



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOCONTROLADOR DE CEPAS
BACTERIANAS AISLADAS DE SUELOS ANTÁRTICOS Y FERMENTADOS
DE VARIEDADES DE CACAO EN CULTIVOS DE PITAHAYA ROJA
(*SELENICEREUS UNDATUS*) Y BANANO (*MUSA SPP.*)**

*Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniera en Biotecnología*

AUTORES:

BRITANY JESSENIA ARROYO CABEZA

DANIELA JACQUELINE MUÑOZ PUEBLA

TUTORES:

MSc. ANGELA VANESSA PACHECO FLORES DE VALGAZ

MSc. MARÍA GABRIELA MARIDUEÑA ZAVALA

GUAYAQUIL -ECUADOR

2024

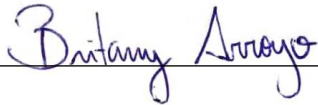
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, **Britany Jessenia Arroyo Cabeza** con documento de identificación N° 0944389931 y **Daniela Jacqueline Muñoz Puebla** con documento de identificación N° 0951425545; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Britany Jessenia Arroyo Cabeza

CI: 0944389931



Daniela Jacqueline Muñoz Puebla

CI: 0951425545

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotras, **Britany Jessenia Arroyo Cabeza** con documento de identificación No. 0944389931 y **Daniela Jacqueline Muñoz Puebla** con documento de identificación No. 0951425545, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOCONTROLADOR DE CEPAS BACTERIANAS AISLADAS DE SUELOS ANTÁRTICOS Y FERMENTADOS DE VARIEDADES DE CACAO EN CULTIVOS DE PITAHAYA ROJA (*SELENICEREUS UNDATUS*) Y BANANO (*MUSA SPP.*)”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera en Biotecnología*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Britany Jessenia Arroyo Cabeza

CI: 0944389931



Daniela Jacqueline Muñoz Puebla

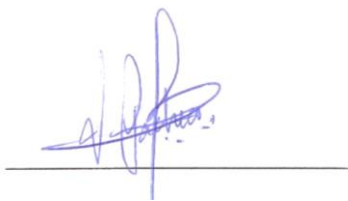
CI: 0951425545

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Angela Vanessa Pacheco Flores de Valgaz** con documento de identificación N° 0930726112, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOCONTROLADOR DE CEPAS BACTERIANAS AISLADAS DE SUELOS ANTÁRTICOS Y FERMENTADOS DE VARIEDADES DE CACAO EN CULTIVOS DE PITAHAYA ROJA (*SELENICEREUS UNDATUS*) Y BANANO (*MUSA SPP.*)”**, realizado por Britany Jessenia Arroyo Cabeza con documento de identificación N° 0944389931 y por Daniela Jacqueline Muñoz Puebla con documento de identificación N° 0951425545, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



Angela Vanessa Pacheco Flores de Valgaz

CI: 0930726112

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **María Gabriela Maridueña Zavala** con documento de identificación N° 0923210884, investigadora del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL BIOCONTROLADOR DE CEPAS BACTERIANAS AISLADAS DE SUELOS ANTÁRTICOS Y FERMENTADOS DE VARIEDADES DE CACAO EN CULTIVOS DE PITAHAYA ROJA (*SELENICEREUS UNDATUS*) Y BANANO (*MUSA SPP.*)”**, realizado por Britany Jessenia Arroyo Cabeza con documento de identificación N° 0944389931 y Daniela Jacqueline Muñoz Puebla con documento de identificación N° 0951425545, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



María Gabriela Maridueña Zavala

CI: 0923210884

Dedicatoria

A Dios, por ser mi inspiración y el motor de mi vida. Por guiarme en cada paso y porque literalmente sin ÉL, nada de esto podría haber sido posible.

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, sus consejos y por siempre creer en mí.

A mi abuela, por estar conmigo siempre y apoyarme en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos y hermanas, por motivarme y alentarme cada día a cumplir mis metas.

A mis sobrinos, a quienes quiero mucho y son mi motivo de esfuerzo y superación continua.

A mis amigas quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de mi trayecto universitario.

A mi amiga y compañera de tesis Daniela Muñoz, por brindarme su amistad incondicional y ser un gran apoyo a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A mis maestros y a cada persona que contribuyó en mi formación y enseñanza.

A cada una de las personas que siempre creyeron en mí.

Britany Arroyo

Dedicatoria

A Dios por obrar de maneras inesperadas que me enseñan a siempre confiar en ÉL, y por acompañarme todos los días en mi camino a casa.

A mis padres por su paciencia, por apoyarme y comprenderme en todas las etapas de mi vida, sobre todo en esta vida universitaria.

A mi abuelito por creer en mí y que de seguro estaría aquí alentándome si el cielo no estuviera tan lejos.

A mi hermana por ser ese ejemplo de superación que todos necesitamos y por enseñarme que lo bueno solo tarda un poco más.

A mi tía y a mis primos por siempre apoyarme y motivarme a cumplir mis sueños.

A mis amigos y amigas que hice a lo largo de estos años universitarios.

A mi amiga y compañera de tesis Britany por brindarme una amistad pura y sincera desde el inicio de la carrera.

A todos los maestros que formaron parte de mi vida académica, en especial a aquellos que despertaron en mí el amor por la ciencia.

A mis bebés del género *Felis* por acompañarme y ser parte de mis pausas activas mientras escribía este trabajo hasta la madrugada.

A Daniela del pasado por no rendirse.

Agradecimientos

Extendemos nuestro mayor agradecimiento a la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, a sus directivos, maestros, auxiliares de laboratorio y personal administrativo. Principalmente al Ing. José Luis Ballesteros Lara, PhD director de la carrera de Biotecnología, y al Ing. Jaime Alberto Naranjo Moran, MsC quienes con su apoyo y motivación a lo largo de estos años nos permitieron enfrentar cada desafío de la vida universitaria.

Agradecemos de manera especial a nuestra tutora la Ing. Angela Vanessa Pacheco Flores de Valgaz, MsC quien confió en nosotras desde el inicio para poder emprender este reto académico. Gracias a su apoyo, colaboración y comprensión fue posible llegar hasta la culminación de este trabajo

De igual modo, queremos agradecer al Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) por recibirnos y hacer posible que esta investigación se materialice. A sus analistas, investigadores y personal en general, quienes con su predisposición y paciencia siempre estuvieron para ayudarnos e instruirnos.

Sobre todo, agradecemos a nuestra cotutora la Ing. María Gabriela Maridueña Zavala Msc., por brindarnos sus consejos, generosidad, conocimientos y por ser una guía fundamental a lo largo de todo este trayecto.

Finalmente, agradecemos a cada persona que nos ha acompañado durante algún momento de esta experiencia académica universitaria. Gracias por impulsarnos hacia la siguiente etapa, la vida profesional.

Resumen

El presente estudio evalúa el potencial biocontrolador de cepas bacterianas aisladas de suelos antárticos y fermentados de variedades de cacao, frente a hongos fitopatógenos obtenidos de frutos o cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*) y banano (*Musa spp.*) depositados en la Colección de Cultivos microbianos CCM-CIBE. La metodología empleada se basa en un diseño exploratorio, el cual inicia con la evaluación cualitativa *in vitro* de las cepas bacterianas con posible potencial biocontrolador, en confrontación con los hongos patógenos *Fusarium verticillioides*, *Fusarium globosum*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Curvularia alcornii*, *Curvularia cactivora*, y *Fusarium falciforme*. Los ensayos de cultivo dual permitieron identificar las bacterias promisorias para la determinación del porcentaje y halo de inhibición. A través del análisis estadístico se comparó la actividad antagónica de las diferentes cepas con potencial biocontrolador, seleccionando aquellas con mayor índice de inhibición. Las mediciones permitieron identificar que el género *Bacillus* tuvo mejores resultados para el grupo de bacterias de fermentados de cacao, con porcentajes de inhibición mayores al 50%. Por otro lado, el género *Pseudomonas* perteneciente a las bacterias de Antártida presentó porcentajes de inhibición mayores al 40%. Finalmente, esta investigación aporta significativamente al estudio de cepas bacterianas como control biológico, sentando precedentes para futuras investigaciones y desarrollos en etapas siguientes de aplicación dentro de la industria agrícola.

Palabras claves

Control biológico, ensayos de cultivo dual, capacidad antagónica, porcentaje de inhibición.

Abstract

The present study evaluates the biocontrol potential of bacterial strains isolated from Antarctic soils and fermented from cocoa varieties, against phytopathogenic fungi obtained from fruits or crops of red pitahaya (*Selenicereus undatus*) and banana (*Musa spp.*) deposited in the Crop Collection CCM-CIBE microbials. The methodology used is based on an exploratory design, which begins with the qualitative *in vitro* evaluation of selected bacterial strains in confrontation with the pathogenic fungi *Fusarium verticillioides*, *Fusarium globosum*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Curvularia alcornii*, *Curvularia cactivara*, and *Fusarium falciforme*. The dual culture assays allowed the identification of promising bacteria for the determination of the percentage and zone of inhibition. Through statistical analysis, the antagonistic activity of the different strains with biocontrol potential was compared, selecting those with the highest inhibition index. The measurements allowed us to identify that *Bacillus* genus had better results for the group of cocoa fermented bacteria, with inhibition percentages greater than 50%. On the other hand, *Pseudomonas* genus belonging to Antarctic bacteria presented inhibition percentages greater than 40%. Finally, this research contributes significantly to the study of bacterial strains as biological control, setting precedents for future research and development in subsequent stages of application within the agricultural industry.

