de agua, ocasionando la muerte de la planta (Astete *et al.*, 2021).

Una característica relevante para el diagnóstico de esta enfermedad, que permite distinguirla de otras afecciones vasculares, es la presencia de una coloración blanquecina, amarillenta o marrón en los haces vasculares. Además, se evidencia el deshilachamiento de los tejidos, mientras que la médula permanece sin alteraciones (Alvarado, 2016).

b. Epidemiología

La temperatura constituye uno de los principales factores ambientales que condicionan el desarrollo de la enfermedad y la manifestación de sus síntomas, así como el estado nutricional de la planta (Astete *et al.*, 2021).

El desarrollo del patógeno se ve favorecido a temperaturas entre 25 y 30 °C, durante la etapa inicial de la enfermedad, el patógeno permanece viable a condiciones ambientales desfavorables. Cuando se presentan condiciones adecuadas, los propágulos son liberados y posteriormente transportados hasta depositarse sobre tejidos sanos y susceptibles, donde tiene lugar la infección (Alvarado, 2016).

c. Dispersión

Esta enfermedad se da por tres mecanismos básicos: La liberación, definida como la expulsión del patógeno del lugar donde fue producido; dispersión, corresponde al transporte del patógeno y la deposición implica el asentamiento del patógeno sobre una determinada superficie. La dispersión de *Fusarium* se lleva a cabo mediante la participación de agentes como el aire, el agua, los insectos y otros animales (Agrios, 1995).

d. Control biológico

El empleo de microorganismos benéficos constituye una estrategia para prevenir y disminuir enfermedades en los cultivos, contribuyendo además a un mejor crecimiento y desempeño productivo de las plantas. La aplicación de hongos y bacterias antagonistas, debido a su producción de metabolitos secundarios con actividad fungicida son la mejor opción para controlar este patógeno (Alvarado, 2016).

2.3.3. *Colletotrichum* sp.

Colletotrichum comprende diversas especies de hongos fitopatógenos distribuidas en diferentes regiones del mundo, cuya presencia está asociada principalmente con la antracnosis en distintos cultivos. Esta enfermedad puede reconocerse por la aparición de lesiones deprimidas de forma circular, que suelen presentar patrones de anillos concéntricos (Ayala, 2019).

Estas especies causan enfermedades de gran importancia económica en casi todos los cultivos, posicionando a *Colletotrichum* como uno de los ocho grupos de hongos fitopatógenos más relevantes (Leiva, 2019). La creciente incidencia de *Colletotrichum* y la enfermedad de la antracnosis en frutas y hortalizas se ha convertido en un problema crítico para la agricultura global, generando pérdidas económicas superiores al 50% en la producción de estos alimentos (Dávila *et al.*, 2013).

Clasificación taxonómica

Agrios (2008), reporta la siguiente clasificación taxonómica:

Phyllum: Ascomycota

Clase: Hypocreomycetidae

Orden: Glomerellales

Familia: Glomerellaceae

Género: *Colletotrichum*

Especie: *Colletotrichum* sp.

Características de *Colletotrichum* sp.

Este género se caracteriza por desarrollar colonias de crecimiento relativamente rápidas, de coloración crema, naranja, blanca o gris, dependiendo de la especie, el medio de cultivo, y el tiempo de incubación (Aguilar *et al.*, 2021).

Microscópicamente, *Colletotrichum*, produce conidios hialinos y unicelulares, con forma ovalada o cilíndrica. Éstos se originan sobre conidióforos cortos, simples y erectos agrupados en estructuras fructíferas llamadas acérvulos, las cuales se desarrollan inicialmente debajo de la epidermis y atraviesan la superficie de los tejidos de la planta, presentan forma circular y aplanada con una consistencia cerosa (Quispe, 2021).

***Colletotrichum* como agente causal de la antracnosis en arveja**

a. Sintomatología

La enfermedad inicia con la aparición de pequeñas manchas oscuras en hojas, tallos o frutos. Las hojas muestran manchas irregulares de color ladrillo, los tallos presentan lesiones en los nudos que pueden causar su deformación, estas lesiones se extienden y profundizan y en casos severos causan la muerte de la planta, en las vainas provoca lesiones oscuras y hundidas, circulares elipsoidales, con grandes cantidades de esporas formando masas compactas de color salmón, naranja o rosadas, las semillas pueden verse afectadas a través de las vainas infectadas (Astete *et al.*, 2021).

b. Epidemiología

Esta enfermedad prospera en condiciones ambientales específicas, como alta humedad relativa (mayor al 90%), precipitaciones continuas y temperaturas moderadas entre 20 y 25 °C. Además, la práctica del monocultivo crea un ambiente propicio para la proliferación del patógeno y el desarrollo severo de la antracnosis (Astete *et al.*, 2021).

c. Diseminación

El patógeno se propaga a través de las semillas infectadas y los restos de cosecha. Las semillas permiten una dispersión a larga distancia, mientras que las ascosporas son dispersadas por el viento (Chilvers, 2009).

2.3.4. *Streptomyces* sp.

Es el género más extenso y representativo de las Actinobacterias, que engloba aproximadamente 500 especies descritas. Se encuentran distribuidas ampliamente en ecosistemas terrestres y acuáticos, sin embargo, predominan en suelos ricos en materia orgánica, en la rizósfera y en restos vegetales; la mayoría de sus especies forman estructuras reproductivas en los extremos de las hifas aéreas (Lino, 2022). El género *Streptomyces* se caracteriza por su capacidad para establecerse en la rizósfera y contribuir al control de microorganismos fitopatógenos; además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal, sideróforos, promover la nodulación y ayudar a los bacteriodes de *Rhizobium* sp. a la fijación de nitrógeno en leguminosas, contribuyendo indirectamente al desarrollo del vegetal (Leiva, 2019).

Clasificación taxonómica

(Aponte, 2011) reporta la siguiente clasificación taxonómica:

Dominio: Bacteria

Phylum: Actinobacteria

Clase: Actinobacteria

Orden: Actinomycetales

Suborden: Streptomycineae

Familia: Streptomycetaceae

Género: *Streptomyces*

Especie: *Streptomyces* spp.

Características morfológicas y fisiológicas

Son actinobacterias Gram positivas, aerobias estrictas, inmóviles, caracterizadas por presentar un elevado contenido de guanina y citocina (G+C) en su ADN, además

posee un cromosoma lineal de gran tamaño (Lino, 2022). Presenta un crecimiento filamentosos, formando hifas ramificadas de aproximadamente 0,5 - 2,0 μm de diámetro. Estas hifas constituyen un el micelio vegetativo que penetra el suelo o medio de cultivo para la absorción de nutrientes y conforme avanza su ciclo de desarrollo, estas hifas se lisan para formar el micelio aéreo, caracterizado por presentar hifas de mayor tamaño y formar cadenas de esporas, responsables de la reproducción. Este género, habita principalmente en suelos semi áridos, con un pH ligeramente alcalino y temperaturas que oscilan entre 25°C y 30°C (Osorio, 2022). Fisiológicamente, estas actinobacterias presentan procesos de diferenciación celular a lo largo de su ciclo de vida. Ante condiciones ambientales desfavorables, pueden permanecer en estado de latencia mediante la formación de esporas, hasta que factores como la humedad, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes resulten adecuados para su desarrollo. Bajo condiciones ambientales favorables, las esporas germinan y desarrollan el micelio vegetativo, seguido del crecimiento de la colonia y la formación del micelio aéreo. Posteriormente, cuando los nutrientes del medio se reducen, las hifas se fragmentan y generan nuevas cadenas de esporas, favoreciendo así la permanencia y propagación del microorganismo (Osorio, 2022).

Una característica principal de *Streptomyces* es su capacidad para sintetizar metabolitos secundarios bioactivos, entre ellos antibióticos, compuestos antifúngicos, sideróforos, enzimas hidrolíticas y sustancias promotoras del crecimiento vegetal (Lino, 2022).

Compuestos bioactivos producidos por *Streptomyces* sp.

Los metabolitos secundarios producidos por microorganismos constituyen una fuente importante de compuestos con estructuras químicas únicas y una marcada actividad biológica (Condori *et al.*, 2019). Las actinobacterias presentan diversas características fisiológicas y metabólicas, como su capacidad de producir enzimas extracelulares y una amplia diversidad de metabolitos secundarios. La versatilidad metabólica de las actinobacterias se refleja en la amplia variedad de compuestos bioactivos que producen, muchos de los cuales han sido aislados y utilizados en la producción de medicamentos y en aplicaciones agrícolas (Díaz, 2022).

Entre los compuestos bioactivos producidos por los microorganismos, destacan las sustancias con actividad antagónica, particularmente los antibióticos. El 70% de los antibióticos utilizados actualmente son de origen natural, incluyendo grupos importantes, como los aminoglucósidos, penicilinas y tetraciclinas. De los aproximadamente 140 géneros de actinobacterias descritos, solo un número reducido participa en la producción de más de 10 000 compuestos bioactivos, de

los cuales cerca del 75% son sintetizados por especies del género *Streptomyces* (Bautista, 2016).

Beneficios de *Streptomyces* sp. en la agricultura

Las actinobacterias del género *Streptomyces* se encuentran distribuidas en diversos ecosistemas naturales, tanto terrestres como acuáticos de agua dulce y marinos. En el suelo forman parte importante de la comunidad microbiana, donde desempeñan funciones esenciales en la degradación y mineralización de materia, además de producir compuestos bioactivos, entre ellos fitohormonas como auxinas y giberelinas, que promueven el desarrollo y crecimiento vegetal (Condori-Pacsi, 2019). Además de promover el crecimiento vegetal, *Streptomyces* sp. contribuye a la protección de las plantas frente a distintos patógenos, por mecanismos directos como la solubilización de minerales y producción de fitohormonas y mecanismos indirectos, entre ellos la producción de antibióticos y enzimas capaces de degradar la pared celular, la competencia por nutrientes y los mecanismos de resistencia de la planta (Osorio, 2022).

Gracias a su elevada capacidad para sintetizar metabolitos secundarios, el género *Streptomyces* ocupa un lugar destacado entre los microorganismos de interés agrícola. Numerosos compuestos producidos por estas bacterias han sido desarrollados y comercializados como productos agroquímicos, debido a sus propiedades antimicrobianas y biocontroladoras. Es por ello que este grupo de actinobacterias, son utilizados como bactericidas, herbicidas, fungicidas, insecticidas y acaricidas (Leiva, 2019).

Actividad antifúngica de *Streptomyces* sp.

Las especies del género *Streptomyces* producen una gran diversidad de metabolitos con propiedades antifúngicas, antibacterianas, antihelmínticas, inmunosupresoras y anticancerígenas. Los metabolitos derivados de este metabolismo secundario presentan una amplia diversidad estructural y pueden sintetizar moléculas como β -lactámicos, péptidos, polipéptidos y pirroles (Lino, 2022).

La capacidad antagonista de *Streptomyces* está relacionada, en parte, con la producción de metabolitos capaces de limitar el desarrollo de otros microorganismos. Asimismo, estos actinomicetos sintetizan enzimas extracelulares como quitinasas, proteasas, amilasas, lipasas y celulasas, que intervienen en la degradación de diferentes componentes de la materia orgánica. Esta capacidad metabólica favorece su competencia por los nutrientes disponibles y puede generar interacciones antagónicas frente a otros microorganismos, incluidos hongos, nematodos y bacterias (Díaz, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del lugar

a. Ubicación política

El distrito de Socos, se encuentra ubicado en la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

b. Ubicación geográfica

Localizado a 3 400 m.s.n.m, en las coordenadas geográficas 13°12'39" latitud sur y 74°17'15" latitud Oeste. Con una extensión territorial de 81,75 kilómetros cuadrados, el distrito está conformado por 32 comunidades rurales y un área urbana dividida en cuatro barrios y el centro poblado.

c. Límites

Se encuentra en límites con: el distrito de Vinchos y Chiara por el sur, San José de Ticllas y Ayacucho por el norte y con Distrito de Carmen Alto por el este.

3.2. Lugar de ejecución

El ensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Microbiología Ambiental, de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

3.3. Tipo de investigación

No experimental - descriptivo - transversal

3.4. Diseño de investigación

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones, teniendo un testigo por cada fitopatógeno y actinobacteria antagonista en cada tratamiento.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Todas las cepas nativas de *Streptomyces* spp. presentes en los suelos de cultivos de *Pisum sativum*, así como los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. asociados a plantas de arveja con síntomas de marchitez vascular y antracnosis.

3.5.2. Muestra

Estuvo conformada por cinco cepas nativas de *Streptomyces* spp. previamente seleccionadas y dos cepas de hongos fitopatógenos, una de *Fusarium* sp. y otra de *Colletotrichum* sp. aisladas de plantas de *Pisum sativum* con síntomas de enfermedad.

3.6. Metodología

3.6.1. Aislamiento de las bacterias del género *Streptomyces*

a. Recolección de muestras del suelo.

La toma de muestra se realizó en 4 distintas parcelas de arveja del distrito de Socos, provincia de Huamanga. Para el muestreo se seleccionaron 5 puntos de cada área del cultivo, mediante el método 5 de oros (Infante y Zarate, 1990). Se retiró la capa superior del suelo, escarbando a una profundidad aproximada de 20 cm para llegar a la zona rizosférica y con ayuda de una cuchara estéril se recogió aproximadamente 200 g de cada punto del campo de cultivo, las muestras recolectadas fueron homogenizadas y colocadas en bolsas herméticas previamente rotuladas. Las muestras de suelo fueron trasladadas al Laboratorio de Microbiología Ambiental, donde posteriormente fueron procesadas (Ayala, 2019).

b. Aislamiento de *Streptomyces* spp.