Keywords

Biological control, dual culture assays, antagonistic capacity, percentage of inhibition.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1.....	7
Conceptualización.....	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Planteamiento del problema.....	8
1.3. Justificación y delimitación.....	9
1.4. Objetivos.....	10
1.4.1 General.....	10
1.4.2 Específicos.....	10
1.5. Hipótesis.....	10
Capítulo 2.....	11
Fundamentación Teórica.....	11
2.1 Cultivos de Banano (<i>Musa spp.</i>).....	11
2.2 Hongos fitopatógenos en cultivos de Banano (<i>Musa spp.</i>).....	11
2.2.1 <i>Curvularia alcornii</i>	11
2.2.2 <i>Fusarium globosum</i>	12
2.2.3 <i>Fusarium verticillioides</i>	13
2.2.4 <i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	14
2.3 Cultivos de Pitahaya roja (<i>Selenicereus undatus</i>).....	15
2.4 Hongos fitopatógenos en cultivos de pitahaya roja (<i>Selenicereus undatus</i>).....	15
2.4.1 <i>Curvularia cactivora</i>	16
2.4.2 <i>Fusarium falciforme</i>	16
2.5 Antagonismo microbiano.....	17
2.6 Fuentes de microorganismos antagónicos.....	17
2.6.1 Microorganismos bacterianos de la Antártida.....	17
2.6.2 Microorganismos bacterianos de la fermentación del cacao.....	18
2.7 Medios de cultivo.....	19
2.7.1 Potato dextrosa agar (PDA).....	19
2.7.2 Tripticasa soya agar (TSA).....	19
2.7.3 Luria Broth (LB).....	20
2.8 Método de confrontación dual.....	20
Capítulo 3.....	21
Materiales y métodos.....	21
3.1. Material biológico.....	21
3.2. Reactivación de bacterias.....	21
3.3. Siembra de hongos fitopatógenos.....	22
3.4. Diseño experimental.....	22
3.5. Pruebas de confrontación dual.....	23

3.6. Bacterias promisorias.....	24
3.7. Crecimiento radial.....	24
3.8. Análisis estadístico.....	25
Capítulo 4.....	26
Resultados y discusión.....	26
4.1. Evaluación de capacidad antagónica.....	26
4.2. Efecto de bacterias promisorias en el crecimiento de hongos fitopatógenos.....	27
4.2.1 Inhibición de crecimiento de hongos fitopatógenos vs bacterias de fermentaciones de cacao.....	29
4.2.2. Inhibición de hongos fitopatógenos vs bacterias de Antártida.....	34
4.3 Registro de crecimiento radial de micelios.....	38
Capítulo 5.....	42
Conclusiones y recomendaciones.....	42
5.1. Conclusiones.....	42
5.2. Recomendaciones.....	43
Bibliografía.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diseño de experimento.....	22
Tabla 2. Bacterias con porcentajes de inhibición destacados.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Curvularia alcornii</i>	12
Figura 2. <i>Fusarium globosum</i>	13
Figura 3. <i>Fusarium verticillioides</i>	14
Figura 4. <i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	15
Figura 5. <i>Curvularia cactivora</i>	16
Figura 6. <i>Fusarium falciforme</i>	17
Figura 7. Diagrama ilustrativo del método de confrontación dual.....	20
Figura 8. Esquema de mediciones para enfrentamiento dual.....	23
Figura 9. A) Esquemas de medición por enfrentamiento uno a uno, B) Tratamiento control.....	24
Figura 10. Ilustración de prueba de antagonista mediante la técnica de cultivo dual con hongos fitopatógenos vs bacterias.....	27
Figura 11. Ilustración de la evaluación <i>in vitro</i> de capacidad antagonica de las bacterias promisorias.....	29
Figura 12. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Fusarium verticillioides</i>	30
Figura 13. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Fusarium globosum</i>	30
Figura 14. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	31
Figura 15. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Curvularia alcornii</i>	31
Figura 16. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Curvularia cactivora</i>	32
Figura 17. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en <i>Fusarium falciforme</i>	32

Figura 18. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en <i>Fusarium verticillioides</i>	34
Figura 19. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en <i>Fusarium globosum</i>	35
Figura 20. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en <i>Curvularia alcornii</i>	35
Figura 21. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en <i>Curvularia cactivora</i>	36
Figura 22. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en <i>Fusarium falciforme</i>	36
Figura 23. Gráfica de crecimiento micelial <i>Fusarium falciforme</i> vs <i>B. cereus</i>	38
Figura 24. Gráfica de crecimiento micelial <i>Fusarium globosum</i> vs <i>A. papayae</i>	39
Figura 25. Gráfica de crecimiento micelial <i>Curvularia cactivora</i> vs <i>Ralstonia sp</i>	40
Figura 26. Gráfica de crecimiento micelial <i>Fusarium globosum</i> vs <i>P. protegens</i>	40
Figura 27. Gráfica de crecimiento micelial <i>Fusarium verticillioides</i> vs <i>R. pickettii</i>	41
Figura 28. Gráfica de crecimiento micelial <i>Fusarium falciforme</i> vs <i>R. pickettii</i>	41

Capítulo 1

Conceptualización

1.1. Introducción

La exportación agrícola, es uno de los pilares fundamentales a nivel económico en nuestro país. Este eje productivo se ve afectado por problemas fitosanitarios que perjudican diversas plantaciones debido a la incidencia de enfermedades endémicas que, como consecuencia, generan grandes pérdidas en este sector. Anualmente, se pierden aproximadamente 150.542,20 hectáreas de cultivos en el país. El 80% de las pérdidas representan productos de importancia comercial tales como: cacao, arroz, banano, maíz, palma africana, café, plátano, pitahaya, entre otros (Sánchez et al., 2020).

En el caso del banano, uno de los principales cultivos de exportación en el Ecuador decrecieron un 3,2% en el año 2021 debido al establecimiento de medidas preventivas para el control de Fusariosis, cuyo agente causal es el hongo *Fusarium* RT4, quien generó pérdidas a gran escala en las plantaciones de banano en países fronterizos (FAO, 2022). Otros cultivos de importancia económica también registran pérdidas significativas, como el cultivo de pitahaya roja, cuyo rendimiento se ve disminuido hasta un 44% por acción de microorganismos. Entre estos se destacan los hongos fitopatógenos de los géneros *Fusarium* y *Curvularia* (Valencia et al., 2012).

Ante esta situación, el primer accionar es el empleo de plaguicidas sintéticos. Sin embargo, los organismos patógenos han desarrollado resistencia ante ciertos plaguicidas, impidiendo un manejo efectivo ante la proliferación de los mismos (Viera et al., 2020). Cada año se registran 3 millones de casos de envenenamiento agudo debido al uso indebido de plaguicidas, en los que se reportan entre 80.000 y 220.000 casos de muerte. En 2021 el Ecuador registró 173 casos de intoxicaciones al hacer uso de agroquímicos, lo que ha generado gran preocupación en los pequeños y grandes agricultores (Ministerio de Salud Pública, 2021).

Una de las alternativas sostenibles y naturales que permiten la protección de la biodiversidad y no son tóxicas para el ser humano es el control biológico (Badii & Abreu, 2006), cuyo uso fue introducido a inicios del siglo XIX. cuyo enfoque se basa en el uso de organismos vivos como medio de control para el manejo integrado de plagas.

Ciertos microorganismos poseen una acción antagónica entre sí, por lo tanto, dicha interacción ha sido aprovechada para evitar la proliferación de patógenos, evitando así el desarrollo de patologías en las plantaciones agrícolas (Fernández-Larrea Vega, 2001). Los organismos biológicos más populares estudiados y que han sido empleados como medio de biocontrol son *Bacillus* y *Trichoderma*. Sin embargo, es conocido que otros géneros tales como: *Pseudomonas*, *Acetobacter*, *Staphylococcus*, y *Gluconobacter*, poseen un alto potencial inhibitorio ante el control de patógenos (Moreno et al., 2018). También se han registrado usos de *Pseudomonas fluorescens*, aisladas de la rizosfera de cacao, y cuyos resultados demostraron que son alternativas óptimas para disminuir la propagación de los diversos agentes causales de plagas (Vera et al., 2018).

En Ecuador, se han llevado a cabo investigaciones que implican el uso de microorganismos como medio de control desde antes de 1937, y hasta la fecha se siguen realizando estudios para determinar el potencial plaguicida de ciertos agentes biológicos (González et al., 2022). Entre los microorganismos que destacan para estos fines, están aquellos del reino bacteria. Investigaciones alrededor del mundo se centran en el estudio de bacterias provenientes de ecosistemas poco explorados, en donde sus características diferenciales les permiten sobrevivir al entorno (Santos et al., 2019).

El presente trabajo de tesis se enfoca en realizar una bioprospección de microorganismos bacterianos depositados en la Colección de Cultivos Microbianos CCM-CIBE, en la que se espera lograr la reactivación de un conjunto significativo de cepas provenientes de suelos Antárticos y de fermentaciones de variedades de cacao. Una vez obtenidas bacterias viables se procederá con la evaluación de capacidad antagónica de forma *in vitro*, mediante el método de confrontación dual bacteria-patógeno y se evaluará el halo de inhibición del patógeno frente a la bacteria. Con lo antes mencionado, se espera aportar nuevos conocimientos y alternativas que servirán de biocontrol para la aplicación futura en el campo o generación de nuevos productos orgánicos en mejora de la producción agrícola.

1.2. Planteamiento del problema

En el sector agrícola del Ecuador existen diversas situaciones relacionadas a la pérdida de los cultivos durante los periodos de cosecha y poscosecha. El principal motivo es la presencia de plagas ocasionadas por hongos fitopatógenos. Las plagas, pueden ocasionar hasta un 40% en pérdidas de cultivos agrícolas (Agroasemex, S.A., 2019).

Esto deriva en una reducción de la calidad de los productos y por lo tanto, pérdidas en competencias dirigidas al mercado internacional (Salamanca, 2020). Dentro de las medidas generales para tratar este tipo de problemas están la aplicación de pesticidas. Su uso indiscriminado como medio de control de patógenos genera consecuencias graves para la salud y el medio ambiente; debido a la importante relación con la exposición ocupacional a estos compuestos (ONU, 2020).

Actualmente, en nuestro país, se están implementando estrategias que impliquen uso de alternativas biológicas como medio para el manejo integrado de plagas, a fin de prevenir y combatir su incidencia en las diversas plantaciones. Sin embargo, los bioplaguicidas de uso común en nuestro país se basan principalmente en *Bacillus* y *Trichoderma*. Si bien estos organismos presentan una notable capacidad antifúngica, se considera viable explorar alternativas basadas en la utilización de organismos biológicos procedentes de ambientes con un menor grado de estudio. En este trabajo se propone evaluar el potencial biocontrolador de una colección amplia de bacterias obtenidas mediante la fermentación de variedades de cacao, y de suelos antárticos previamente caracterizadas y depositadas en la CCM-CIBE, con potencial para el control biológico de hongos fitopatógenos que afectan a cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*) y banano (*Musa spp.*) (Castillo, 2020).

1.3. Justificación y delimitación

El cultivo de frutos para exportación supone una fuente rentable de ingresos económicos en el país. Sin embargo, la propagación de plagas, en especial las causadas por hongos fitopatógenos, conlleva pérdidas significativas a nivel agrícola, afectando así la calidad y producción de sus frutos.

El estudio del efecto de los organismos biológicos de interés, permite determinar el potencial inhibitorio y su capacidad para contrarrestar la incidencia de patologías que perjudican a dichas especies vegetales. En el caso de los microorganismos obtenidos mediante fermentación de cacao, se conoce que limitan el crecimiento espontáneo de los hongos gracias a la competencia del sustrato. Estas bacterias, se encargan de producir metabolitos antifúngicos tales como el ácido fenilacético, el cual permite controlar y contrarrestar el crecimiento fúngico y reducir la germinación de esporas (Ruggirello et al., 2019).

Por otro lado, los microorganismos antárticos debido al hábitat extremo donde se desarrollan, están en una constante competencia por los recursos nutricionales. Esto conlleva a producir metabolitos bioactivos para colonizar nichos ecológicos y competir con otros microorganismos (Tindall, 2004).

La finalidad de esta investigación consiste en evaluar la capacidad inhibitoria de bacterias Antárticas y endófitas de cacao, a través del método de confrontación dual que es una técnica rentable y de comprensible interpretación. Esta técnica, permite comparar el efecto de bacterias promisorias ante el desarrollo de hongos fitopatógenos que afectan los cultivos de pitahaya roja y banano, mediante la observación de los halos de inhibición entre el biocontrolador y el patógeno, el desarrollo de la investigación representa un aporte para futuras estrategias de aplicación agrícola.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Desarrollar una bioprospección de microorganismos bacterianos antárticos y de fermentación de cacao de la colección de cultivos microbianos CCM- CIBE para inhibir el crecimiento de fitopatógenos en cultivos agrícolas de importancia comercial para el Ecuador.

1.4.2 Específicos

- Realizar ensayos *in vitro* que midan la capacidad antagónica de las cepas bacterianas provenientes de la Antártida y de la fermentación del cacao para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos en dos cultivos agrícolas de importancia comercial.
- Determinar el porcentaje de inhibición de las bacterias promisorias más efectivas contra seis hongos fitopatógenos evaluados.

1.5 Hipótesis

Los microorganismos bacterianos antárticos y de fermentación de cacao generan una inhibición en el crecimiento de hongos fitopatógenos en cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*) y banano (*Musa spp.*).

Capítulo 2

Fundamentación Teórica

2.1 Cultivos de Banano (*Musa spp.*)

Ecuador es considerado líder en la producción y exportación de banano a nivel global. En el 2022, la Asociación de Exportadores de Banano del Ecuador, determinó que se exportaron 234,42 millones de cajas de banano. Dentro de estas cifras la Unión Europea representa un 26,67 % de participación en las exportaciones globales de nuestro país, posicionándose como principal destino de exportación (León Ajila et al., 2023).

Las extensas plantaciones de banano en nuestro país, si bien incentivan un mayor volumen de producción, también conllevan a la generación de considerables pérdidas en los cultivos, impactando de forma significativa en la economía nacional. Diversos factores, tanto bióticos (plagas) como abióticos (condiciones climáticas), sumados a las deficiencias en el manejo técnico (controles), son los responsables de estas mermas relevantes en la producción de la mencionada especie (INIAP, 2023).

2.2 Hongos fitopatógenos en cultivos de Banano (*Musa spp.*)

Las enfermedades y plagas, generadas ante la acción de diversos hongos fitopatógenos, representan amenazas significativas para el cultivo del banano. La acción de estos agentes causales, genera problemáticas que pueden alterar la estabilidad de la planta, absorción de agua y nutrientes, la fotosíntesis y, en última instancia, el rendimiento y la calidad de la producción (Rojas, 2013). A continuación, se describen algunas especies de los principales géneros de hongos fitopatógenos en banano, tales como *Curvularia*, *Fusarium* y *Lasiodiplodia*.

2.2.1 *Curvularia alcornii*

Es un hongo, responsable de ocasionar pérdidas de los frutos de banano en periodos poscosecha. Al colonizar las especies vegetales, permite la aparición de manchas de color marrón, las cuales se multiplican, generando colonias visibles sobre gran parte de la superficie. Finalmente, dichas colonias proliferan hasta alcanzar la pudrición total del mismo (Baral & Thapa, 2022).

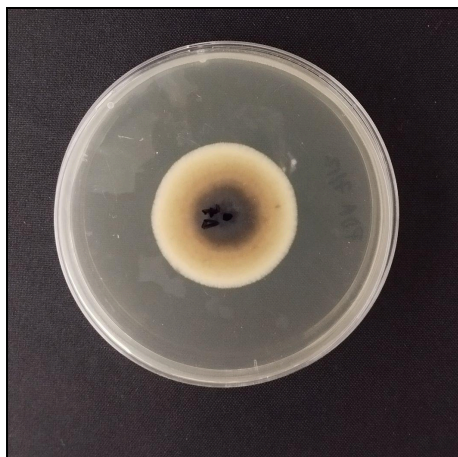


Figura 1. *Curvularia alcornii*. Colonia circular pequeña, de superficie lisa. Con anillos de color café, amarillo blanquecino y bordes irregulares.

2.2.2 *Fusarium globosum*

Es un microorganismo perteneciente al género *Fusarium*, conocido por causar diversas patologías en las plantas, tales como: marchitez vascular, la pudrición de las raíces y marchitamiento en cultivos tales como el banano.

Cuando estos hongos no poseen un organismo hospedero, son capaces de sobrevivir en el suelo, ya sea en forma de micelio o esporas. Al entrar en contacto con la especie vegetal, penetran la raíz y a su vez colonizan el tallo, ingresando por el sistema vascular (Fertilab, 2018).

Las condiciones ambientales que favorecen la propagación de dichos microorganismos son la humedad y la temperatura. La falta de oxígeno y la variación en las condiciones de almacenamiento de los frutos, son precursores para su desarrollo (Camacho et al., 2014).

Su acción patológica se basa en la producción de micotoxinas, llamadas fumonisinas. Estas sustancias producidas por el hongo durante el cultivo y almacenamiento de la especie vegetal, afectan la calidad de los frutos. Además, consumir alimentos infectados por micotoxinas resultan perjudiciales para la salud humana, pudiendo desencadenar en problemas como intoxicaciones crónicas, cáncer de esófago, intestinos, daños hepáticos, entre otros (Torres & López, 2010).

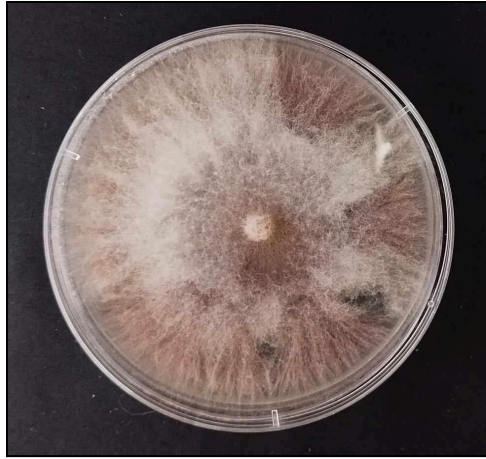


Figura 2. *Fusarium globosum*. Colonia filamentosa aérea, de color rosa y blanco, textura seca y plumosa.

2.2.3 *Fusarium verticillioides*

Es el principal responsable de la generación de plagas tales como: pudrición y marchitamiento en cultivos de maíz, así como también en banano, cacao, trigo, entre otros. Esta especie genera grandes pérdidas en las plantaciones, y limita la productividad de los cultivos. Es considerado un organismo necrótrofo debido a su capacidad de ocasionar la muerte en el tejido de la especie hospedera y sobrevivir de manera independiente como saprófito (de la Torre et al., 2014).

Los daños ocasionados por pudrición en la raíz, se propagan en las partes aéreas de la planta, y finalmente en los frutos. Esto surge a causa de la interacción de diversos factores tales como: la virulencia de la cepa, el estadio de la especie vegetal y las condiciones ambientales. La humedad y el calor, favorecen a la propagación de este hongo (de la Torre et al., 2014).



Figura 3. *Fusarium verticillioides*. Hongo filamentoso plano de coloración blanquecina, bordes irregulares y textura densa.

2.2.4 *Lasiodiplodia pseudotheobromae*

Es un hongo cosmopolita con un amplio rango de hospederos el cual se propaga principalmente en especies tropicales y subtropicales. Es capaz de producir enfermedades como: tizón de la hoja, gomosis, necrosis, pudrición de raíz, tallo y fruto lo que genera la muerte descendente de la planta (EFSA, 2023) y sus daños pueden representar entre un 30 y 50% de los cultivos (Picos et al., 2015).

L. pseudotheobromae es un microorganismo saprófito, considerado un patógeno latente, debido a que se presenta de manera endófito en los tejidos sanos de la planta, convirtiéndose en un agente patógeno cuando el hospedero se encuentra estresado o presenta cambios bruscos en su entorno (Picos et al., 2015).



Figura 4. *Lasiodiplodia pseudotheobromae*. Crecimiento micelial algodonoso aéreo, con una coloración grisácea blanquecina.

2.3 Cultivos de Pitahaya roja (*Selenicereus undatus*)

El cultivo de pitahaya genera un importante ingreso de divisas para Ecuador. En el año 2022, el país exportó más de 23 mil toneladas de la fruta generando ingresos de más de 99 millones de dólares. Actualmente, nuestro país exporta pitahaya a 56 países del mundo, lo que genera grandes beneficios a los productores ecuatorianos. Esto permite fomentar el empleo creando bases comerciales sólidas, y la incidencia de productos ecuatorianos en perchas internacionales. El principal destino de exportación para dicho producto es Estados Unidos, seguido por Canadá, Colombia y Singapur (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca, 2023).

En Ecuador existen 1.528 hectáreas de producción de pitahaya. 2.260 productores registrados están vinculados con la exportación de este rubro, lo que genera importantes fuentes de empleo para los pequeños y grandes agricultores. Las provincias con mayor producción de esta fruta son Morona Santiago, Manabí y Guayas (El Universo, 2022).

2.4 Hongos fitopatógenos en cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*)

En el caso de la pitahaya roja existen varias plagas que afectan su producción. A continuación, se describen algunas especies de los principales géneros de hongos fitopatógenos en pitahaya, tales como *Curvularia* y *Fusarium*.

2.4.1 *Curvularia cactivora*

Es un hongo hifomiceto perteneciente al género *Curvularia*, los cuales son responsables de producir antracnosis en pitahaya roja. Produce un marchitamiento en las hojas, tallos y frutos, así como la aparición de manchas necróticas en la superficie del mismo. Esto permite que se propague hasta ocasionar una pérdida total de la especie vegetal en mención (Tapia, 2019).



Figura 5. *Curvularia cactivora*. Colonia circular algodonosa, de superficie lisa negruzca . Elevación plana con bordes enteros.

2.4.2 *Fusarium falciforme*

Es uno de los principales agentes causales de marchitez y pudrición basal del fruto en pitahaya. Esta enfermedad inicia mediante la aparición de una mancha amarillenta en el tallo y se propaga hasta el centro del fruto, afectando hasta un 50% de la superficie del mismo (Salazar et al., 2016).

A nivel morfológico sus micelios son blancos y de aspecto esponjoso, posee hifas septadas, microconidios ovalados, macroconidios en forma de hoz y sus clamidosporas poseen forma esférica. Todas estas características, permiten diferenciarlo de otros microorganismos derivados de la misma especie (Arroyo, 2023).



Figura 6. *Fusarium falciforme*. Crecimiento micelial plano, de forma circular, algodonoso con una coloración blanquecina.

2.5 Antagonismo microbiano

Este concepto se da a partir de microorganismos tales como bacterias, levaduras, y hongos que tienen la capacidad de desempeñar un rol de control biológico sobre diferentes patógenos que han sido objeto de estudio. Esto con el fin de generar un control para diferentes enfermedades en cultivos tanto de frutos como vegetales (Hernández et al., 2006).