A partir de las muestras obtenidas del suelo, se tamizó para obtener 10 g de muestra que fueron colocados en 90 mL de agua peptonada estéril y se agitó alrededor de 10 veces. Posteriormente se transfirió 1 mL de esa dilución a un tubo que contenía 9 mL de agua peptonada, realizando diluciones sucesivas hasta llegar a la dilución 10^{-4} y 10^{-5} . Luego se tomó 0,1 mL de cada dilución (10^{-4} y 10^{-5}) y se realizó una siembra por duplicado mediante diseminación sobre el medio agar avena y agar extracto de malta y levadura (gym), ambos suplementado con 100 mg/L de nistatina como agente antifúngico. Las placas se mantuvieron en incubación a una temperatura de 28°C durante 10 a 12 días (Condori *et al.*, 2019).

c. Selección de colonias

Se seleccionaron y aislaron las colonias que presentaron características morfológicas típica de actinobacterias, tales como una apariencia seca, aterciopelada, granulosa o pulverulenta. Las colonias seleccionadas fueron sembradas en agar extracto de malta y levadura suplementado con nistatina, se incubaron a 28°C por 10 días y luego se mantuvieron en viales para su conservación (Mateo, 2017).

d. Caracterización morfológica y microscópica

La diferenciación de los cultivos se realizó a partir de la evaluación de sus características morfológicas, considerando la forma, el tamaño, la textura, superficie,

borde y color de las colonias, además de la producción de pigmentos difusibles (Reyes, 2005). Por ello, se consideró la presencia de colonias adheridas al agar, de aspecto ceroso, polvoroso, con tonalidades que varían entre blanco, gris, colores tierra y negro; características propias de actinobacterias. La caracterización microscópica de las diferentes cepas se realizó mediante la técnica de microcultivo, utilizando como colorante de contraste al azul de lactofenol, se observó el micelio aéreo y vegetativo, la fragmentación micelial, agrupación de esporas y propágulos formados, comparándolas con las descripciones consignadas en el Manual de Determinación Bacteriológica de Bergey (Caro, 2016). A su vez se realizó la caracterización de las cepas mediante la coloración Gram, microscópicamente estos organismos presentan células bacilares y ramificadas que muestran una reacción Gram positiva. Tras la caracterización microscópica de las actinobacterias aisladas, se seleccionaron las cepas con características morfológicas del género *Streptomyces* para ser codificadas y conservadas en viales (Gutiérrez, 2017).

e. Selección de cepas de *Streptomyces* spp.

Se seleccionó cepas de *Streptomyces* spp. para el enfrentamiento contra los hongos fitopatógenos, considerando la velocidad de crecimiento y la producción de enzimas extracelulares, que se observan en forma de halos alrededor de la colonia (Caro, 2016).

f. Caracterización bioquímica

- **Prueba oxidasa**

La prueba fue realizada empleando el reactivo Kovac, con la finalidad de detectar la presencia de la enzima citocromo oxidasa presente en las actinobacterias. Para ello se aplicó una gota del reactivo Kovac sobre las colonias en el agar extracto de malta y levadura. La coloración violeta al añadir el reactivo indica un resultado positivo (Angulo, 2019).

- **Prueba catalasa**

La actividad catalasa se determinó colocando una pequeña cantidad de la colonia bacteriana sobre un portaobjetos mediante un asa estéril. Seguidamente, se adicionó una gota de H₂O₂ sobre la muestra. La aparición inmediata de burbujas se consideró indicativa de actividad catalasa por tanto, como una reacción positiva (Angulo, 2019).

3.6.2. Recolección y aislamiento de hongos fitopatógenos

a. Recolección de muestras vegetales

Se recolectaron vainas de arveja con signos y síntomas de la enfermedad de antracnosis, caracterizados por la presencia de lesiones de forma circular, ligeramente hundidas y de tonalidad anaranjada, con zonas más claras en el centro,

donde se desarrolla la fructificación del hongo (Astete *et al.*, 2021). A su vez se recolectó hojas y tallos de arveja con signos y síntomas de amarillamiento y marchitez foliar, asociado a la marchitez vascular. Las muestras obtenidas fueron envueltas en papel toalla, puestas en bolsas herméticas y llevadas al laboratorio de Microbiología Ambiental para su posterior procedimiento (Ayala, 2019).

b. Aislamiento de *Fusarium* sp.

Se seleccionaron tallos y raíces de arveja con síntomas de marchitez vascular, para realizar pequeños cortes del material vegetal y se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 2% durante 2 minutos, posteriormente fueron enjuagados tres veces con agua destilada estéril y secados con papel filtro. Con ayuda de una pinza se tomó los trozos desinfectados y se sembró en agar papa dextrosa + cloranfenicol 100 mg/L y se incubó a 25°C x 5 días (Agrios, 2008). Pasado ese tiempo de incubación se seleccionó las colonias con características del género *Fusarium* para su posterior identificación morfológica mediante la técnica de microcultivo.

c. Aislamiento de *Colletotrichum* sp.

Se realizó mediante las siguientes técnicas:

- **Aislamiento por siembra directa a partir de estructuras fúngicas presentes en la superficie del vegetal (signos)**

Con ayuda un asa de Kolle en forma de gancho se recolectó una pequeña porción de la estructura fúngica (signo), presente en las vainas de arveja y se sembraron por puntura sobre placas con el medio agar papa dextrosa + cloranfenicol 100 mg/L y fueron incubadas a 25°C x 7 días. Pasado ese tiempo se realizó el microcultivo para su identificación morfológica.

- **Aislamiento a partir de muestras con síntomas de la enfermedad**

A partir de las vainas de arveja con síntomas de antracnosis se realizó pequeños cortes del material vegetal y se desinfectaron en hipoclorito de sodio al 2% durante 2 minutos, posteriormente fueron enjuagados tres veces con agua destilada estéril y secados con papel filtro. Con ayuda de una pinza se colocaron los trozos desinfectados sobre agar papa dextrosa suplementado con 100 mg/L de cloranfenicol, las placas fueron incubadas a 25°C x 7 días (Agrios, 2008). Pasado ese tiempo de incubación se seleccionó las colonias con características del género *Colletotrichum* para su identificación morfológica mediante la técnica de microcultivo.

- **Aislamiento mediante cámara húmeda.**

Se seleccionaron las vainas con síntomas de antracnosis para ser desinfectadas en hipoclorito de sodio al 2%, luego se realizaron tres enjuagues

con agua destilada estéril, y se procedió a secar con papel filtro. Posteriormente, las vainas fueron depositadas en placas Petri estériles, las cuales fueron introducidas en recipientes previamente desinfectados que contenían una pequeña cantidad de agua destilada estéril, para crear el ambiente húmedo. Estos recipientes se mantuvieron cerrados e incubados a temperatura ambiente durante un periodo de 5 a 7 días. Pasado el tiempo de incubación, se realizó la observación microscópica de las estructuras reproductivas para su identificación (Grados, 2024).

3.6.3. Obtención de los fitopatógenos en tapete y block de gelosa.

Para la obtención del inóculo de los fitopatógenos se realizó la cosecha de esporas de cada hongo aislado, *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., con ayuda de un hisopo estéril en 2 mL de solución salina fisiológica (SSF). Posteriormente, la suspensión obtenida se sembró sobre las placas con medio APD, con ayuda de un hisopo estéril en tres direcciones, para favorecer el crecimiento uniforme (tapete). Las placas fueron llevadas a incubación a 25°C por 7 días. Una vez concluido el período incubación, se obtuvieron bloques de agar de 5mm de diámetro con ayuda de un sacabocado estéril, para la prueba de enfrentamiento dual (Gamboa, 2013).

3.6.4. Prueba de antagonismo en placa mediante el enfrentamiento dual

La prueba de antagonismo *in vitro* de *Streptomyces* spp. frente a los los fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. se evaluó mediante la técnica de enfrentamiento dual, siguiendo el procedimiento descrito por Leiva (2019). Para ello, cada cepa de *Streptomyces* spp. fue inoculada masivamente en uno de los extremos de placas que contenían medio APD. Las placas se incubaron a 28 °C por un periodo de siete días, al culminar la incubación, se colocó un bloque de gelosa con el tapete micelial de *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., al otro extremo de cada placa y fueron llevadas nuevamente a incubación a 28°C por 7 días más. Para el control, se sembró un bloque de gelosa de *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. en placas con medio APD sin inocular con *Streptomyces* spp., las cuales se incubaron bajo las mismas condiciones de temperatura y tiempo, con el propósito de comparar el crecimiento normal de los fitopatógenos en ausencia del antagonista (Leiva, 2019).

El porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) se determinó usando la fórmula:

$$\text{PIRC (\%)} = (\text{Dc} - \text{Dt} / \text{Dc}) \times 100$$

Donde:

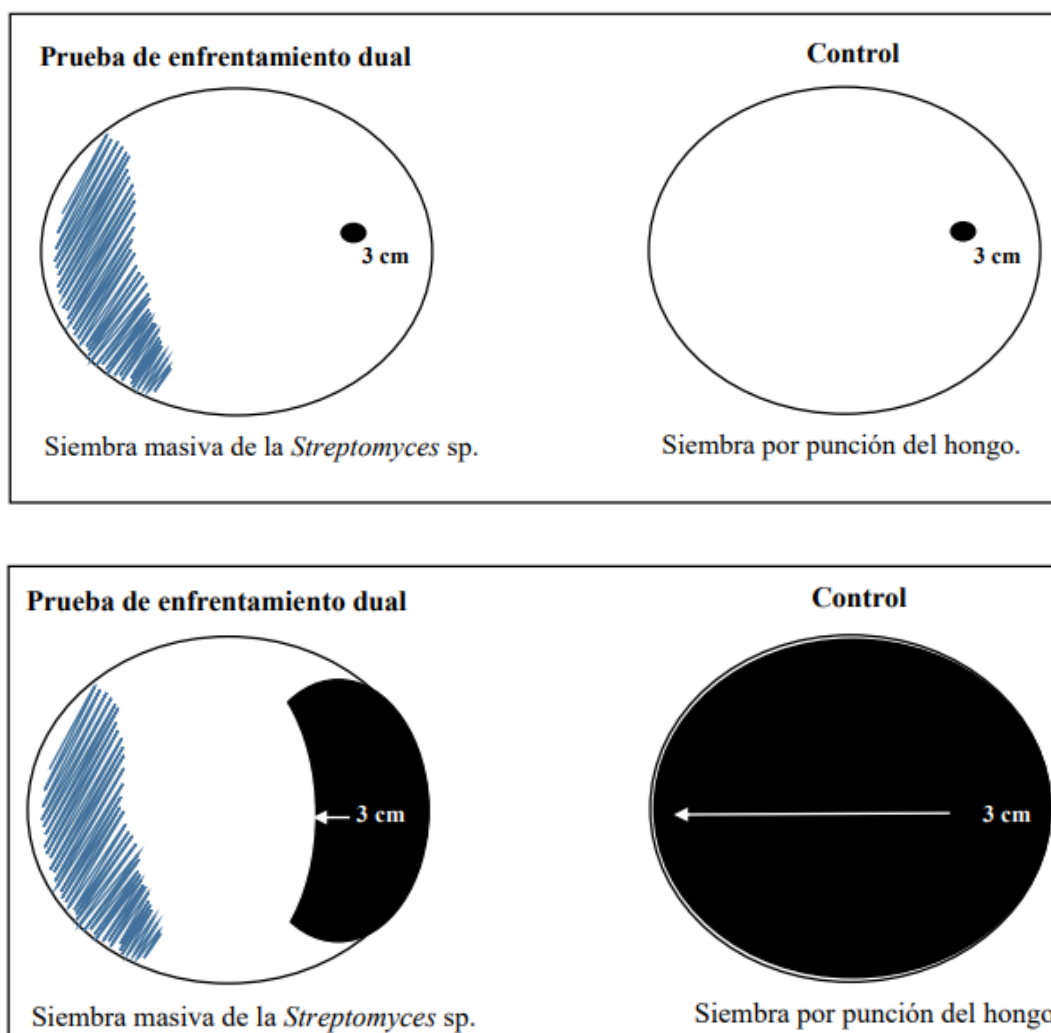
PIRC= Rango de inhibición (%),

Dc= Diámetro de control negativo (mm) y

Dt= Diámetro de tratamiento o control positivo.

Figura 1

Esquema de la prueba de enfrentamiento dual de Streptomyces spp. contra Fusarium sp. y Colletotrichum sp. para la evaluación del porcentaje de inhibición (Leiva, 2019).



3.6.5. Obtención del compuesto bioactivo

Se seleccionó la cepa de *Streptomyces* sp. que presentó la mayor capacidad antagónica para la obtención de extractos orgánicos. La cepa seleccionada fue inoculada en matraces Erlenmeyer de 500 mL, cada uno con 200 mL de caldo peptona - extracto de levadura, y posteriormente incubada a temperatura ambiente en un agitador orbital a 250 rpm durante ocho días. Finalizado este periodo, los cultivos fueron centrifugados a 4 000 rpm durante 30 minutos, con el propósito de

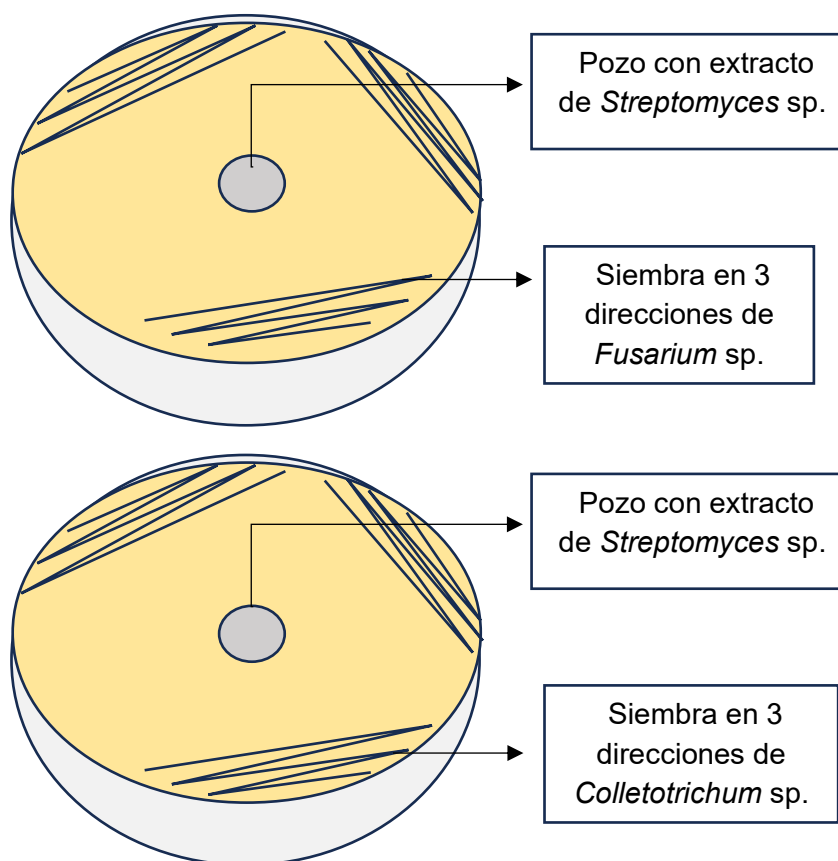
separar el sobrenadante, en el cual se encuentran los metabolitos extracelulares producidos por *Streptomyces* sp.(Gutiérrez, 2017).