El antagonismo microbiano tiene como principal fundamento la inhibición. Este proceso desencadena en el deterioro o deceso de un tipo de microorganismo por acción de otro. Se conoce que numerosos microorganismos saprófitos y endófitos de la rizosfera, filosfera, y la epiflora, protegen a las plantas contra patógenos. Actualmente, el término antagonismo ha ganado popularidad, ya que representa una alternativa menos invasiva para proteger a los cultivos de infecciones y futuras pérdidas (Pérez et al., 2014).

2.6 Fuentes de microorganismos antagónicos

2.6.1 Microorganismos bacterianos de la Antártida

El continente Antártico apenas presenta un 0,34 % de superficie que está libre de hielo. La biodiversidad en esta zona inhóspita es poco conocida en comparación con otras regiones de la Tierra por sus severas condiciones climáticas y la escasez de hábitats adecuados (Convey et al., 2009).

Las bacterias que habitan la Antártida han adoptado peculiares estrategias de supervivencia para lograr ventajas competitivas. La actividad antagónica puede

contribuir a la adaptación de las bacterias antárticas a temperaturas permanentemente bajas al reducir la presencia de microorganismos competitivos (Nuñez-Montero & Barrientos, 2018).

Estos entornos únicos y poco explorados se han convertido en alternativas para descubrir nuevos metabolitos secundarios a partir de bacterias. A razón de su entorno polar extremo, se reporta que las bacterias antárticas son una fuente potencial de nuevos compuestos antimicrobianos (Nuñez-Montero & Barrientos, 2018).

2.6.2 Microorganismos bacterianos de la fermentación del cacao

La fermentación del cacao es una técnica empleada para la obtención del chocolate, durante su proceso muchos microorganismos se producen en condiciones aerobias y anaerobias, a fin de eliminar la pulpa que envuelve a los granos de cacao mediante la despolimerización de pectina, así como también la producción de metabolitos tales como: alcoholes, aldehídos, ácidos orgánicos, ésteres, entre otros, los cuales son fundamentales, para la fermentación y producción de dicho alimento (Cevallos et al., 2018).

Entre los microorganismos que se conocen que aportan el aroma en el proceso de fermentación se encuentran las levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida sp.*, *Kluyveromyces marxianus*, entre otras) así como también bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus mesenteroides*, *Weisella fabaria*, etc.). Las cuales se encargan de producir ácido láctico mediante la fermentación de azúcares en la pulpa tales como glucosa y fructosa. Otras bacterias presentes en la fermentación de cacao son las bacterias ácido acéticas (*Acetobacter pasteurianus*, *A. ghanaensis*, *A. senegalensis*, *Gluconobacter oxydans*) las cuales son responsables de la oxidación de etanol ácido acético, así como también diversas bacterias aerobias formadoras de esporas (*Bacillus spp.*) , quienes son responsables de generar compuestos químicos que contribuyen en la acidez de los granos de cacao (Rodríguez Velázquez et al., 2022).

El uso de estos microorganismos, podrían considerarse como potenciales en el uso de biocontrol, estudios han demostrado que bacterias endófitas aisladas del cacao tienen una gran capacidad antagónica en la inhibición de microorganismos como *Phytophthora sp* y *Colletotrichum sp.* (Wijaya et al., 2023).

2.7 Medios de cultivo

2.7.1 Potato dextrosa agar (PDA)

Es un medio de cultivo empleado para el crecimiento de hongos y levaduras. Debido a su alto contenido nutricional, es comúnmente empleado como recurso para facilitar y promover el crecimiento fúngico (Bioser, 2023).

Este medio, está compuesto por extracto de papas, lo cual aporta gran variedad de nutrientes esenciales, tales como carbohidratos y sales minerales, que son de vital importancia para el desarrollo y el crecimiento de los hongos. Esto permite la expresión de estructuras que facilitan la identificación de especies, así como también facilita el recuento colonial. La dextrosa es una fuente de energía muy importante para el metabolismo de los hongos (Valtek, 2018).

Es posible combinar este medio con antibióticos tales como el cloranfenicol para evitar el crecimiento bacteriano, ya que esto y su pH ligeramente ácido inhiben el desarrollo de muchas especies de bacterias.

Para el caso de este estudio, el medio PDA será necesario al momento de la reactivación de hongos fitopatógenos. Además, dentro de los ensayos dual, la placa Petri contiene medio PDA. Esto con el fin de procurar el crecimiento del hongo estando incluso bajo condiciones favorables, y luego analizar el aumento a nivel micelar

2.7.2 Tripticasa soya agar (TSA)

Es un medio nutritivo que favorece el desarrollo de bacterias extremófilas, como aquellas que provienen de ambientes que poseen bajas o altas temperaturas, ya sean: aerobias, anaerobias o facultativas.

La tripteína y la peptona de soya aportan diversos nutrientes ricos en péptidos, vitaminas y minerales. De igual manera, la peptona de soya es una fuente de hidratos de carbono que promueven el crecimiento bacteriano. Por otro lado, dicho medio contiene cloruro de sodio, el cual se encarga de mantener el balance osmótico en el medio, y el agar es el agente solidificante (Britania, 2021).

Como se menciona en la bibliografía, este medio de cultivo será propicio para el crecimiento de bacterias extremófilas. Entre los ejemplares tenemos: bacterias provenientes de suelos antárticos y de fermentaciones de cacao.

2.7.3 Luria Broth (LB)

El caldo LB, es un medio que contiene peptona de caseína y extracto de levadura, los cuales aportan nutrientes necesarios para el desarrollo de microorganismos en medio líquido. Es un medio específico para bacterias, está compuesto por vitaminas, minerales, y oligoelementos, los cuales proporcionan recursos necesarios para su crecimiento (DIBICO, 2022). La utilidad de este medio, viene dado por su versatilidad y rápida capacidad para identificar la presencia de bacterias en suspensión.

2.8 Método de confrontación dual

Es una técnica que se basa en demostrar la interacción entre dos organismos, con el fin de determinar su acción antagonista mediante la presencia de un halo inhibitorio, entre las colonias bacterianas y las hifas del hongo (Pliego et al., 2023).

Este método consiste en colocar discos miceliales del agente patógeno y una muestra del microorganismo benéfico en cada extremo del agar. En donde se procede a medir diariamente el crecimiento del hongo para sí establecer si se produce una relación antagónica entre ambos. Esto puede llevarse a cabo, debido a la competitividad de recursos entre microorganismos, así como también a causa de la proliferación de metabolitos secundarios que reprimen el crecimiento del otro (Nuero, 2024).

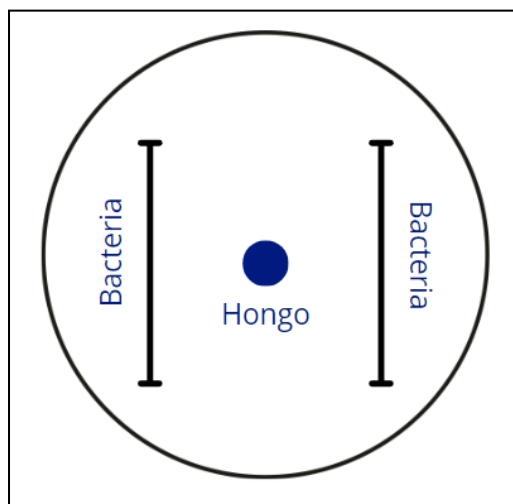


Figura 7. Diagrama ilustrativo del método de confrontación dual.

Capítulo 3

Materiales y métodos

De acuerdo a los objetivos de la presente investigación, este capítulo muestra la metodología seguida con el fin de lograr lo propuesto. Se detallan las diferentes etapas, procedencia de las muestras, uso de medios de cultivo indicados para cada caso, y por último el tratamiento para la interpretación de los datos analizados.

3.1. Material biológico

Los microorganismos, fueron obtenidos de la Colección de Cultivos Microbianos del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CCMCIBE). De un total de 94 bacterias, se emplearon 48 bacterias derivadas de suelos antárticos y 46 bacterias obtenidas mediante fermentación de cacao. Estos ejemplares se encontraban correctamente identificados y con porcentajes de identidad mayores al 97% % tomando como referencia la base de datos del NCBI (National Center of Biothecnology Information).

De la misma manera, para este estudio se seleccionaron seis hongos fitopatógenos identificados en la colección: dos patógenos asociados a daños en el fruto de la pitahaya roja (*Curvularia cactivora*, y *Fusarium falciforme*) y cuatro relacionados con afecciones en la corona de banano (*Curvularia alcornii*, *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, *Fusarium globosum*, y *Fusarium verticillioides*).

3.2. Reactivación de bacterias

Las bacterias seleccionadas en la base de datos de la colección de cultivos microbianos de CIBE (CCMCIBE), fueron reactivadas del cepario que se encontraban a una temperatura de -80°C en crioviales. Se procuró el descenso paulatino de temperatura desde el ultracongelador, siguiendo los lineamientos de la colección (Maridueña Zavala et al., 2021). Los procesos de inoculación y resiembra se llevaron a cabo en una cabina de flujo desinfectada con alcohol al 70% y luz UV por 10 min. Una vez que se tuvieron las condiciones asépticas en la cámara, se procedió con la siembra, para esto fue necesario contar con asas de siembra, mechero, cajas petri con medio y gradillas.

La metodología de reactivación de las bacterias se realizó siguiendo el protocolo de (Rocha et al., 2019). Inicialmente, las cepas fueron sembradas en medios de Trypticosa soya agar (TSA) con técnicas de estriado usando un asa y puestas a incubación, en

donde las cepas de cacao fueron colocadas a 28°C, durante un periodo de 48-72 horas, y las bacterias antárticas fueron colocadas a 4°C durante 5 días aproximadamente. Posteriormente, se realizó una resiembra en medio líquido, a través de tubos Falcon de 50 mL con 30 mL de caldo Luria Broth (LB), que previamente fueron autoclavados y esterilizados. Los tubos fueron colocados en las condiciones anteriormente descritas para cada grupo de bacterias. Luego de los tiempos correspondientes es posible apreciar la presencia de bacterias en suspensión gracias a la diferencia de turbidez dentro de los tubos (anexo 1).

3.3. Siembra de hongos fitopatógenos

Se reactivaron los hongos fitopatógenos mencionados en el apartado de material biológico, siguiendo el método (Pope & Hill, 2018) de los cuales se realizaron por duplicado en medio de cultivo PDA suplementado con antibióticos (gentamicina, ampicilina y cloranfenicol).

La siembra se realizó con el uso de un sacabocados, se extrajeron discos de cada hongo, los cuales fueron sembrados en el centro de la placa, para luego ser incubados durante 7 días a una temperatura de 28°C.

3.4. Diseño experimental

Para este estudio, se realizó un diseño de tipo exploratorio (Nilsen et al., 2020). En donde se seleccionaron los seis patógenos detallados anteriormente, debido a su importancia en los cultivos de interés a evaluar y porque se encontraban correctamente identificados y viables dentro del centro de investigaciones de la Colección CCM-CIBE. Los patógenos se colocaron en enfrentamientos duales, a fin de evaluar el efecto antagonista de dos microorganismos a la vez, posteriormente, las bacterias con más capacidad, fueron sometidas a enfrentamientos uno a uno (bacteria-hongo) para mayor control de registros.

Tabla 1. Diseño de experimento. (Los autores, 2024)

Tipo de diseño	Exploratorio	
Microorganismos de estudio	Bacterias de fermentaciones de cacao y Bacterias de Antártida	
Hongos fitopatógenos a evaluar		Cultivo asociado a daños por el hongo

<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i> CCM-9B	<i>Musa spp.</i>
<i>Fusarium verticillioides</i> CCM-5A	<i>Musa spp.</i>
<i>Curvularia alcornii</i> CCM-7A	<i>Musa spp.</i>
<i>Fusarium globosum</i> CCM-18B	<i>Musa spp.</i>
<i>Curvularia cactivora</i> CCM-H1113	<i>Selenicereus undatus</i>
<i>Fusarium falciforme</i> CCM-H1119	<i>Selenicereus undatus</i>

3.5. Pruebas de confrontación dual

La metodología a emplear para estas pruebas se basó en el método de (Nysanth et al., 2022), en donde se midió la capacidad inhibitoria de las bacterias ante el crecimiento micelial de los hongos fitopatógenos seleccionados en este estudio (Pinzón et ál., 1999). Los ensayos se realizaron en medio de cultivo PDA. De esta manera, el hongo fue colocado en el centro de la placa Petri y en los extremos opuestos se inocularon dos bacterias de distinta especie a modo de barrera (figura 8) según un protocolo adaptado propuesto por (Nysanth et al., 2022).

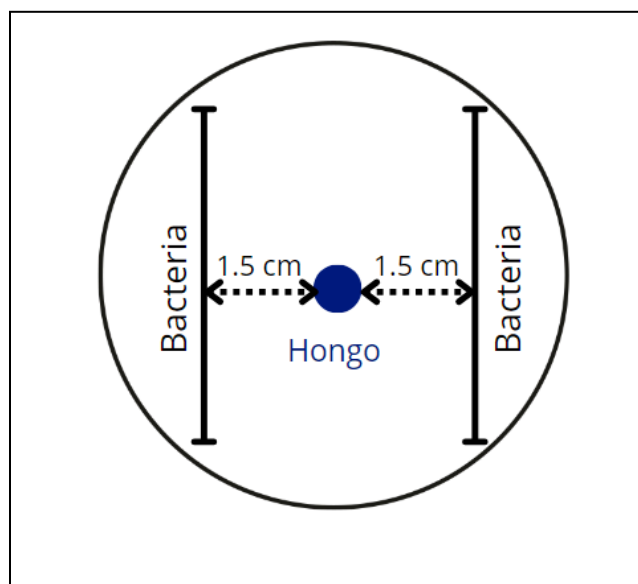


Figura 8. Esquema de mediciones para enfrentamiento dual

3.6. Bacterias promisorias

Las bacterias que presentaron actividad inhibitoria fueron sometidas a un enfrentamiento antagonista una a una. Se realizaron ensayos *in vitro* propuestos en 2008 por Khamma et al., modificados, inoculando el hongo y la bacteria a 3cm de distancia de los extremos de la placa en agar PDA según es mostrado en la figura 9.

Se determina una caja de control por cada hongo fitopatógeno seleccionado, los cuales fueron inoculados en el centro de la caja petri. De este modo, es posible comparar el crecimiento micelial, con los hongos fitopatógenos bajo tratamiento. Tanto para cada tipo de bacterias, como para sus controles, se emplearon las condiciones de crecimiento descritas anteriormente según la procedencia de las bacterias.

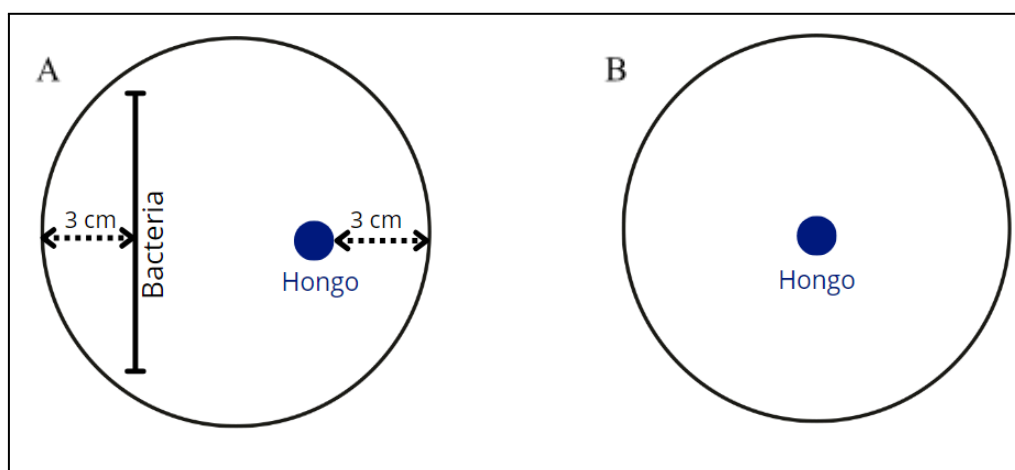


Figura 9. A) Esquemas de medición por enfrentamiento uno a uno, B) Tratamiento control.

3.7. Crecimiento radial

Para determinar el incremento radial y el halo inhibitorio de cada bacteria, se realizaron mediciones diarias durante 7 días con respecto al micelio de cada uno de los hongos fitopatógenos enfrentados. Además, se midieron los hongos de control, con el fin de comparar el efecto de la presencia de bacterias en el crecimiento fúngico (anexos 3, 4).

La distancia de halo de inhibición bacteriano corresponde al espacio entre la inoculación de la bacteria y el crecimiento límite del hongo. Para estas mediciones se empleó una regla milimetrada, siguiendo la metodología de (Herrera, 1999).

3.8. Análisis estadístico

Para la evaluación de las bacterias con potencial biocontrolador, se midió el halo y el porcentaje de inhibición. Para el halo de inhibición se midió la distancia entre la cepa de la bacteria y la del hongo al séptimo día de las evaluaciones siguiendo la metodología de (Khamma et al., 2008). Para la obtención del porcentaje de inhibición se tomaron los datos del séptimo día en relación al crecimiento del hongo. Con esto el porcentaje de inhibición se calculó bajo la fórmula empleada por (Khamma et al., 2008).

$$PIC = C - T / C \times 100$$

Donde:

PIC: porcentaje de inhibición del crecimiento

C: crecimiento de la colonia del fitopatógeno en control

T: crecimiento de la colonia del hongo fitopatógeno en cultivo dual.

Una vez obtenidos los datos para cada una de las bacterias, a través de la herramienta Power BI se realizan gráficos de barras. Las barras están dadas por la relación entre la columna del nombre de la bacteria y el porcentaje de inhibición. Así, es posible analizar visualmente cuáles fueron las bacterias con mejor capacidad.

Como subsiguiente se analizó el crecimiento diario de las bacterias que mostraron mejor capacidad inhibitoria para cada hongo. Mediante gráficos de líneas y puntos se muestra la secuencia de crecimiento del hongo control vs el crecimiento del hongo bajo el tratamiento con la bacteria. Las variables por comparar fueron los días y el crecimiento dado en centímetros del micelio en placa (anexos 3 y 4).

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1. Evaluación de capacidad antagonista

Mediante las pruebas de cultivo dual inicial se obtuvo que un total de 52 de las bacterias preliminares mostraron actividad antifúngica contra al menos uno de los seis hongos fitopatógenos (anexo 2), de las cuales 27 bacterias corresponden a fermentaciones de cacao y 25 pertenecen al grupo de bacterias de la Antártida, como se muestra en la figura 10. Este ensayo permitió depurar la lista con aquellas bacterias que no presentaban actividad antagonista frente a los hongos, como en el caso de *L. pseudotheobromae*, el cual registró resistencia ante las bacterias de la Antártida (figura 10e). Mientras que las bacterias de cacao mostraron gran potencial antagonista (figura 10c,d).

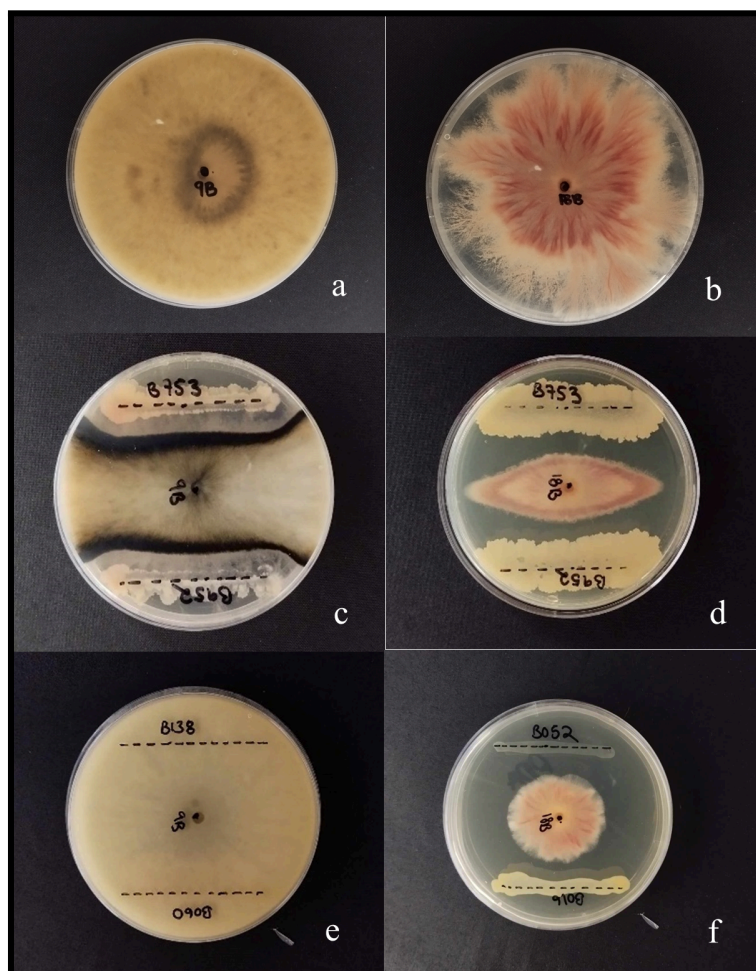


Figura 10. Ilustración de prueba de antagonista mediante la técnica de cultivo dual con hongos fitopatógenos vs bacterias. Los microorganismos se cocultivaron en placas para ser incubadas durante 7 días. (a) Control *Lasiodiplodia pseudotheobromae*; (b) Control *Fusarium globosum*; (c) *L. pseudotheobromae* en tratamiento con bacterias de fermentación de cacao: B753 *Bacillus amyloliquefaciens*, B952 *Lactiplantibacillus fabifermentans*; (d) *F. globosum* en tratamiento con bacterias de fermentación de cacao: B753 *Bacillus amyloliquefaciens*, B952 *Lactiplantibacillus fabifermentans*; (e) *L. pseudotheobromae* en tratamiento con bacterias de Antártida: B138 *Leifsonia antarctica*, B060 *Pseudomonas sp.*, no se observa inhibición (-); (f) *F. globosum* en tratamiento con bacterias de Antártida: B052 *Pseudomonas kitaguniensis*, B016 *Pseudomonas sp.*

4.2. Efecto de bacterias promisorias en el crecimiento de hongos fitopatógenos

Las bacterias que mejor resultados de inhibición mostraron en la evaluación inicial se detallan en la tabla 2. Según la literatura, por lo general si el índice inhibitorio sobrepasa el 20%, el hongo probado se considera inhibido (Chang et al., 2007). En base a esto, de cada grupo de hongos, se seleccionaron bacterias con los tres valores más altos en relación a este porcentaje.