3.6.6. Prueba *in vitro* del compuesto bioactivo de *Streptomyces spp* frente a *Fusarium sp.* y *Colletotrichum sp.*

Para la evaluación y comparación de la actividad antagónica, se usó el método de difusión en pozo (método modificado de Kirby - Bauer), Para ello se utilizó placas con medio APD y se realizó la siembra masiva del fitopatógeno, en tres direcciones con un hisopo estéril. Luego se realizó un pozo en el centro con ayuda de un sacabocado estéril de 4 mm y se colocó el compuesto bioactivo obtenido de la cepa de *Streptomyces* sp. seleccionada por su mayor porcentaje de inhibición en el ensayo de enfrentamiento dual. Dicho procedimiento se hizo por triplicado con ambos fitopatógenos y se incubó a 25°C por 5 días. Pasado el tiempo de incubación, se observó y midió los halos presentados.

Figura 2

Esquema de metodología de difusión por pozos para determinar el porcentaje de inhibición del compuesto de *Streptomyces* spp. frente a *Colletotrichum* sp. y *Fusarium* sp.



3.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las pruebas de enfrentamiento dual y difusión por pozo, se procesaron en el software estadístico GraphPad Prism Versión 10.6.1 para la obtención de tablas y gráficos de barras. La normalidad de los datos del porcentaje de inhibición (PIRC) se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, así mismo los datos fueron evaluados mediante el programa estadístico de varianza ANOVA y se realizó la prueba de comparación de medias TUKEY ($p < 0,05$) (Leiva, 2019).

IV. RESULTADOS

Tabla 1

Relación de hongos fitopatógenos y actinobacterias antagonistas aisladas.

Microorganismo	Código de cepa	Origen de aislamiento
Fitopatógenos		
<i>Fusarium</i> sp.	F-1	Tallos y raíces de arveja
<i>Colletotrichum</i> sp.	C-1	Vainas de arveja
Antagonistas		
<i>Streptomyces</i> sp.	S-3	Suelo de cultivos de arveja (suelo rizosférico)
<i>Streptomyces</i> sp.	S-9	Suelo de cultivos de arveja (suelo a granel)
<i>Streptomyces</i> sp.	S-11	Suelo de cultivos de arveja (suelo rizosférico)
<i>Streptomyces</i> sp.	S-17	Suelo de cultivos de arveja (suelo rizosférico)
<i>Streptomyces</i> sp.	S-26	Suelo de cultivos de arveja (suelo rizosférico)

Tabla 2

Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp. aislados de Pisum sativum "arveja"

Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC)					
Ensayo	S-3	S-9	S-11	S-17	S-26
1	33,6	51,5	52,8	60,4	55,3
2	41,3	47,7	54,0	66,8	63,0
3	37,4	43,8	56,6	57,9	56,6
Media $\pm$ DE	37,4 $\pm$ 3,9	47,7 $\pm$ 3,9	54,5 $\pm$ 1,9	61,7 $\pm$ 4,6	58,3 $\pm$ 4,1

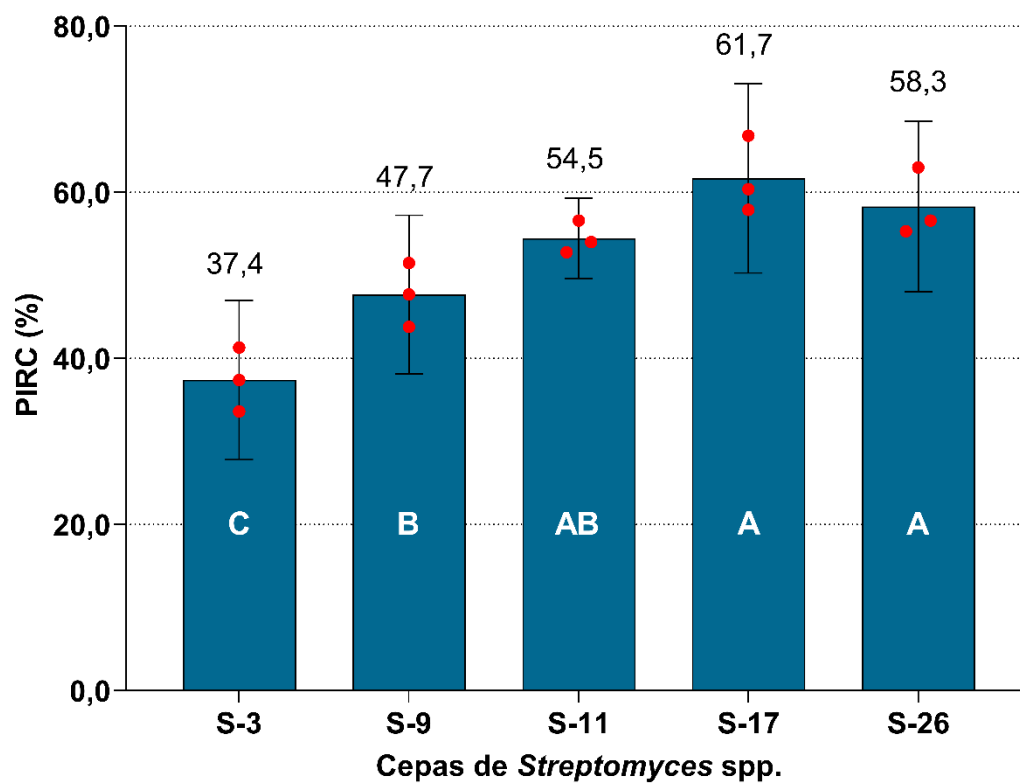
Tabla 3

Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp. aislados de Pisum sativum "arveja"

Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC)					
Ensayo	S-3	S-9	S-11	S-17	S-26
1	52,4	52,4	63,9	63,9	60,1
2	43,3	58,8	65,2	61,4	49,8
3	39,5	47,2	57,5	62,7	61,4
Media $\pm$ DE	45,1 $\pm$ 6,6	52,8 $\pm$ 5,8	62,2 $\pm$ 4,1	62,7 $\pm$ 1,3	57,1 $\pm$ 6,4

Figura 3

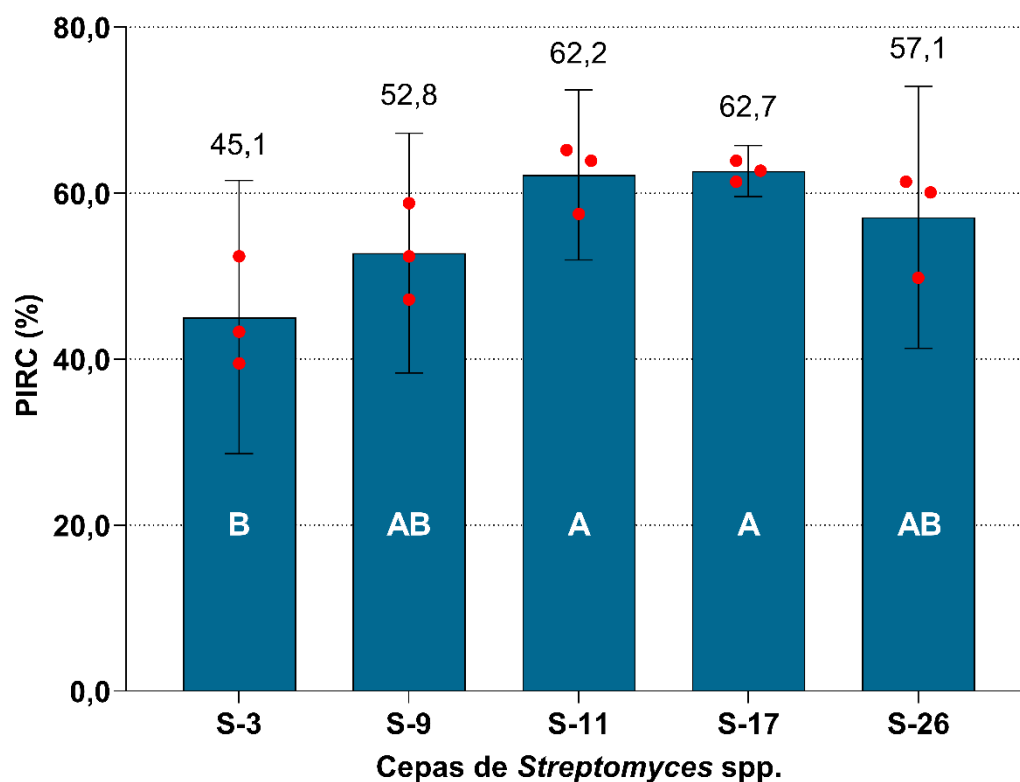
Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp. aislados de Pisum sativum "arveja"



Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Se basa en las medias observadas. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 4

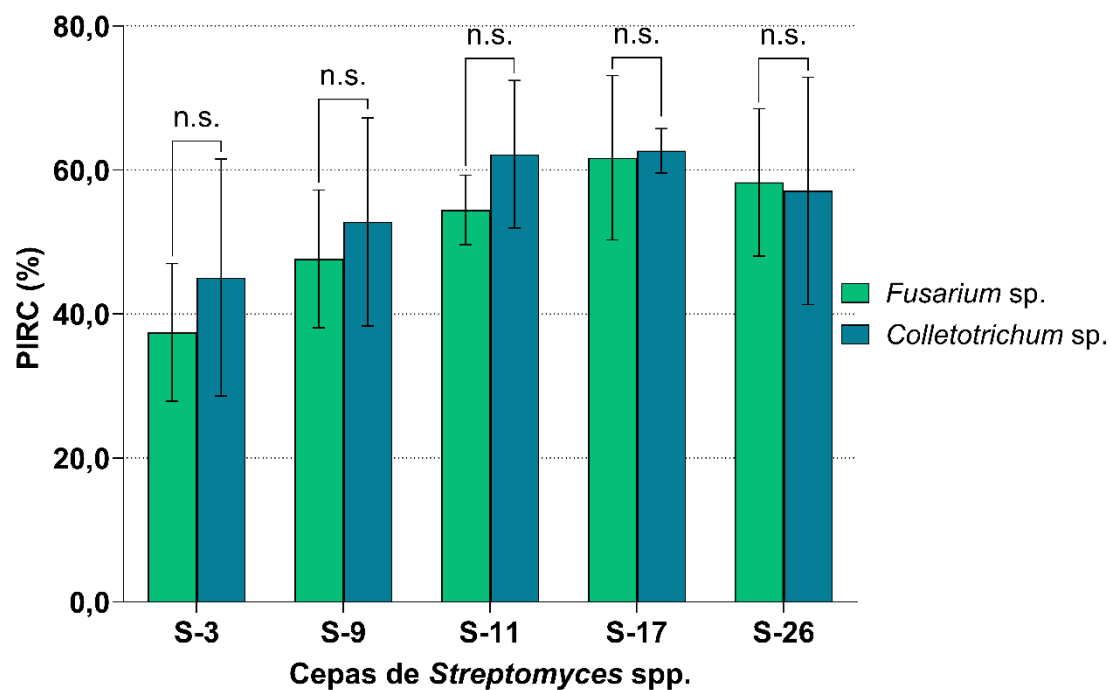
Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp. aislados de Pisum sativum "arveja"



Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Se basa en las medias observadas. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 5

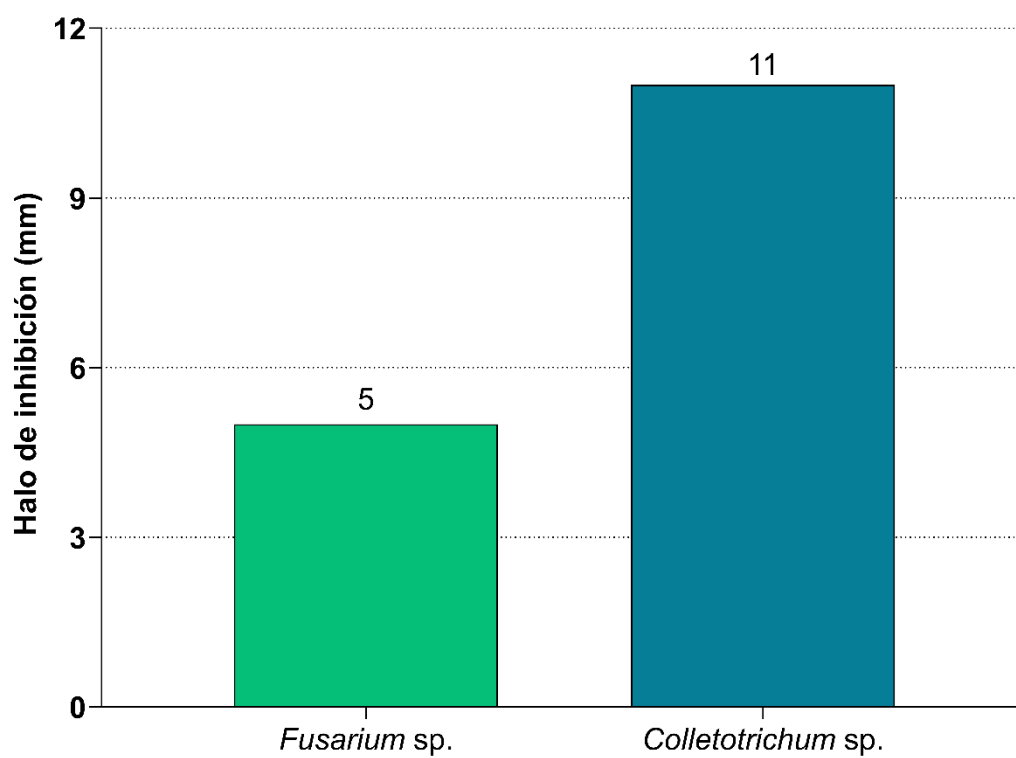
Porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp. y Colletotrichum sp. aislados de Pisum sativum "arveja"



Nota. Prueba de comparaciones por parejas con ajuste de Bonferroni. n.s: no significativo ($p \geq 0,05$). Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Figura 6

Diámetro de los halos de inhibición obtenidos por el compuesto bioactivo de la cepa S-17 de Streptomyces sp. frente a Fusarium sp. y Colletotrichum sp. aislados de Pisum sativum "arveja"



V. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se logró aislar 30 cepas de actinobacterias a partir de muestras de suelo provenientes de cultivos de *P. sativum* “arveja” localizados en el distrito de Socos. La tabla 1, muestra la relación de cepas de *Streptomyces* spp. aisladas de suelos de cultivos de arveja, los resultados evidenciaron una mayor frecuencia de aislamiento en la zona rizosférica en comparación con otras áreas del suelo, estos resultados coinciden con lo mencionado por Mateo (2017), quien señala que las actinobacterias son consideradas como habitantes del suelo de vida libre, sin embargo, la rizosfera es la zona de mayor importancia por contener mayor carga microbiana. Condori *et al.* (2019), por su parte, menciona que los microorganismos rizosféricos desempeñan un papel beneficioso en la interacción entre el suelo y la planta, debido a que contribuye en la germinación de semillas, estimulan el crecimiento de raíces, incrementan la disponibilidad y el aporte de nutrientes, promueven el crecimiento vegetal, contribuyen al mejoramiento de la estructura del suelo y brindan protección a las plantas frente a fitopatógenos. Del mismo modo, Caro (2016), manifiesta que las actinobacterias presentan una relación con las plantas, debido a la alta disponibilidad de nutrientes liberados por las raíces de las plantas mediante exudados radiculares que favorecen el crecimiento y la producción de metabolitos con capacidad antimicrobiana, los cuales contribuyen a proteger las raíces de las plantas frente a la colonización e invasión de determinados fitopatógenos. Esto explicaría por qué la zona rizosférica es la más ideal para el aislamiento de cepas con capacidad antagonista en comparación con otras zonas del suelo.