Tabla 2. Bacterias con porcentajes de inhibición destacados. (Los autores, 2024)

Procedencia	Bacteria	Hongo fitopatógeno	Porcentaje de inhibición
Fermentaciones de cacao	<i>Acetobacter papayae</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	54,28 %
	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	55,71%
	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	62,85%
	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Fusarium globosum</i>	52,94%
	<i>Acetobacter papayae</i>	<i>Fusarium globosum</i>	57,64%
	<i>Bacillus siamensis</i>	<i>Fusarium globosum</i>	60%
	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	45,88%
	<i>Bacillus siamensis</i>	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	44,70%

	<i>Pantoea dispersa</i>	<i>Lasiodiplodia pseudotheobromae</i>	43,52%
	<i>Bacillus siamensis</i>	<i>Curvularia alcornii</i>	46,66%
	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	<i>Curvularia alcornii</i>	48,33%
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Curvularia alcornii</i>	46,66%
	<i>Bacillus siamensis</i>	<i>Curvularia cactivora</i>	55,29%
	<i>Ralstonia sp.</i>	<i>Curvularia cactivora</i>	55,29%
	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	<i>Curvularia cactivora</i>	55,29%
	<i>Bacillus siamensis</i>	<i>Fusarium falciforme</i>	53,84%
	<i>Acetobacter sp.</i>	<i>Fusarium falciforme</i>	40%
	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	<i>Fusarium falciforme</i>	38,46%
Antártida	<i>Pseudomonas antarctica</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	32,05%
	<i>Ralstonia pickettii</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	29,48%
	<i>Pseudomonas protegens</i>	<i>Fusarium verticillioides</i>	34,61%
	<i>Pseudomonas brenneri</i>	<i>Fusarium globosum</i>	29,41%
	<i>Pseudomonas protegens</i>	<i>Fusarium globosum</i>	29,41%
	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	<i>Fusarium globosum</i>	28,23%
	<i>Pseudomonas brenneri</i>	<i>Curvularia alcornii</i>	20,45%
	<i>Pseudomonas protegens</i>	<i>Curvularia cactivora</i>	38,46%
	<i>Sporosarcina aquimarina</i>	<i>Curvularia cactivora</i>	23,07%
	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	<i>Fusarium falciforme</i>	30,43%
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Fusarium falciforme</i>	27,53%

*Pseudomonas sp.**Fusarium falciforme*

20,28%

Finalmente, se tiene de forma *in vitro* la evaluación de la capacidad inhibidora del grupo de bacterias promisorias (figura 11). Aunque de manera visual parezca que un tratamiento con una bacteria inhibe mejor que otra, no es hasta conocer el valor arrojado por la fórmula cuando se constata la capacidad de la bacteria para detener el crecimiento del hongo dentro de la placa.

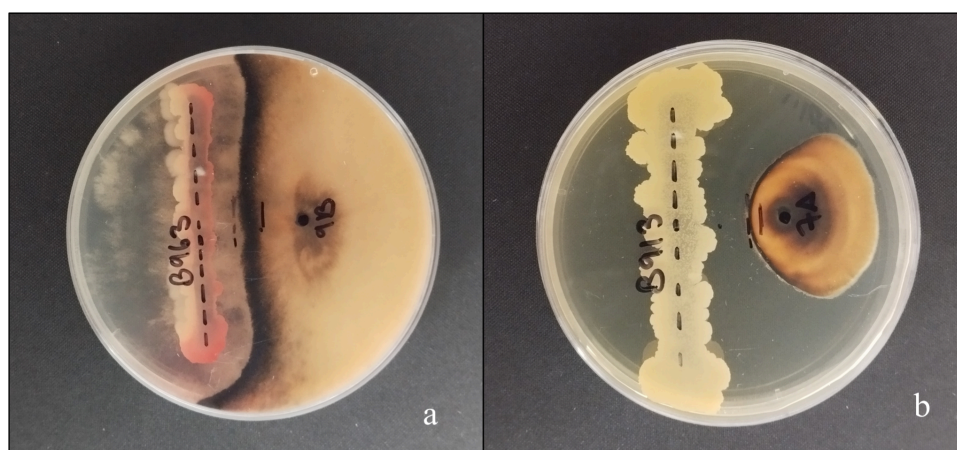


Figura 11. Ilustración de la evaluación *in vitro* de capacidad antagonica de las bacterias promisorias. (a) Enfrentamiento de hongo *Lasiodiplodia pseudotheobromae* vs *Bacillus cereus* con porcentaje de inhibición obtenido de 42,88%; (b) Enfrentamiento de hongo *Curvularia alcornii* vs *Bacillus siamensis* con porcentaje de inhibición obtenido de 50%.

4.2.1 Inhibición de crecimiento de hongos fitopatógenos vs bacterias de fermentaciones de cacao

Los resultados de porcentaje de inhibición de las 27 bacterias de cacao que mejor potencial biocontrolador mostraron en las evaluaciones iniciales se muestran en el anexo 3. En donde podemos observar que para el hongo *F. verticillioides*, 3 bacterias presentaron porcentajes altamente significativos mayores al 50% (*Acetobacter papayae*, *Bacillus cereus* y *Leuconostoc pseudomenesteroides*) (figura 12). Siendo la cepa de *Bacillus cereus*, con un 62,85%, la que demostró un mayor potencial en la disminución del crecimiento micelial del patógeno en mención. Y de la misma manera al medir su halo de inhibición se obtuvo que registra una distancia de 1 cm entre el micelio del hongo y la bacteria.

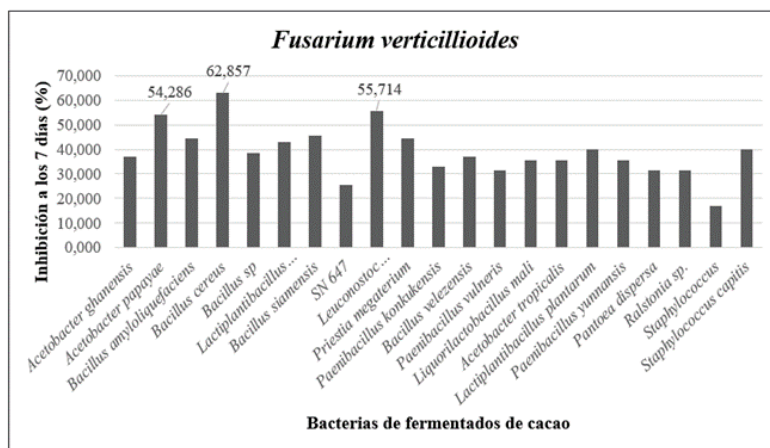


Figura 12. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Fusarium verticillioides*.

Con respecto al hongo *Fusarium globosum* los tres mejores resultados corresponden a *Acetobacter papayae*, *Bacillus cereus*, *Bacillus siamensis*. Esta última, *Bacillus siamensis* presenta un mayor índice de inhibición correspondiente al 60% (figura 13). Para el hongo *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, la mayoría de las cepas que lograron inhibir a este patógeno, son las bacterias que comprenden al género *Bacillus*. Siendo: *B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. siamensis*, quienes presentaron mayor porcentaje inhibitorio ante dicho patógeno (figura 14). En donde *B. cereus*, inhibió al microorganismo en un 45,88%.

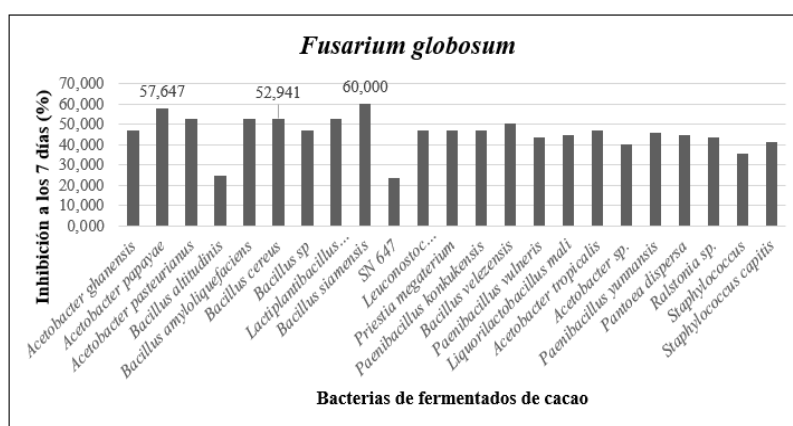


Figura 13. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Fusarium globosum*.

En el caso de *Curvularia alcornii*, 22 cepas bacterianas demostraron actividad antagonista (figura 15), lo que representa el 81,5% de las bacterias estudiadas. Las bacterias probadas en *C. cactivora*, en su mayoría lograron contrarrestar el crecimiento

micelial de dicho hongo (figura 16). En donde de las 26 bacterias, la mayoría presentaron un índice inhibitorio mayor al 50%.

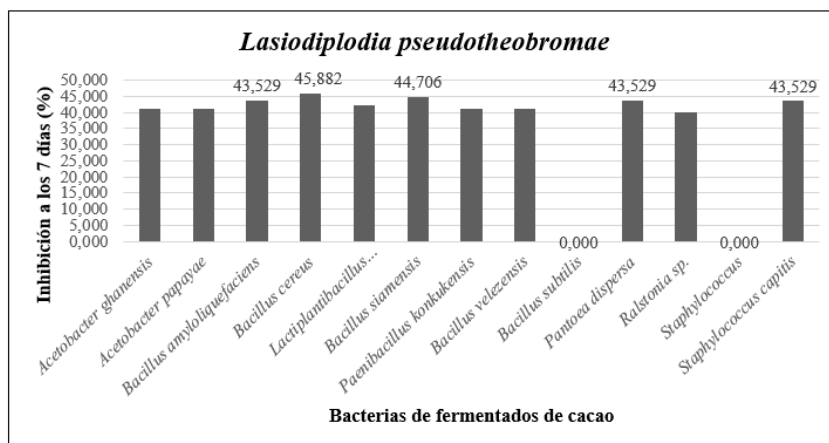


Figura 14. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Lasiodiplodia pseudotheobromae*.