A pesar de la existencia de diversos microorganismos pertenecientes al grupo de las actinobacterias en el suelo, los procedimientos de aislamiento han permitido determinar que aproximadamente el 90% corresponden al género *Streptomyces* (Gutiérrez, 2017). De las 30 cepas de actinobacterias aisladas, 26 evidenciaron tener características morfológicas compatibles con el género *Streptomyces*, como el crecimiento en medios de cultivo sólidos como colonias de aspecto seco,

pulverulento y pigmento difusible variado (McDowell, 2010), además la observación microscópica de la coloración Gram y el microcultivo evidenció la presencia de bacterias Gram positivas filamentosas con terminaciones curvadas con esporas alrededor, la fragmentación del micelio aéreo y la formación de cadenas de conidios con morfología bacilar en disposición de espiral o rectiflexibles, características propias de las actinobacterias del género *Streptomyces* (Reyes, 2005). Adicional a ello los microorganismos de este género presentaron una característica distintiva, que fue el olor a tierra húmeda, asociado a la producción de un metabolito llamado geosmina (Quispe, 2021).

En el anexo 5 y 6, se puede apreciar las observaciones macroscópicas y microscópicas de las cepas evaluadas. La caracterización morfológica, además de las pruebas bioquímicas, evidenciaron que las 5 cepas seleccionadas para el enfrentamiento antagónico, son pertenecientes al género *Streptomyces*. Resultados similares obtuvieron Gorrín López (2018) quien realizó la caracterización genética por secuenciación del gen del ARNr16S de 20 cepas de actinobacterias aisladas de diferentes tipos de suelo. Dichas cepas fueron previamente identificadas, con base en sus características morfológicas microscópicas, como *Streptomyces* spp.; posteriormente, el análisis molecular confirmó que 19 de ellas pertenecían al género *Streptomyces*. Por su parte, Melquiades *et al.* (2025), aisló actinobacterias con actividad antifúngica de muestras de suelo, seleccionando 12 cepas de actinobacterias con características morfológicas y microscópicas del género *Streptomyces* para su identificación molecular, teniendo como resultado que todas las cepas evaluadas eran pertenecientes al género *Streptomyces*. Así mismo Condori *et al.* (2019) aisló 11 actinobacterias de la rizosfera de *Stevia* sp. que fueron caracterizadas según su morfología y bioquímica como *Streptomyces* spp., además de ser procesadas por la amplificación por PCR del gen ARNr 16S; obteniendo como resultado que las cepas evaluadas presentaron una similitud del 99% con *Streptomyces novaecaesareae*, *Streptomyces aureus* y *Streptomyces cirratus*. Las demás cepas evidenciaron porcentajes de similitud comprendidos entre 98 % y 99 % con otras especies del género *Streptomyces*, cuya identificación aún no ha sido determinada. La concordancia entre las identificaciones fenotípicas y moleculares reportadas por estos autores validan nuestros resultados obtenidos sobre la identificación de las 5 cepas de estudio como el género *Streptomyces*; reconociendo a este género como el grupo más importante y abundante de las actinobacterias del suelo.

De igual manera, la tabla N° 01 presenta el origen de procedencia de los hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. , el aislamiento de estos patógenos

a partir de tejidos afectados confirma su asociación con las enfermedades observadas en *P. sativum* y coincide con lo reportado por Astete *et al.* (2021) quien señala que los géneros *Fusarium* y *Colletotrichum* son reconocidos por causar enfermedades como la marchitez vascular y la antracnosis, respectivamente, que ocasionan una disminución en el rendimiento y afectan la calidad del cultivo de arveja, ocasionando pérdidas económicas significativas. Así mismo, Eraso *et al.* (2014) menciona que el amarillamiento, la marchitez vascular y pudrimiento radicular en la arveja está asociada a *Fusarium oxysporum*, que afecta las raíces, tallos y hojas de la planta en etapas cercanas a la floración. La identificación del género *Fusarium* se basa principalmente en sus características morfológicas, como la presencia de macro y microconidios, además de la apariencia, forma y pigmentación de las colonias (Camacho *et al.*, 2019). Alvarado (2016) menciona que *Fusarium oxysporum*, asociado a la marchitez vascular, presentan colonias de apariencia algodonosa de color blanquecino a rosado, además de estructuras microscópicas típicas como hifas septadas y presencia de macroconidios de forma falcada o ligeramente curvada. Estas características son similares a las observadas en nuestro estudio; la cepa de *Fusarium* sp. aislada presentó una colonia blanquecina, con crecimiento rápido de aspecto algodonoso, asimismo, el análisis microscópico mostró hifas septadas y macroconidios de forma falcada y microconidios hialinos, de forma ovoide a elipsoide. En cuanto a *Colletotrichum* sp., Aguilar *et al.* (2021) señala que la antracnosis en la arveja generada por este género se manifiesta como manchas necróticas en las vaina, de forma circular, oblongas y hundidas, con márgenes oscuros y la formación de pequeños acérvulos que producen conidios de coloración salmón, además de manchas irregulares de color marrón en las hojas. Los resultados obtenidos del aislamiento de *Colletotrichum* sp. de manchas necróticas, desarrolló colonias algodonosas de tono naranjo, tomando un color gris oscuro con el paso del tiempo, la caracterización microscópica mostró hifas septadas, apresorios de forma circular y conidios unicelulares de forma cilíndrica, estas características han sido señaladas por distintos autores como Almaraz *et al.* (2019) y Aguilar *et al.* (2021) esenciales para identificación de *Colletotrichum* sp.

En la tabla 2, se muestra el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) obtenidos por la técnica de enfrentamiento dual de *Streptomyces spp.* frente a *Fusarium* sp. Se observó que las cinco cepas evaluadas ejercieron un grado de inhibición positiva sobre *Fusarium* sp., registrándose porcentajes de inhibición que varían entre 37,4 % y 61,7%; siendo la cepa S-17 la que presento mayor actividad antagónica con un valor de 61,7%. Estos resultados son comparables a los

reportados por Rios *et al.* (2021), quienes enfrentaron 22 cepas de *Streptomyces spp.* contra *Fusarium oxysporum* y registraron porcentajes de inhibición comprendidos entre 40% y 70%, evidenciando resultados de inhibición de este fitopatógeno similares a nuestro estudio. De igual manera Rodríguez (2023), evaluaron 4 cepas de *Streptomyces spp.* contra *Fusarium solani*, obteniendo porcentajes de inhibición entre 39,5% y 72% al enfrentar 4 cepas de *Streptomyces spp.* Así mismo Osorio (2022), determinó la actividad antifúngica de 6 cepas de *Streptomyces spp.* contra el hongo *Fusarium oxysporum*, registrando rangos de inhibición de 39,2 a 57,5%.

Caro (2016), por su parte, obtuvo porcentajes de inhibición entre 10,1% y 66,7% al evaluar 49 cepas de *Streptomyces spp.* contra *Fusarium sp.*, la amplitud de este rango de podría atribuirse al mayor número de aislamientos evaluados, Caro realizó el enfrentamiento con todas sus cepas obtenidas, lo que incrementa la variabilidad en el efecto antagonista de las cepas. Mientras que en el estudio se seleccionaron 5 cepas previamente caracterizadas por su mayor velocidad de crecimiento y la formación de halos, que podrían tener mayor capacidad antagónica frente a los fitopatógenos. Sin embargo, el máximo porcentaje de inhibición reportado por Caro (66,7%) es similar a nuestro resultado obtenido (61,7%). Así mismo, Medina *et al.* (2013) realizó los ensayos de antagonismo con 4 cepas de actinobacterias contra diversos fitopatógenos, obteniendo un 49,36% de inhibición contra *Fusarium sp.* Los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con investigaciones que evaluaron otros microorganismos antagonistas frente a *Fusarium sp.*, tal es que Alvarado (2016) evaluó el control biológico de *Pseudomonas putida* sobre *Fusarium sp.* obteniendo 44,6% de inhibición. Así mismo, Ayala (2019) obtuvo 61,1% de porcentaje de inhibición al enfrentar cepas de *Trichoderma spp.* contra este fitopatógeno. Al comparar estos resultados con los de nuestra investigación, podemos señalar que las cepas nativas de *Streptomyces spp.*, mostraron una elevada actividad antagónica frente a *Fusarium sp.*, considerado como un excelente antagonista.

La tabla 2, nos muestra las medias del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC), obtenidas por la técnica de enfrentamiento dual, de *Streptomyces spp.* frente a *Colletotrichum sp.* Los resultados evidenciaron que las cepas nativas de *Streptomyces spp.* evaluadas lograron una actividad antagonista positiva sobre *Colletotrichum sp.*, registrándose porcentajes de inhibición entre 45,1% y 62,8%. Los resultados obtenidos son comparables con los registrados por otros autores como Medina *et al.* (2013), quien realizó ensayos de antibiosis con cuatro cepas de actinomicetos seleccionados contra distintos hongos fitopatógenos, obteniendo

niveles de inhibición de 38,8% a 61,57% frente al hongo *Colletotrichum* sp., siendo este, el fitopatógeno que presentó mayor susceptibilidad en comparación con otros hongos y fue inhibido en 61,57%. Estos resultados son similares a los nuestros, puesto que las cinco cepas evaluadas obtuvieron mayores porcentajes de inhibición contra *Colletotrichum* sp. en comparación a *Fusarium* sp. De manera similar Leiva (2019), quien enfrentó 5 cepas de *Streptomyces* spp contra *Colletotrichum* sp. mediante el método de enfrentamiento dual y registró porcentajes de inhibición que oscilaron entre 29% y 92%, alcanzando valores máximos de 88% y 92%. Así mismo, Quispe (2021) reportó porcentajes de inhibición de crecimiento radial superiores a 69,89%, en ensayos de enfrentamiento dual de cinco cepas de *Streptomyces* spp. frente a *Colletotrichum* spp., alcanzando una inhibición máxima de 91,31%; valores más elevados que los de nuestra investigación. Del mismo modo Ríos & Evangelista (2025) evaluaron la capacidad antifúngica de *Streptomyces* sp. GCAL-9 frente dos especies de *Colletotrichum* y los resultados demostraron que *Streptomyces* sp. GCAL-9 inhibió a *Colletotrichum* musae en 54% y a *Colletotrichum* siamense en 94%. Por su parte, Mendoza *et al.* (2020) evaluó la capacidad antagónica *in vitro* de 25 cepas nativas de *Streptomyces* spp. contra *Colletotrichum* sp., evaluando de forma cuantitativa por medio del registro diario del crecimiento de los organismos confrontados, obteniendo porcentajes de inhibición de 36,6 a 100,0%. Los resultados obtenidos por estos autores demuestran la amplia variabilidad en la actividad antagónica de las distintas cepas de *Streptomyces* spp. contra *Colletotrichum* sp.

A partir de los resultados obtenidos mediante los ensayos de enfrentamiento dual, se seleccionó la cepa S 17 por su alta capacidad inhibitoria frente a *Fusarium* sp. (61,7%) y *Colletotrichum* sp. (62,8%), para obtener su compuesto bioactivo y evaluar la actividad antifúngica de sus metabolitos extracelulares, utilizando el método de difusión en pozo. Los resultados de la figura N° 05 evidencian que el compuesto bioactivo obtenido de la cepa S-17 presentó una mayor capacidad inhibitoria frente a *Colletotrichum* sp. , registrándose halos de inhibición de 11 mm de diámetro; mientras que sobre *Fusarium* sp, solo una inhibición de 5 mm indicando una menor sensibilidad de este fitopatógeno a los metabolitos presentes en el compuesto; Caro (2016), reporta que la sensibilidad de los hongos fitopatógenos frente a los metabolitos producidos por *Streptomyces* sp. varía según la especie y los mecanismos de resistencia que presenten. Al comparar los resultados obtenidos, se observa que otros autores reportaron diámetros más amplios de halos de inhibición, tal es que, Pérez *et al.* (2015), al evaluar la actividad antifúngica correspondiente al extracto crudo obtenido con acetato de etilo a partir

de *Streptomyces* sp. contra *Fusarium* sp., obtuvieron halos de 18 mm de diámetro. Así mismo, Caro (2016) obtuvo el extracto con butanol de una cepa de *Streptomyces* y registró halos de inhibición de 12 mm de diámetro sobre *Fusarium* sp. Por su parte, Leiva (2019) evaluó los compuestos bioactivos de 5 cepas de *Streptomyces* sp. y reportó un porcentaje máximo de inhibición de 54%, equivalente a halos de 19 mm sobre *Colletotrichum* sp. De igual manera, Mateo (2017) señalan halos de inhibición de hasta 23 mm al obtener el extracto crudo de *Streptomyces* con etil acetato. Todos estos autores presentaron mayores resultados a los nuestros, estas diferencias pueden atribuirse a la metodología empleada para la obtención de compuestos bioactivos. En los estudios anteriormente mencionados, se utilizaron solventes orgánicos como acetato de etilo y butanol para la extracción de metabolitos secundarios de *Streptomyces*. Aponte *et al.* (2015) menciona que la extracción con solventes orgánicos favorece la concentración y purificación de compuestos con actividad antifúngica, incrementando su efecto inhibitorio sobre los fitopatógenos. En la presente investigación el compuesto bioactivo fue evaluado sin realizar la extracción mediante solventes orgánicos, disminuyendo la cantidad de metabolitos presentes durante el ensayo de difusión en pozo. No obstante, la formación de halos de inhibición frente a los fitopatógenos de estudio, demuestra la producción de compuestos con actividad antifúngica de la cepa S-17.

VI. CONCLUSIONES

1. Se logró aislar e identificar cepas nativas de *Streptomyces spp.* de suelos con cultivo de arveja, seleccionando 5 cepas por su actividad antagónica: S-3, S-9, S-11, S-17, S-26 las cuales fueron caracterizadas microscópicamente como *Streptomyces spp.*
2. Se aisló e identificó morfológicamente según sus características macroscópicas y microscópicas los hongos fitopatógenos *Fusarium sp.* y *Colletotrichum sp.*
3. Se determinó la capacidad antagónica de 5 cepas de *Streptomyces spp.* frente a *Fusarium sp.* y *Colletotrichum sp.* mediante el porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC), obteniendo valores mayor actividad antagónica de la cepa S-17, que alcanzo valores de 63% de inhibición contra *Colletotrichum sp.* y 62% contra *Fusarium sp.*
4. Se evaluó la actividad del compuesto bioactivo producido por *Streptomyces sp.* cepa S-17 frente a *Fusarium sp.* y *Colletotrichum sp.*, obteniendo halos de inhibición de 5 mm y 11 mm de diámetro respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de antagonismo con las otras cepas de *Streptomyces* spp. frente a *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp. y otros hongos fitopatógenos de importancia agrícola de nuestra localidad.
2. Complementar la identificación de las cepas aisladas de *Streptomyces* spp. y de los hongos fitopatógenos con herramientas moleculares para determinar la especie.
3. Obtener el compuesto bioactivo de *Streptomyces* spp. con solventes orgánicos, para una mayor separación y concentración de metabolitos secundarios y así obtener mejores resultados de inhibición.
4. Realizar ensayos en condiciones de invernadero y campo con las cepas ya evaluadas y que presentan mayor capacidad antagónica en cultivos de arveja.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abigail Gutierrez. (2017). Aislamiento, caracterización y evaluación de la capacidad antimicrobiana de actinomicetos asociados a hormigas cortadoras de hojas (Formicidae: Myrmicinae: Attini).
- Agrios, J. N. (2008). Fitopatología. Limusa. https://biblioteca.unapiquitos.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=24453&shelfbrowse_itemnumber=34149
- Aguilar, R., Rafael-Rutte, R., Martínez-Santos, H., Apaza-Apaza, S., Aguilar, R., Rafael-Rutte, R., Martínez-Santos, H., & Apaza-Apaza, S. (2021). Agente causal de la antracnosis en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en el norte de Perú: Sintomatología, aislamiento e identificación, patogenicidad y control. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 7-14. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.001>
- Almaraz, A., Ayala Escobar, V., Landero Valenzuela, N., Tlatilpa Santamaría, I. F., & Nieto Angel, D. (2019). First Report of *Colletotrichum truncatum* of *Solanum lycopersicum* in Mexico. *Plant Disease*, 103(7), 1782-1782. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-18-1809-PDN>
- Alvarado, M. H. (2016). Eficiencia del control biológico de *Fusarium* spp. Que causa pudrición radicular en arveja (*Pisum sativum* L.) mediante bacterias antagonicas.
- Angulo, J. A. L. (2019). Multiplicación de *Streptomyces* sp. Con propósitos de biocompostaje de subproductos de caña de azúcar. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17604>
- Aponte, J. J. (2011). Potencial antibacteriano de los metabolitos extracelulares producidos por el actinomiceto marino *Streptomyces* M10-77. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10672>
- Aponte Ubillus, J., León Quispe, J., Rojas Durán, R., Montero Trujillo, S., & Loayza Salazar, L. (2015). Actividad antimicrobiana y sinérgica de metabolitos producidos por *Streptomyces erythrogriseus* M10-77 de origen marino. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 35(1), 17-20.
- Astete, C. S., Marmolejo Gutarra, D., Torres Suárez, G., Munive Cerrón, R. V., Valverde Cadillo, A. A., & Gamarra Sánchez, G. (2021). Cultivo de Arveja. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7485>
- Ayala, E. F. Q. (2019). Efecto antagónico *in vitro* de cepas nativas de *Trichoderma* sp. Frente a los hongos fitopatógenos *Colletotrichum* sp. Y *Fusarium* sp. Ayacucho, 2018. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4477>
- Bautista Carrasco, P. P. (2016). Evaluación de la actividad antifúngica de actinomicetos marinos frente a cepas de *Candida* spp. Aisladas de hemocultivos—Lima, 2015. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1769>

- Bermejo, C. (2019). Caracterización de actinomicetos rizosféricos aislados de cultivos orgánicos de papa nativa *Solanum tuberosum*, L y evaluación de su actividad antagonista a *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/7692096c-c3dc-4021-9094-dc10323e8f2d>
- Camacho, M. Á. G., Ochoa-Meza, A., Moreno-Salazar, S. F., Meza-Moller, A. del C., Guzmán-Ortíz, J. M., Rentería-Martínez, M. E., Guerra-Camacho, M. Á., Ochoa-Meza, A., Moreno-Salazar, S. F., Meza-Moller, A. del C., & Guzmán-Ortíz, J. M. (2019). Descripción y comparación entre morfotipos de *Fusarium brachygibbosum*, *F. falciforme* y *F. oxysporum* patogénicos en sandía cultivada en Sonora, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(1), 16-34. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1808-1>
- Caro, C. J. (2016). Capacidad antagonista de actinomicetos aislados de la rizósfera de la papa (*Solanum tuberosum* sp. Andigena) para el control de hongos fitopatógenos de importancia agrícola. <https://renati.sunedu.gob.pe/item/019ed845-12af-7f0b-a44f-cbef5e92baf9>
- Caro Castro Jair. (2016). Capacidad antagonista de actinomicetos aislados de la rizósfera de la papa (*Solanum tuberosum* sp. Andigena) para el control de hongos fitopatógenos de importancia agrícola. Repositorio de Tesis - UNMSM. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/489292>
- Castillo, P. A., Cortés-Sánchez, L. R., Acero-Godoy, J., Castillo-Sanmiguel, P. A., Cortés-Sánchez, L. R., & Acero-Godoy, J. (2022). Aspectos moleculares de la marchitez vascular del jitomate (*Solanum lycopersicum*) por *Fusarium oxysporum* f. Sp. *Lycopersici* y del antagonismo por *Trichoderma* spp. *Revista mexicana de fitopatología*, 40(1), 82-102. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2106-1>
- Chilvers, A. (2009). Antracnosis de la Arveja (*Ascochyta* spp). Herbario Virtual Fitopatología. https://herbariofitopatologia.agro.uba.ar/?page_id=475
- Condori, S. J., Fernández-Guzman, P. R., Valderrama-Valencia, M. R., Condori-Pacsi, S. J., Fernández-Guzman, P. R., & Valderrama-Valencia, M. R. (2019). Aislamiento y caracterización de *Streptomyces* spp rizosféricos promotores del crecimiento vegetal. *Idesia* (Arica), 37(2), 109-116. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200109>
- Coto, G. R. (2009). Conceptos Introductorios a la Fitopatología. EUNED.
- Díaz, D. (2022). Evaluación del potencial efecto fungicida de cepas de *Streptomyces* sp. Para el control de hongos patógenos que afectan a *Cocos nucifera*. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/88ea7464-2693-4ee4-bfcc-5357bdf63c5f>
- Eraso Insuasty, C., Acosta Rodríguez, J., Salazar González, C., & Betancourth García, C. (2014). Evaluación de cepas de *Trichoderma* spp. Para el manejo del amarillamiento de arveja causado por *Fusarium oxysporum*. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(2), 237-249.

- Evangelista-Martínez, Z. (2014). Isolation and characterization of soil *Streptomyces* species as potential biological control agents against fungal plant pathogens. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(5), 1639-1647. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1568-x>
- Galeano, A. L. (2021). Evaluación de la producción de biofungicidas en *Streptomyces* spp. Aisladas de cultivos de papa para el control de hongos potencialmente patógenos en arroz. <https://doi.org/10.57784/1992/55383>
- Galindo, P., Julio. (2016). (PDF) Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. ResearchGate. https://doi.org/10.21930/rcta.vol10_num1_art:123
- Gamboa, M. (2013). Actividad antibacteriana de hongos y actinomicetos endofíticos de *Baccharis salicifolia* «chilca». Ayacucho 2009—2010. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5236>
- Gonzales, E. T. Q. (2018). Abonamiento orgánico e inoculación en el rendimiento de variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) Pampa del Arco – Ayacucho.
- Gorrín López, Y. (2018). Caracterización genética de actinomicetos aislados en suelos de Tenerife y evaluación de su potencial biotecnológico. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/9644>
- Grados, N. J. (2024). Antagonismo *in vitro* de *Trichoderma* spp. Frente a *Botrytis* sp. Y *Fusarium* sp., aislados de *Fragaria ananassa* “fresa”. Ayacucho—2022.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43-56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Infante, S. G., & Zarate, D. Iara G. (1990). Métodos estadísticos: Un enfoque interdisciplinario (2a ed). Trillas.
- Leiva, J. L. P. (2019). Identificación y evaluación *in vitro* del potencial antifúngico de cepa de *Streptomyces* spp. Aislada de suelo desértico contra *Colletotrichum* spp. Universidad Privada Antenor Orrego. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5513>
- Leslie, J., & Sumerell, B. (2006). Manual de laboratorio sobre *Fusarium*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470278376>
- Lino Navarro, M. D. (2022). Producción y evaluación de metabolitos antifúngicos excretados por el actinomiceto cepa MK-22 aislado de cultivos de vid con potencial utilidad como biopesticida. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19121>
- Mateo, C. E. T. (2017). Actinomicetos nativos de la rizosfera de *Solanum tuberosum* subespecie andigena con potencial actividad antagonista a *Pectobacterium carotovorum*. Repositorio de Tesis - UNMSM. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6865>
- McDowell, A. B. (2010). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, The actinobacteria. *Annals of Internal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68233-4>

- Medina, M. D. D., Gallegos Morales, G., Hernández Castillo, F. D., Ochoa Fuente, Y. M., & Flores Olivas, A. (2013). Actinomicetos antagónicos contra hongos fitopatógenos de importancia agrícola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(8), 1187-1196.
- Melquiades, A., Tellez, A., Mercado, Y., Ramirez-Vargas, R., & Anducho-Reyes, M. (2025). Aislamiento e identificación de actinomicetos asociados al suelo rizosférico de *Machaeranthera gypsophila* (Planta del yeso) con potencial actividad antagonista a microorganismos fitopatógenos. Isolation and identification of actinomycetes associated with the rhizospheric soil of *Machaeranthera gypsophila* (Gypsum plant) with potential antagonistic activity against phytopathogenic microorganisms. *Mexican Journal of Biotechnology*, 10, 1-24. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2025.10.2.1-24>
- Mendoza, Y. M., Rios-Velasco, C., Cambero-Campos, J., dios-Ávila, N. D., Pérez-Corral, D. A., Rodríguez-Guerra, R., Estrada-Virgen, M. O., Mendoza-Herrera, Y. M., Rios-Velasco, C., Cambero-Campos, J., dios-Ávila, N. D., Pérez-Corral, D. A., Rodríguez-Guerra, R., & Estrada-Virgen, M. O. (2020). Actinomicetos antagonistas a *Colletotrichum* sp. Penz. En el cultivo de mango en Nayarit, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 7(2). <https://doi.org/10.19136/era.a7n2.2420>
- Osorio, S. Y. (2022). Evaluación de metabolitos secundarios de Actinobacterias con actividad antifúngica sobre hongos fitopatógenos. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/18472>
- Pastrana, A. M., Basallote Ureba, M. J., & Capote, N. (2014). *Fusarium solani*: Un nuevo patógeno en el cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en España. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*, (257), 42-46.
- Pérez, F., León-Quispe, J., Galindo-Cabello, N., Pérez-Rojas, F., León-Quispe, J., & Galindo-Cabello, N. (2015). Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. Andigena Hawkes). *Revista mexicana de fitopatología*, 33(2), 116-139.
- Quispe, V. E. M. (2021). Obtención de un compuesto bioactivo a partir de *Streptomyces* ssp. Para el control de antracnosis en mango (*Mangifera indica*). Repositorio Institucional - USS. <http://repositorio.uss.edu.pe//handle/20.500.12802/8201>
- Retana, K., Ramírez-Coché, J. A., Castro, O., & Blanco-Meneses, M. (2018). Caracterización morfológica y molecular de *Fusarium oxysporum* F. SP. Apii asociado a la marchitez del apio en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 115-126.
- Reyes Judith. (2005). *BERGEY MANUAL OF Systematic Bacteriology Second Edition Volume Three The Firmicutes WITH CONTRIBUTIONS FROM 165 COLLEAGUES*. Bergey's Manual of Systematic (Traducido unas páginas). https://www.academia.edu/39555347/BERGEYS_MANUAL_OF_Systematic_Bacteriology_Second_Edition_Volume_Three_The_Firmicutes_WITH_CONTRIBUTIONS_FROM_165_COLLEAGUES

- Ríos, M. D., & Evangelista, M. zahaed. (2025). Efecto antifúngico de *Streptomyces* sp. GCAL-9 y su extracto bioactivo sobre *Colletotrichum* spp., agente causal de la antracnosis | Avances en Investigación Agropecuaria. <https://revistasacademicas.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/2489>
- Rios, T. A., Uc-Varguez, A., Evangelista-Martínez, Z., Rios-Hernández, T. A., Uc-Varguez, A., & Evangelista-Martínez, Z. (2021). Control biológico de *Fusarium oxysporum*, agente causal de la pudrición del cormo en gladiolo, mediante estreptomicetos. Revista mexicana de fitopatología, 39(3), 391-413. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2105-3>
- Rodríguez, J. A. (2023). ACTIVIDAD ANTIFÚNGICA DE ACTINOMICETOS MARINOS Y QUITOSANO PARA EL CONTROL DE *Fusarium solani* EN PLANTAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.). [DoctoralThesis, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.]. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/3152>
- Torres, G. A. (2000). Algunos aspectos de los hongos del genero *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. Agronomía Colombiana, 17(1-3), Article 1-3.
- Valdez, N. (2017). Rendimiento en vaina verde de variedades de arveja (*Pisum sativum* L.) con y sin tutor. Socos a 3200 msnm—Ayacucho. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2666>
- Vásquez, L. M., & Castaño, J. (2017). MANEJO INTEGRADO DE LA MARCHITEZ VASCULAR DEL TOMATE [*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (SACC.) W.C. SNYDER & H.N. HANSEN]: UNA REVISIÓN. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 20(2), 363-374.

ANEXOS

Anexo 1

Resultados complementarios de la capacidad antagónica in vitro de cepas nativas de Streptomyces spp. frente a hongo fitopatógico de Fusarium sp.

Tabla 4

Prueba de normalidad para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp.

Estadístico	gl	Valor p
0,902	15	0,104

Nota. Prueba de Shapiro-Wilk aplicado sobre los residuos no estandarizados del modelo lineal para la variable PIRC. gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 5

Prueba de homogeneidad de varianzas para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp.

Estadístico Levene	de	gl1	gl2	Valor p
0,527	4	10		0,719

Nota. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error. Método: Se basa en la media. gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 6

Evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp.

Parámetro		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Valor p
Entre grupos	los	1112,377	4	278,094	19,453	< 0,001
Dentro de los grupos		142,960	10	14,296		
Total		1255,337	14			

Nota. Prueba de análisis de varianza (ANOVA). gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 7

Comparaciones múltiples del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp.