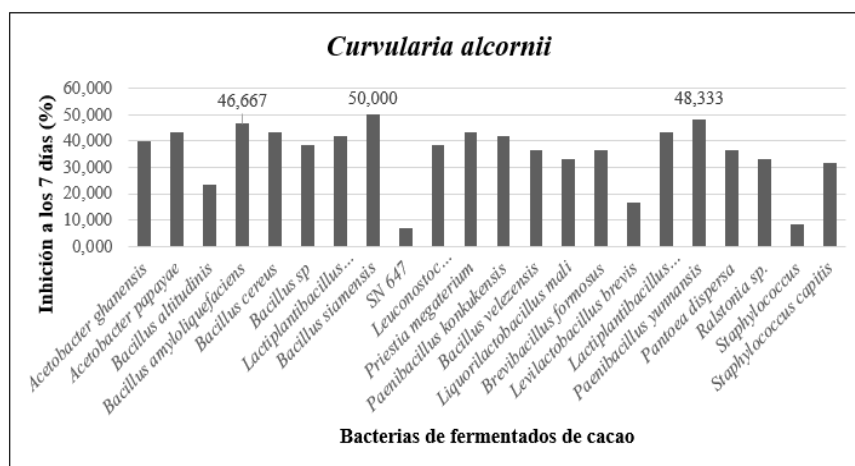


Figura 15. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Curvularia alcornii*.

En *F. falciforme*, 24 bacterias mostraron un índice inhibitorio en el crecimiento radial del hongo. Siendo *Bacillus siamensis*, con un 53,48% quien presentó una mayor capacidad inhibitoria (figura 17). Seguido por *Acetobacter sp.* con un 40% de inhibición fúngica, el cual resulta altamente efectivo en los procesos de inhibición debido a su capacidad de producir ácido acético, el cual se encarga de regular el crecimiento y la esporulación de hongos tales como el hongo fitopatígeno en mención (Manzo Valencia, 2016).

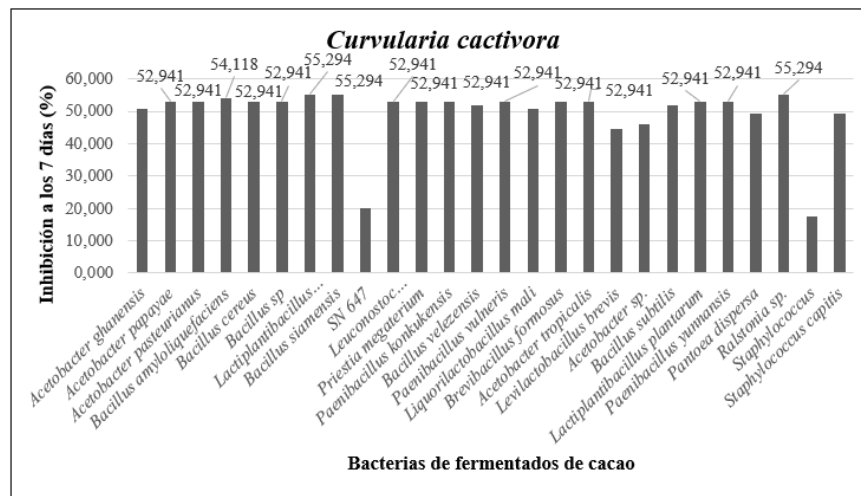


Figura 16. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Curvularia cactivora*.

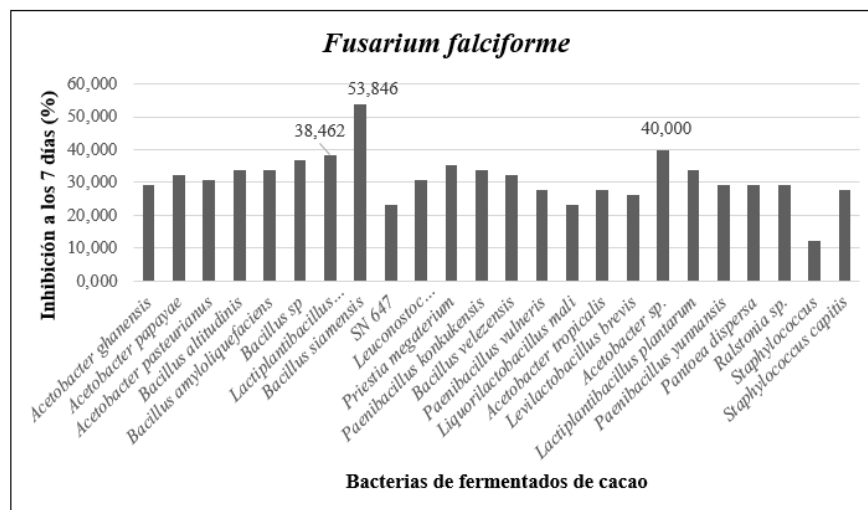


Figura 17. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de cacao en *Fusarium falciforme*

En los resultados obtenidos con *F. verticillioides* y *F. globosum* observamos una mejor respuesta con el género *Bacillus*, como ya se describió anteriormente, el género *Bacillus* posee un alto potencial como agente biocontrolador. *Bacillus*, es una de las especies mayormente estudiadas como medio de control biológico, debido a su capacidad de producir metabolitos antimicrobianos y antifúngicos, los cuales dificultan o interfieren de manera significativa en el considerable desarrollo de organismos externos (Villarreal Delgado et al., 2018). Sin embargo, *Bacillus siamensis* es una de las cepas altamente

prometedoras en el uso de biofungicidas, debido a su capacidad de producir lipopéptidos antifúngicos, los cuales inhiben la proliferación de conidios en hongos fitopatógenos como *Fusarium globosum* (Huang et al., 2022). En un estudio realizado en el año 2007, por Chang et al., en donde se evalúa la capacidad inhibitoria de diversas cepas de *B. cereus*, ante hongos fitopatógenos del género *Fusarium*, se detallan resultados similares a los presentados en este estudio. De modo tal que, el porcentaje de inhibición oscila entre el 36 y 89%. Demostrando así la efectividad de dicha bacteria como agente biocontrolador.

Al evaluar actividad antifúngica de las bacterias de cacao en el hongo *Lasiodiplodia pseudotheobromae*, se pudo determinar que únicamente alrededor de 11 bacterias, presentaron actividad antagónica ante el crecimiento micelial del hongo *L. pseudotheobromae* posee un elevado nivel de patogenicidad, ya que es el responsable de generar numerosas plagas, que comprenden desde la pudrición, hasta la muerte de los frutos en diversos cultivos vegetales. Este hongo, se caracteriza por la producción de micotoxinas tales como alternariol. Las cuales inhiben el crecimiento y senescencia de las plantas, así como también disminuyen el desarrollo de otros microorganismos (Sedeño Mota, 2021). Razón por la cual, en este estudio la mayoría de las cepas que lograron inhibir a este patógeno, son las bacterias que comprenden al género *Bacillus*. Siendo: *B. cereus*, *B. amyloliquefaciens* y *B. siamensis*, quienes presentaron mayor porcentaje inhibitorio ante dicho patógeno. En donde *B. cereus*, inhibió al microorganismo en un 45,88%.

En *Curvularia alcornii*, el porcentaje de inhibición no superó el 50%, en donde al igual que en los hongos anteriormente estudiados, las especies propias de *Bacillus*, fueron quienes presentaron un mayor potencial inhibitorio. Para esta evaluación, *Paenibacillus yunansis*, fue una de las cepas que evidenció un elevado potencial antifúngico, debido a su elevada capacidad de generar metabolitos tales como: péptidos, compuestos orgánicos volátiles y enzimas. Estas últimas, tales como: proteasas, celulasas, glucanasas y quitinasas disponen de una potente actividad antifúngica y se encargan de romper las estructuras celulares del patógeno en cuestión (Grady et al., 2016). De esta manera, seguido de *Paenibacillus yunansis* con un 48,33%, *Bacillus siamensis* presentó un índice del 50%, así como *Bacillus amyloliquefaciens* quien demostró un 46,66% de capacidad inhibitoria.

Las bacterias probadas en *C. cactivora*, en su mayoría lograron contrarrestar el crecimiento micelial de dicho hongo. En donde de las 26 bacterias, la mayoría presentaron un índice inhibitorio mayor al 50%, al ser un hongo con una fase de crecimiento lenta, está propenso a ser inhibido por las bacterias de cacao. Estas bacterias, poseen un índice de crecimiento rápido de dos días aproximadamente.

Los resultados de halos de inhibición de las bacterias de fermentación de cacao se muestran en el anexo 3. Entre los resultados destacados se observa que para *F. verticillioides*, la bacteria *B. cereus* registra 1cm de distancia; para *F. globosum*, la bacteria *B. siamensis* presenta 1 cm y por último la distancia entre *F. globosum* y *A. papayae* fue de 0,9 cm.

4.2.2. Inhibición de hongos fitopatógenos vs bacterias de Antártida

Los resultados de inhibición de los hongos fitopatógenos frente a las bacterias antárticas se muestran en el anexo 4. Donde podemos observar que de las bacterias antárticas evaluadas en *F. verticillioides*, 22 evidenciaron un efecto antagónico ante el desarrollo del mismo. Sin embargo, el mayor porcentaje de inhibición oscila entre un 34,61 % y fue producido por la cepa bacteriana *Pseudomona protegens* (figura 18). A diferencia de *F. verticillioides*, en *F. globosum* solamente 13 bacterias mostraron un efecto inhibitorio ante dicho patógeno. De las cuales todas pertenecen al género *Pseudomona*, que como se describió anteriormente, son precursoras en la producción de metabolitos antimicrobianos.

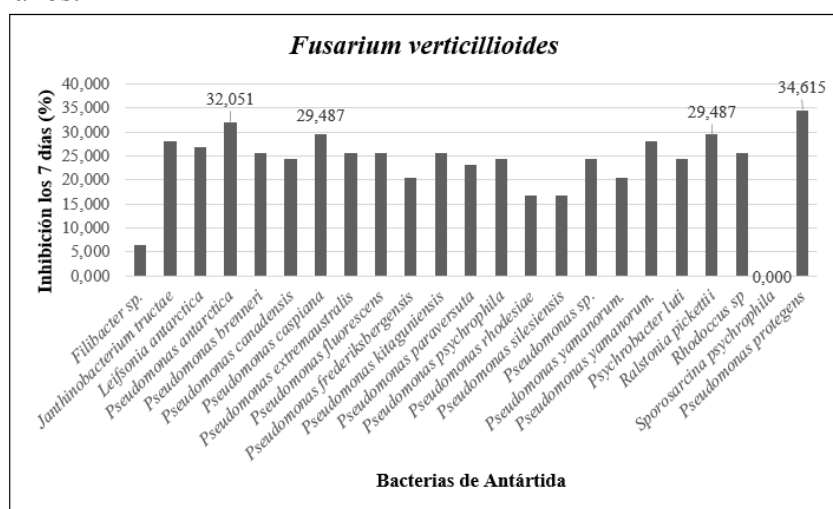


Figura 18. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en *Fusarium verticillioides*.