(I) Cepa	(J) Cepa	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Valor <i>p</i>	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
S-3	S-9	-10,233	3,087	0,048	-20,393	-0,073
	S-11	-17,033	3,087	0,002	-27,193	-6,873
	S-17	-24,267	3,087	< 0,001	-34,427	-14,107
	S-26	-20,867	3,087	< 0,001	-31,027	-10,707
S-9	S-3	10,233	3,087	0,048	0,073	20,393
	S-11	-6,800	3,087	0,254	-16,960	3,360
	S-17	-14,033	3,087	0,007	-24,193	-3,873
	S-26	-10,633	3,087	0,039	-20,793	-0,473
S-11	S-3	17,033	3,087	0,002	6,873	27,193
	S-9	6,800	3,087	0,254	-3,360	16,960
	S-17	-7,233	3,087	0,209	-17,393	2,927
	S-26	-3,833	3,087	0,729	-13,993	6,327
S-17	S-3	24,267	3,087	0,000	14,107	34,427
	S-9	14,033	3,087	< 0,001	3,873	24,193
	S-11	7,233	3,087	0,209	-2,927	17,393
	S-26	3,400	3,087	0,802	-6,760	13,560
S-26	S-3	20,867	3,087	< 0,001	10,707	31,027
	S-9	10,633	3,087	0,039	0,473	20,793
	S-11	3,833	3,087	0,729	-6,327	13,993
	S-17	-3,400	3,087	0,802	-13,560	6,760

Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Se basa en las medias observadas. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 8

Comparaciones múltiples del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Fusarium sp.

Cepa	Repeticiones	Subconjunto		
		1	2	3
S-3	3	37,433 C		
S-9	3		47,667 B	
S-11	3		54,467 B	54,467 A
S-26	3			58,300 A
S-17	3			61,700 A
Significancia		1,000	0,254	0,209

Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Anexo 2

Resultados complementarios de la capacidad antagónica in vitro de cepas nativas de Streptomyces spp. frente a hongo fitopatógico de Colletotrichum sp.

Tabla 9

Prueba de normalidad para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp.

Estadístico	gl	Valor p
0,967	15	0,810

Nota. Prueba de Shapiro-Wilk aplicado sobre los residuos no estandarizados del modelo lineal para la variable PIRC. gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 10

Prueba de homogeneidad de varianzas para el análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp.

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Valor p
1,652	4	10	0,237

Nota. Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error. Método: Se basa en la media. gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 11

Evaluación del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp.

Parámetro	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Valor p
Entre los grupos	641,600	4	160,400	5,869	0,011
Dentro de los grupos	273,293	10	27,329		
Total	914,893	14			

Nota. Prueba de análisis de varianza (ANOVA). gl: Grados de libertad. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 12

Comparaciones múltiples para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp.

(I) Cepa	(J) Cepa	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Valor p	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
S-3	S-9	-7,733	4,268	0,418	-21,781	6,314
	S-11	-17,133	4,268	0,016	-31,181	-3,086
	S-17	-17,600	4,268	0,014	-31,648	-3,552
	S-26	-12,033	4,268	0,103	-26,081	2,014
S-9	S-3	7,733	4,268	0,418	-6,314	21,781
	S-11	-9,400	4,268	0,254	-23,448	4,648
	S-17	-9,867	4,268	0,218	-23,914	4,181
	S-26	-4,300	4,268	0,846	-18,348	9,748
S-11	S-3	17,133	4,268	0,016	3,086	31,181
	S-9	9,400	4,268	0,254	-4,648	23,448
	S-17	-0,467	4,268	1,000	-14,514	13,581
	S-26	5,100	4,268	0,754	-8,948	19,148
S-17	S-3	17,600	4,268	0,014	3,552	31,648
	S-9	9,867	4,268	0,218	-4,181	23,914
	S-11	0,467	4,268	1,000	-13,581	14,514
	S-26	5,567	4,268	0,695	-8,481	19,614
S-26	S-3	12,033	4,268	0,103	-2,014	26,081
	S-9	4,300	4,268	0,846	-9,748	18,348
	S-11	-5,100	4,268	0,754	-19,148	8,948
	S-17	-5,567	4,268	0,695	-19,614	8,481

Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Se basa en las medias observadas. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Tabla 13

Subconjuntos homogéneos para el efecto principal del factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de Streptomyces spp. frente a Colletotrichum sp.

Cepa	Repeticiones	Subconjunto	
		1	2
S-3	3	45,067 B	
S-9	3	52,800 B	52,800 A
S-26	3	57,100 B	57,100 A
S-11	3		62,200 A
S-17	3		62,667 A
Significancia		0,103	0,218

Nota. Prueba de la Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Anexo 3

Comparaciones por parejas para el efecto simple del tipo de microorganismo dentro de cada cepa sobre el factor del porcentaje de inhibición del crecimiento radial (PIRC) de cinco cepas de *Streptomyces* spp. frente a hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp.

Cepa	(I) Microorganismo	(J) Microorganismo	Diferencia de medias (I-J)	Desviación Error	Valor p*	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
S-3	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	-7,633	3,725	0,054	-15,403	0,137
	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Fusarium</i> sp.	7,633	3,725	0,054	-0,137	15,403
S-9	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	-5,133	3,725	0,183	-12,903	2,637
	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Fusarium</i> sp.	5,133	3,725	0,183	-2,637	12,903
S-11	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	-7,733	3,725	0,051	-15,503	0,037
	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Fusarium</i> sp.	7,733	3,725	0,051	-0,037	15,503
S-17	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	-0,967	3,725	0,798	-8,737	6,803
	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Fusarium</i> sp.	0,967	3,725	0,798	-6,803	8,737
S-26	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Colletotrichum</i> sp.	1,200	3,725	0,751	-6,570	8,970
	<i>Colletotrichum</i> sp	<i>Fusarium</i> sp.	-1,200	3,725	0,751	-8,970	6,570

Nota. Se basa en medias marginales estimadas. *Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni. Nivel de significancia ($\alpha = 0,05$).

Anexo 4

Colección de cepas de actinobacterias aisladas de suelo de cultivos de arveja.



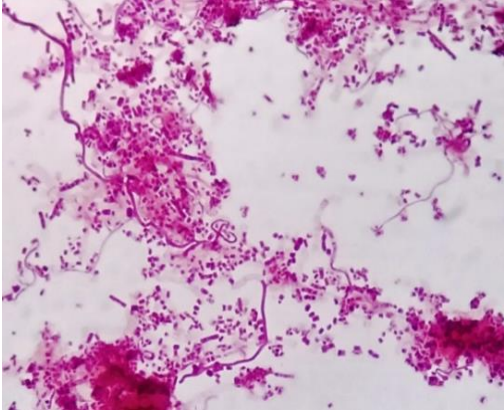
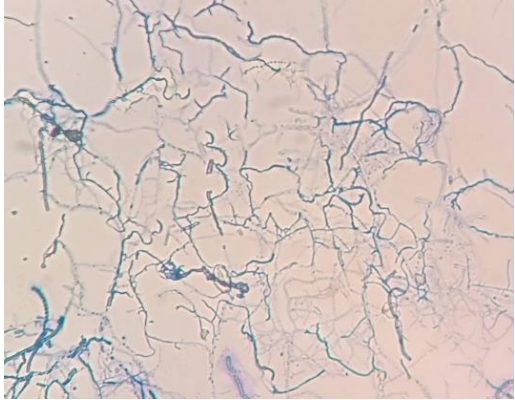
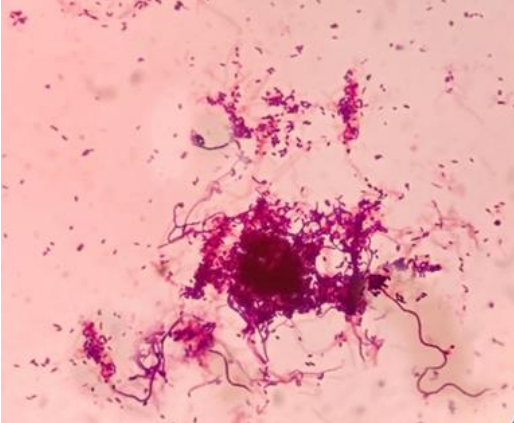
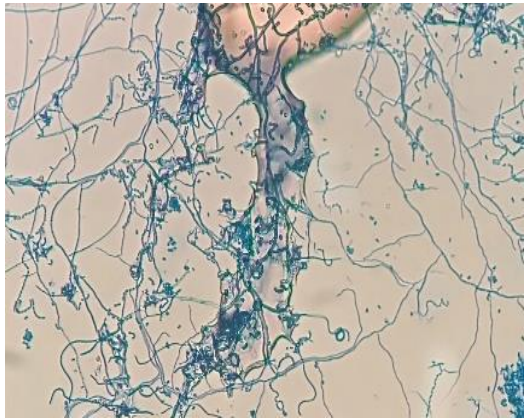
Anexo 5

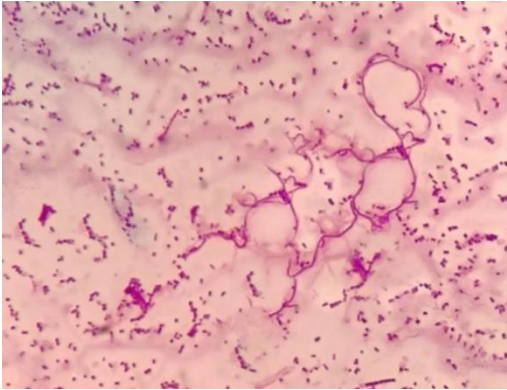
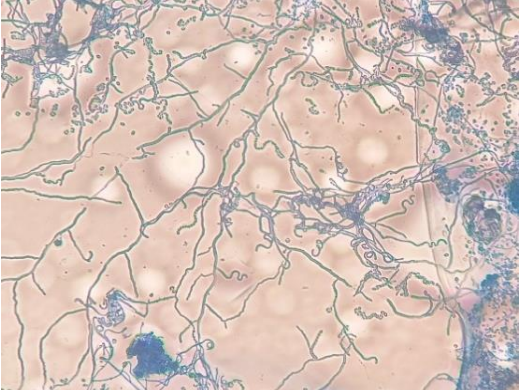
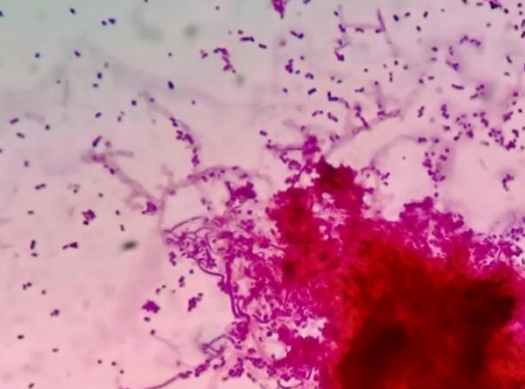
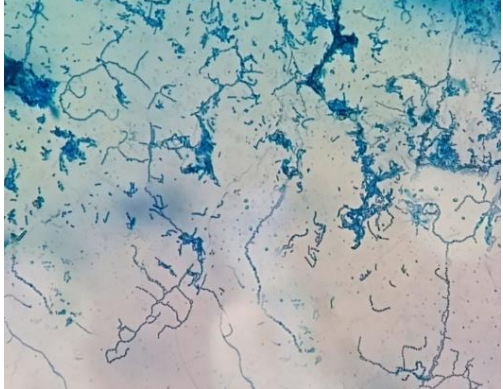
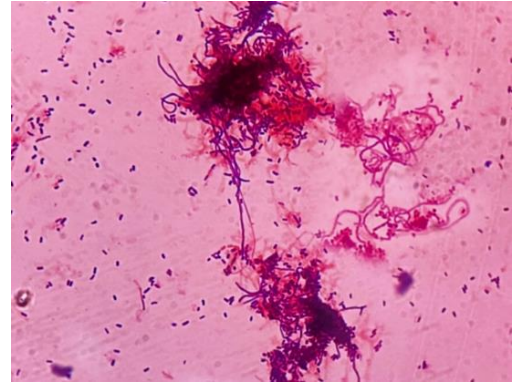
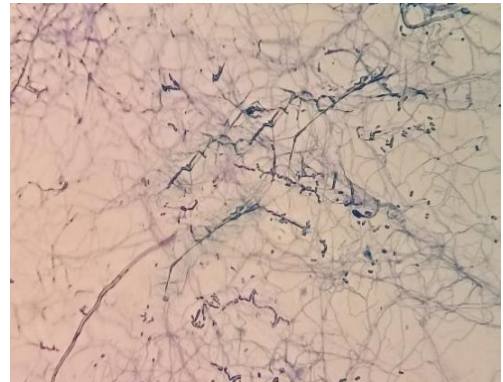
Observación de las características macroscópicas de las cinco cepas de Streptomyces spp. aisladas de suelo de arveja.

Cepa S-3  Colonias secas y pulverulentas de color gris, forma irregular, elevación convexa y pigmentación marrón.	Cepa S-9  Colonias lisas, secas y pulverulentas de color blanco, forma irregular, elevación plana y pigmentación marrón.
Cepa S-11  Colonias rugosas y pulverulentas de color blanco, forma circular, elevación pulviniforme y sin pigmentación.	Cepa S-17  Colonias aterciopeladas de color beige, forma irregular, elevación convexa y pigmentación naranja
Cepa S-26  Colonias duras y rugosas de color negro, que se tornan blancas con el tiempo, puntiforme, elevación pulviniforme y pigmentación negra.	

Anexo 6

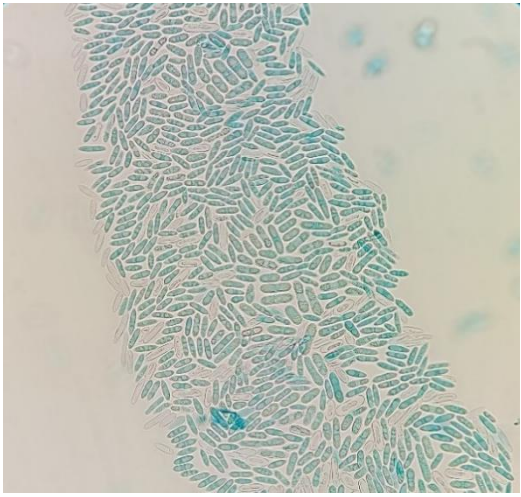
Observaciones microscópicas de las 5 cepas de *Streptomyces* spp. aisladas de suelos de arveja, mediante tinción Gram y microcultivo de 10 días con azul de lactofenol.

COLORACION GRAM	MICROCULTIVO
CEPA S- 3	
 Células filamentosas y ramificadas Gram positivas	 Hifas filamentosas, curvadas, con terminaciones en espiral.
CEPA S-9	
 Células filamentosas y ramificadas Gram positivas, hifas con curvatura terminal	 Hifas terminales curvadas y con forma espiral, micelio aéreo con conidios en cadenas

COLORACION GRAM	MICROCULTIVO
CEPA S-11	
 Células filamentosas y ramificadas, Gram positivas, con formación de conidios.	 Hifas ramificadas con curvatura terminal y conidios en cadenas.
CEPA S-17	
 Células Gram positivas, filamentosas, con terminaciones curvadas.	 Hifas ramificadas con curvatura terminal.
CEPA S-26	
 Células filamentosas y ramificadas Gram positivas, hifas con curvatura terminal.	 Micelio vegetativo con hifas ramificadas, y cadena de esporas del micelio aéreo.

Anexo 7

Observación macroscópica y microscópica de los hongos fitopatógenos aislados de *Pisum sativum*.

MACROSCÓPICA	MICROSCÓPICA
<i>Fusarium</i> sp.	
	
Colonias con crecimiento filamentosos, de aspecto algodonoso y coloración blanca con tonalidades rosadas.	Presencia de hifas ramificadas y macroconidios fusiformes y septados.
<i>Colletotrichum</i> sp.	
	
Colonias con crecimiento filamentosos y circular, de coloración inicialmente naranja y posteriormente gris.	Presencia de conidios ovalados, hialinos, unicelulares y sin septas.

Anexo 8

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.



Anexo 9

Toma de muestra de suelo y plántulas de Pisum sativum.



Anexo 10

Muestras de Pisum sativum con síntomas de marchitez vascular causado por Fusarium sp.



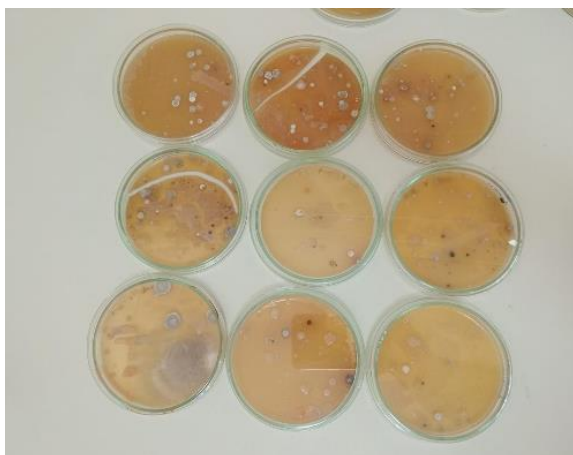
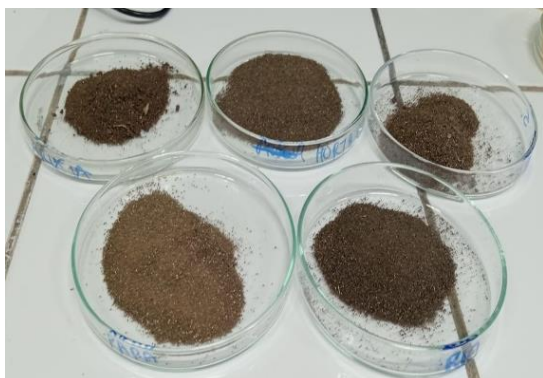
Anexo 11

Muestras de Pisum sativum con síntomas de antracnosis causado por Colletotrichum sp.



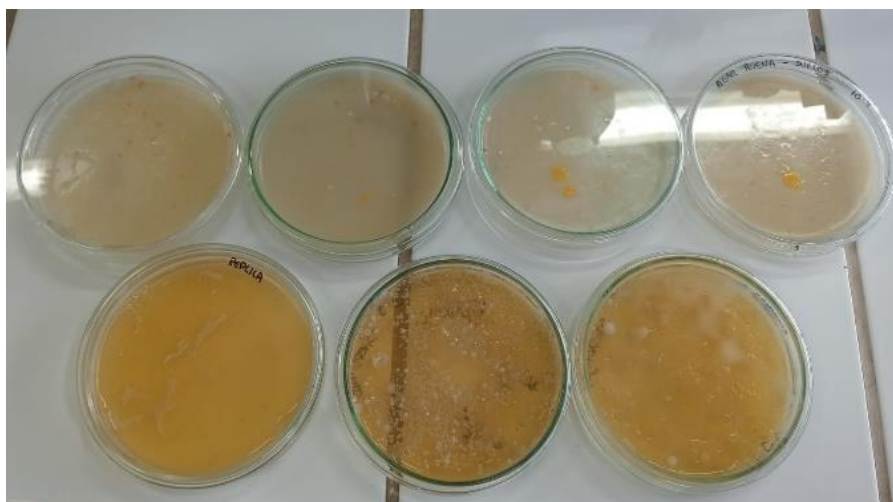
Anexo 12

Procedimiento de aislamiento de Streptomyces spp. a partir de muestras de suelo de cultivos de P. sativum.



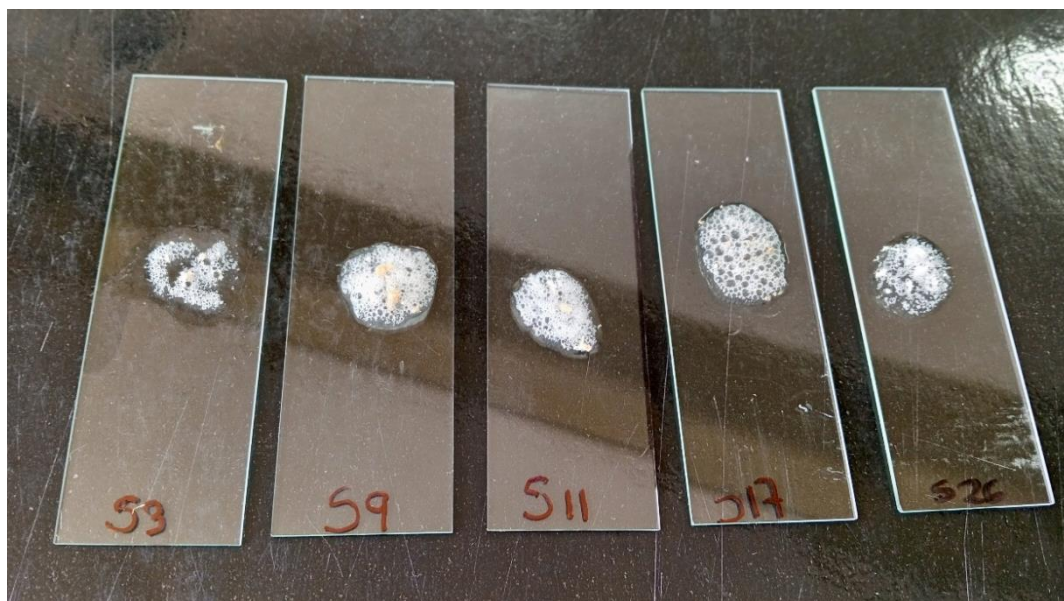
Anexo 13

Aislamiento de actinobacterias en el medio agar extracto de malta y levadura (gym) y agar avena.



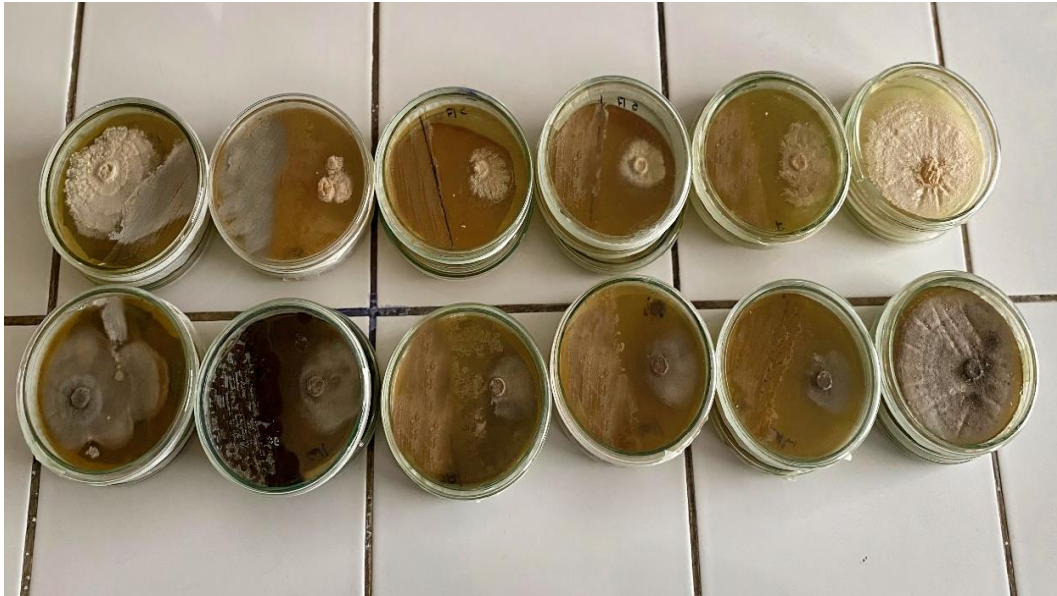
Anexo 14

Reacción positiva a la prueba de catalasa, evidenciada por la formación de burbujas, en las 5 cepas de Streptomyces spp.



Anexo 15

Prueba de enfrentamiento dual.



Anexo 16

Enfrentamiento dual de Streptomyces spp. (cepa S-3) contra Fusarium sp. y control.



Anexo 17

Enfrentamiento dual de Streptomyces spp. (cepa S-3) contra Fusarium sp. y control.



Anexo 18

Enfrentamiento dual de Streptomyces spp. (cepa S-9) contra Fusarium sp. y control.



Anexo 19

Enfrentamiento dual de Streptomyces spp.(cepa S-9) contra Colletotrichum sp. y control.



Anexo 20

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp. (cepa S-11) contra *Fusarium* sp. y control.



Anexo 21

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp.(cepa S-11) contra *Colletotrichum* sp. y control.



Anexo 22

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp.(cepa S-17) contra *Fusarium* sp, y control.



Anexo 23

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp.(cepa S-17) contra *Colletotrichum* sp. y control.



Anexo 24

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp.(cepa S-26) contra *Fusarium* sp. y control.



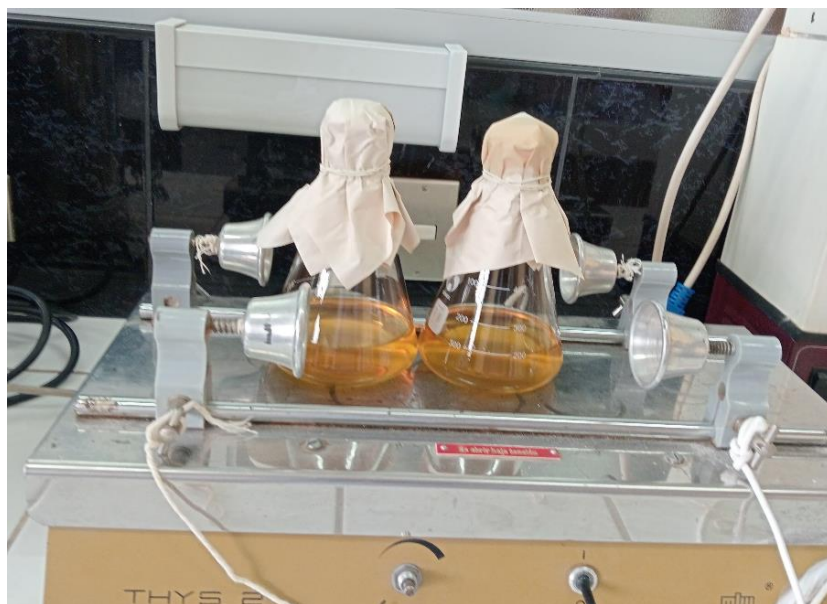
Anexo 25

Enfrentamiento dual de *Streptomyces* spp.(cepa S-26) contra *Colletotrichum* sp. y control.



Anexo 26

Obtención de compuesto bioactivo de Streptomyces spp. (cepa S 17).



Anexo 27

Ensayo de la evaluación antagónica del compuesto bioactivo producidos por la cepa S-17 de Streptomyces sp. frente a Fusarium sp.



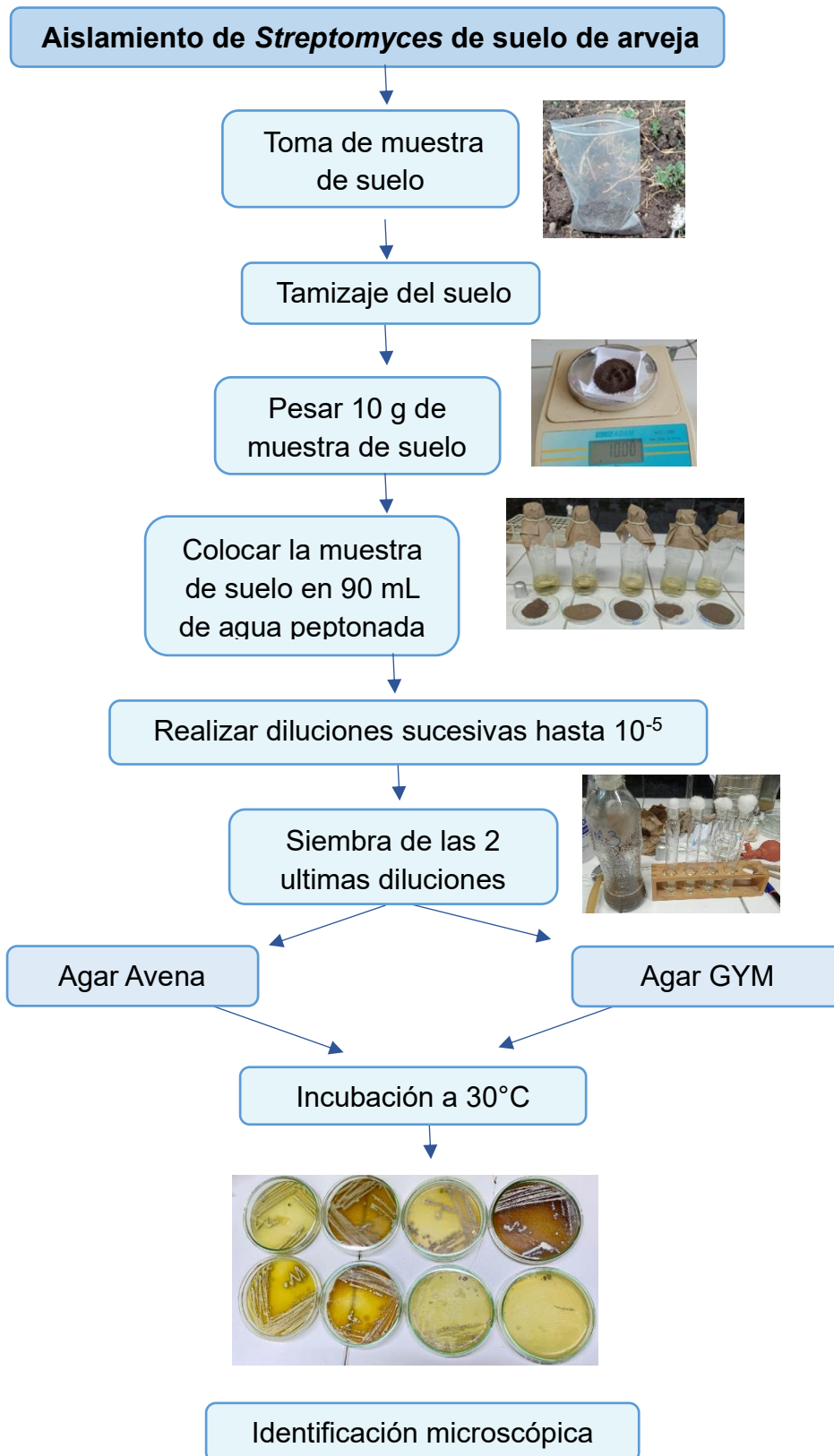
Anexo 28

Ensayo de la evaluación antagónica del compuesto bioactivo producidos por la cepa S-17 de Streptomyces sp. frente a Colletotrichum sp.



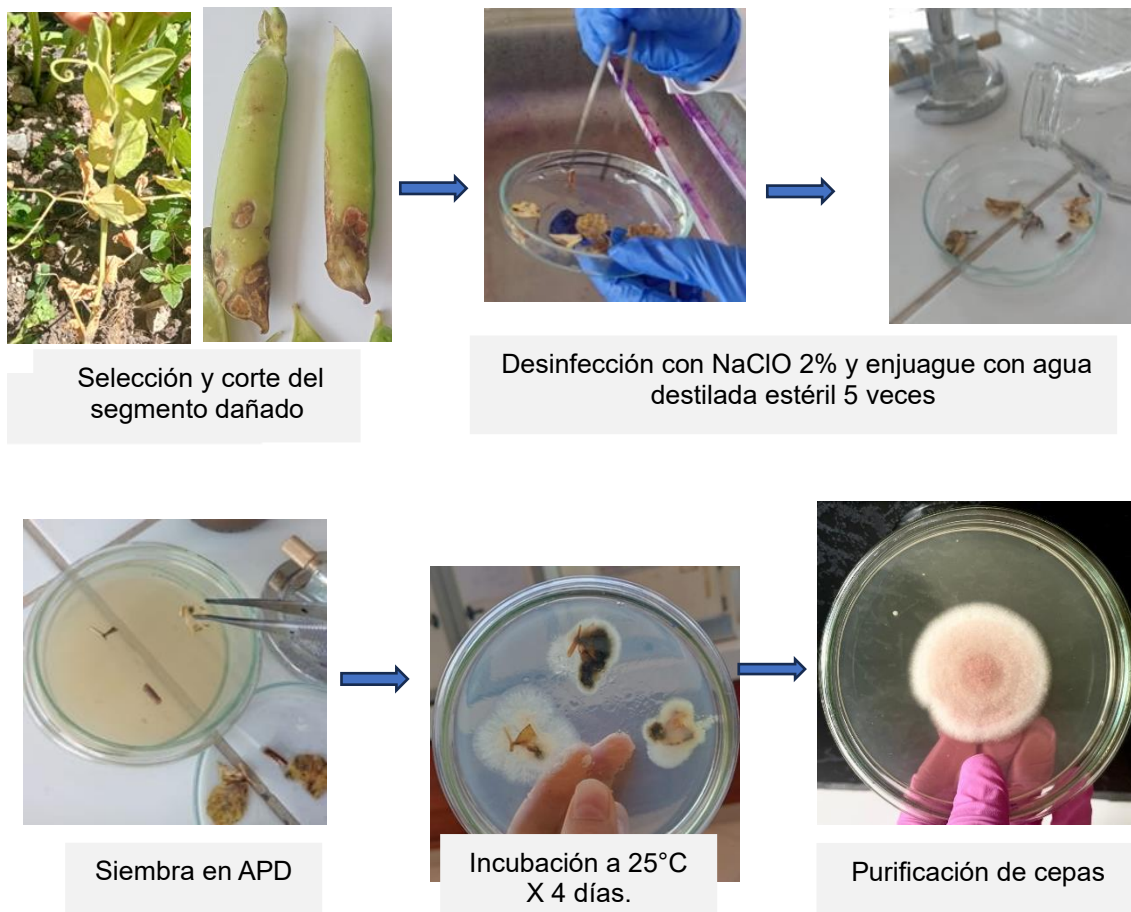
Anexo 29

Protocolo del aislamiento de *Streptomyces* spp. del suelo de cultivos de arveja.



Anexo 30

Protocolo del aislamiento de *hongos fitopatógenos de P. sativum*.



Anexo 31

Protocolo para la obtención del compuesto bioactivo de *Streptomyces* spp.

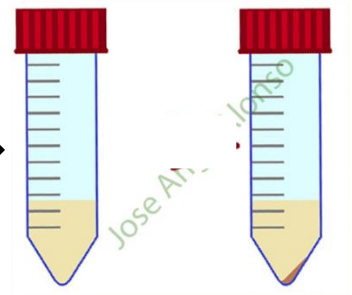
Obtención del compuesto bioactivo de *Streptomyces*



Fermentación en
agitador a 250 rpm/8
días



Centrifugación a 3500
rpm/30 min



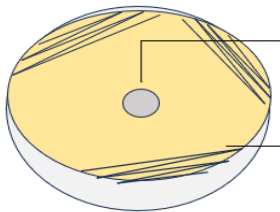
Separar el
sobrenadante



Reservar el
sobrenadante



Sembrar el
fitopatógeno



Realizar el pozo y
añadir el compuesto



Medir los halos de
inhibición obtenidos

Anexo 32

Composición de medios utilizados.

AGAR EXTRACTO DE LEVADURA MALTA (GYM)

Glucosa	4	g
Extracto de Levadura	4	g
Extracto de malta	10	g
CaCO ₃	2	g
Agar	20	g
Agua destilada	1000	mL
pH	7,2	

AGAR AVENA

Harina de avena	25	g
Agar	18	g
Agua destilada	1000	mL
pH	7 ±0,2	

AGAR PAPA DEXTROSA

Dextrosa	20	g
Extracto de papa	4	g
Agar	15	g
Agua	1000	mL
pH	5,6 ±0,2	

CALDO PEPTONA EXTRACTO DE LEVADURA

Peptona	5	g
Extracto de levadura	3	g
Agua destilada	1000	mL
pH	6,5 ±0,2	

Anexo 33. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
PROBLEMA PRINCIPAL ¿Presentará las cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. efecto antagónico <i>in vitro</i> frente a hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp, aislados de <i>Pisum sativum</i> "arveja" Ayacucho 2025?	OBJETIVO GENERAL Evaluar el efecto antagónico <i>in vitro</i> de cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. frente a los hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> spp, aislados de <i>Pisum sativum</i> "arveja" Ayacucho 2025	1. Antecedentes • Antecedentes internacionales • Antecedentes nacionales • Antecedentes locales 2. Marco conceptual • Antagonismo • Actividad antifúngica • Controlador biológico • Cepas nativas • Fitopatógeno • Signo • Síntoma • Compuesto bioactivo 3. Bases teóricas a. <i>Pisum sativum</i> • Clasificación sistemática • Importancia del cultivo • Enfermedades b. <i>Streptomyces</i> sp. • Clasificación sistemática • Compuestos bioactivos • Beneficios en la agricultura • Actividad antifúngica c. <i>Fusarium</i> sp. • Clasificación taxonómica • Características • <i>Fusarium</i> como agente causal de la marchitez vascular d. <i>Colletotrichum</i> sp. • Clasificación taxonómica • Características • <i>Colletotrichum</i> como agente causal de la antracnosis en arveja.	HIPÓTESIS GENERAL Las cepas nativas de <i>Streptomyces</i> sp. presenta efecto antagónico frente a los hongos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> spp. aislados de cultivos de <i>Pisum sativum</i> "arveja".	VARIABLE PRINCIPAL Efecto antagónico de <i>Streptomyces</i> spp. VARIABLES SECUNDARIAS • Porcentaje de inhibición del crecimiento radial PIRC • Actividad del compuesto bioactivo mediante difusión de pozos.	Tipo de investigación: Básico – Descriptivo- transversal Régimen de investigación: Libre Población Todas las cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. presentes en los suelos de cultivos de <i>Pisum sativum</i> , así como los hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp. asociados a plantas de arveja con síntomas de marchitez vascular y antracnosis. Muestra Estuvo conformada por cinco cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. previamente seleccionadas y dos cepas de hongos fitopatógenos, una de <i>Fusarium</i> sp. y otra de <i>Colletotrichum</i> sp. aisladas de plantas de <i>Pisum sativum</i> con síntomas de enfermedad. Metodología • Aislamiento de <i>Streptomyces</i> del suelo. • Identificación morfológica y bioquímica. • Recolección de muestras vegetales • Aislamiento de los hongos fitopatógenos • Enfrentamiento dual • Obtención del extracto • Prueba <i>in vitro</i> del compuesto bioactivo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿Se aislará e identificará morfológicamente las cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. de suelos con cultivo de arveja? 2. ¿Se aislará e identificará morfológicamente los hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp? 3. ¿Cuál será el porcentaje de inhibición del crecimiento radial PIRC de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp? 4. ¿Cuál será la actividad del compuesto bioactivo de <i>Streptomyces</i> vs fungicidas comerciales frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp?	OBJETIVO ESPECÍFICOS 1. Aislar e identificar morfológicamente las cepas nativas de <i>Streptomyces</i> spp. de suelos con cultivo de arveja. 2. Aislar e identificar morfológicamente los hongos fitopatógenos <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp. 3. Determinar el porcentaje de inhibición del crecimiento radial PIRC de <i>Streptomyces</i> spp. frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> sp. 4. Determinar la actividad del compuesto bioactivo de <i>Streptomyces</i> vs fungicidas comerciales frente a <i>Fusarium</i> sp. y <i>Colletotrichum</i> spp.				

**UNSCH****FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS****ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS****Bach. Jessica Maruja RODRIGUEZ JANAMPA****RESOLUCIÓN DECANAL N° 166-2026-UNSCH-FCB-D**

En la ciudad de Ayacucho, siendo las cuatro de la tarde del día miércoles veintiséis de agosto del año dos mil veintiséis, se reunieron los miembros del jurado evaluador en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, actuando como presidente encargado el Dr. Víctor Humberto ALEGRÍA VALERIANO con memorando N° 217-2026-UNSCH-FCB con fecha veintiséis de agosto del dos mil veintitres que a su vez forma parte del miembro jurado; el Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA (Miembro - Jurado) y la Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ (Miembro - Asesor), actuando como secretario docente encargado el Mg. Dante Moisés BARRENECHEA BUSTAMANTE con memorando N° 213-226-UNSCH(IN)-FCB, para presenciar la sustentación de la tesis titulada **Capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., aislados de *Pisum sativum* L. "arveja" Ayacucho-2025**, presentado por la bachiller **Jessica Maruja RODRIGUEZ JANAMPA**, el presidente luego de verificar la documentación generada indica al secretario docente encargado dar lectura a la documentación que da fé de este acto académico, luego el presidente invitó a la sustentante a exponer su trabajo de tesis para lo cual se le indica que cuenta con un tiempo máximo de cuarenta y cinco minutos, tal como se presenta en el reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Biología, luego se invitó al jurado evaluador a participar con sus preguntas, observaciones y sugerencias, luego invitó a la sustentante y público asistente abandonar momentáneamente el Auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas para que el jurado evaluador pueda deliberar como corresponde y se muestra a continuación:

Miembro del Jurado Evaluador	Exposición	Respuesta/preguntas	Promedio
Dr. Víctor Humberto ALEGRÍA VALERIANO	17	16	17
Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA	19	18	19
Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ	19	18	19
PROMEDIO			18

La sustentante alcanzo el promedio de 18 aprobatorio, el presidente invitó a regresar a la sustentante y público asistente al auditorio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el presidente dio a conocer los resultados indicado de este modo a concluido el presente acto académico. Firmando al pie de dicho documento en señal de conformidad, siendo las seis de la tarde del mismo día.


Dr. Víctor Humberto ALEGRÍA VALERIANO
Presidente(e) (Miembro - Jurado)


Mg. Luis Uriel MOSCOSO GARCÍA
(Miembro - Jurado)


Mg. Ruth Elsa HUAMÁN DE LA CRUZ
(Miembro - Asesor)


Mg. Dante Moisés BARRENECHEA BUSTAMANTE
Secretario Docente (e)



FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

DECANATURA-ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

Nº 55-2026-FCB-D

Yo, SERAPIO ROMERO GAVILÁN, Director de la Escuela Profesional de Biología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; autoridad encargada de verificar la tesis titulada: **Capacidad antagónica *in vitro* de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., aislados de *Pisum sativum* L. "arveja" Ayacucho-2025**, por JESSICA MARUJA RODRIGUEZ JANAMPA; he constatado por medio del uso de la herramienta TURNITIN, procesado CON DEPÓSITO, una similitud de 11%, grado de coincidencia, menor a lo que determina la ausencia de plagio definido por el Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH, aprobado con Resolución del Consejo Universitario Nº 039-2021-UNSCH-CU.

En consecuencia, la tesis cumple con las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se acompaña el INFORME FINAL DE TURNITIN correspondiente.

Ayacucho, 21 de septiembre de 2026.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Escuela Profesional de Biología

Dr. Serapio Romero Gavilán
DIRECTOR

Capacidad antagónica in vitro de cepas nativas de *Streptomyces* spp. frente a hongos fitopatógenos *Fusarium* sp. y *Colletotrichum* sp., aislados de *Pisum sativum* L. "arveja" Ayacucho-2025

por JESSICA MARUJA RODRIGUEZ JANAMPA

Capacidad antagónica in vitro de cepas nativas de Streptomyces spp. frente a hongos fitopatógenos Fusarium sp. y Colletotrichum sp., aislados de Pisum sativum L. "arveja" Ayacucho-2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%	11%	1%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unsch.edu.pe	Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.uncp.edu.pe	Fuente de Internet	1%
5	aprenderly.com	Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.upao.edu.pe	Fuente de Internet	<1%
7	www.colibri.udelar.edu.uy	Fuente de Internet	<1%
8	revistas.uss.edu.pe	Fuente de Internet	<1%

Excluir citas	Activo	Excluir coincidencias	< 30 words
Excluir bibliografía	Activo		