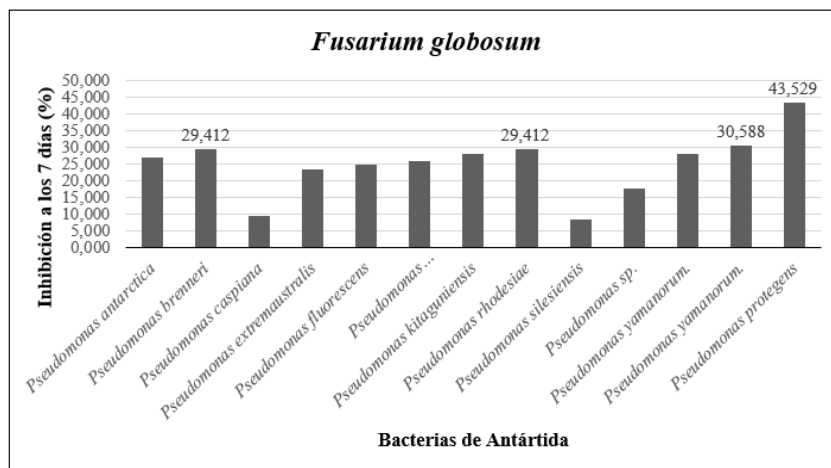


Figura 19. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en *Fusarium globosum*.

En *C. alcornii*, cinco cepas bacterianas tuvieron la capacidad de inhibir la acción de dicho hongo, en donde *P. breneri* presentó mayores resultados con un 20,45%. En la figura 20, se observa que bacterias tales como: *Pseudomonas sp.*, *P. fluorescens* y *P. silesiensis* presentaron porcentajes de inhibición negativos. Esto, como consecuencia de que el crecimiento radial del hongo control resultó menor al crecimiento radial del hongo enfrentado con dichas bacterias.

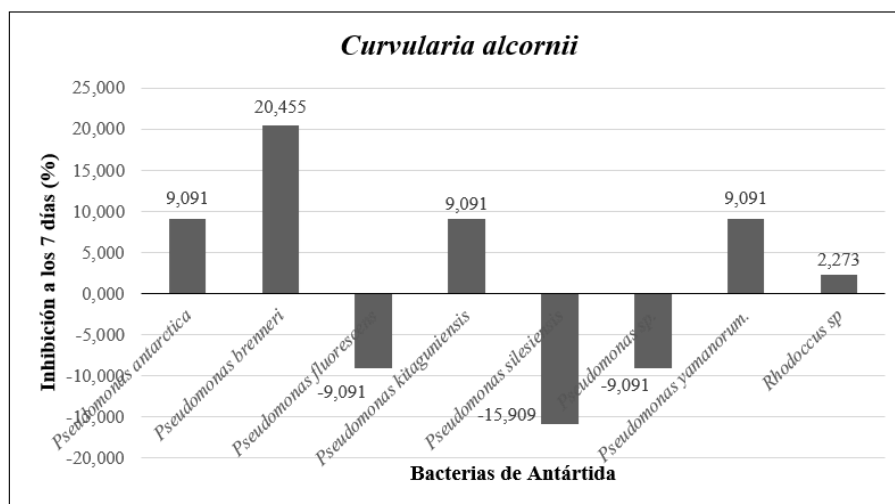


Figura 20. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en *Curvularia alcornii*.

En *C. cactivora*, 14 bacterias antárticas presentaron un efecto inhibitorio, en donde *P. protegens* y *S. aquimarina* demostraron mayores porcentajes de inhibición (38,46% y 23,07% respectivamente) (figura 21). En *F. falciforme*, 20 de las bacterias evaluadas lograron disminuir la propagación fúngica de dicho agente causal. Para lo cual. *P.*

extremaustralis inhibió en un 30,43% seguido por *Ralstonia pickettii* con un 26,08% (figura 22).

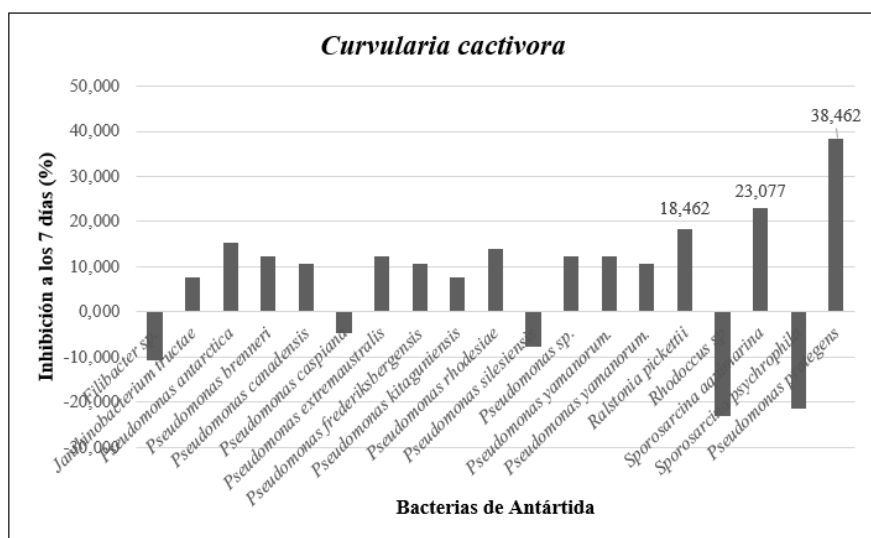


Figura 21. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en *Curvularia cactivora*.

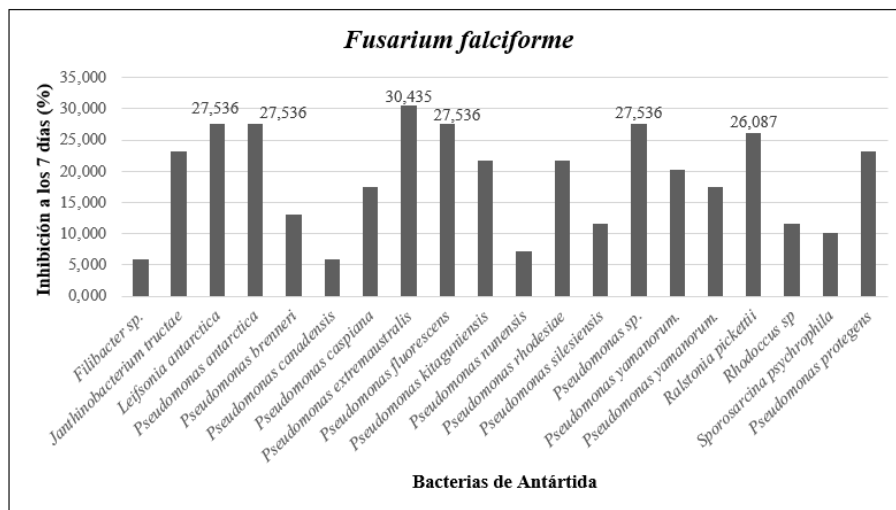


Figura 22. Gráfica de porcentajes de inhibición de bacterias de Antártida en *Fusarium falciforme*.

Del mismo modo, para las bacterias de Antártida al día 7 se midieron los halos de inhibición entre los hongos fitopatógenos y las bacterias, dichos resultados se muestran en el anexo 4. Entre los resultados se pueden distinguir aquellos que paralelamente presentan mayor porcentaje de inhibición. Entre *F. globosum* la bacteria *P. protegens* se registró 0,4 cm; para *C. cactivora* esta misma bacteria presenta un halo de 0,7 cm; y por

último en *F. falciforme* la bacteria *P. extremaustralis* muestra 0,1 cm como halo de inhibición final.

El efecto de *Pseudomonas protegens* sobre *Fusarium verticillioides*, se basa en la capacidad de las pseudomonas para suprimir la patogenicidad de microorganismos que afectan a los cultivos, ya que sus mecanismos de defensa se basan en la resistencia sistémica inducida, competencia por nutrientes y especialmente, antibiosis. Esto mediante la producción de metabolitos secundarios antimicrobianos tales como: 2,4-diacetilfloroglucinol, pioluteorina, pirrolnitrina, fenacina o cianuro de hidrógeno (Ramette et al., 2011). Los porcentajes inhibitorios en *Fusarium globosum* varían en los obtenidos por la especie *verticillioides*, esto se puede deber a que la morfología del hongo y los factores estructurales del mismo, intervienen en el proceso de inhibición de cada cepa. Ya que puede influir en su capacidad de competir con las bacterias, y en adición a eso, en su capacidad de producir sustancias antimicrobianas (Phytoma, 2008). De esta manera se puede visualizar, que *P. protegens* posee un mayor valor de inhibición con un 43,52%, seguido por *P. yamanorum* con 30,58% y *P. rhodesiae* con 29,41% (figura 19).

En cuanto a los resultados obtenidos por *C. alcornii* se prevé que uno de los factores que influyeron en este hecho es la temperatura de crecimiento de las bacterias. Al ser bacterias extremófilas, es necesario que la temperatura de incubación para su óptimo crecimiento, sea relativamente baja de modo tal, que se establece, este fue un factor precursor en la falta del crecimiento bacteriano.

Por otro lado, también se sospecha que existió una relación de comensalismo entre ambos microorganismos, en donde el desarrollo del hongo se ve afectado de manera positiva por la producción de metabolitos de dichas bacterias (Martínez Cano & Soto Zarazúa, 2018). Sin embargo, no existen registros bibliográficos que avalen dicha suposición entre bacterias del género *Pseudomonas* y *C. alcornii*. Los resultados obtenidos por *Sporosarcina aquimarina* se basan en que dicha bacteria es conocida por su capacidad de promover el crecimiento vegetal, así como también de producir compuestos volátiles y metabolitos con capacidad antifúngica (Booth et al., 2022). Por otro lado, al igual que en *C. alcornii*, bacterias tales como: *Janthinobacterium tructae*, *P. silesiensis*, *P. caspiana*, *S. psychrophila* y *P. protegens*, presentaron índices de

inhibición negativos, lo que se sospecha que se ocasiona en base a los factores descritos anteriormente.

Por el lado de las *Pseudomonas extremaustralis*, se conoce que se confiere sus propiedades inhibitorias debido a su capacidad de producir enzimas y compuestos capaces de alterar el desarrollo a nivel morfológico de diversos hongos fitopatógenos (López et al., 2009).

4.3 Registro de crecimiento radial de micelios

A fin de evaluar el crecimiento diario de los hongos fitopatógenos, su interacción con las bacterias promisorias y contrastar este crecimiento con el control, se emplearon gráficos de líneas y puntos. Los ejes corresponden a los días y las mediciones en cm que tuvieron los hongos. Una de las líneas muestra el crecimiento diario del control, mientras que la línea restante graficada corresponde al crecimiento del tratamiento hongo vs la bacteria.

Uno de los géneros más destacados fue el *Bacillus*, específicamente la cepa *Bacillus cereus* contra *Fusarium verticillioides*. Al analizar su gráfico de líneas frente al comportamiento el crecimiento micelial del patógeno se pudo determinar que su crecimiento exponencial ocurre de manera acelerada, y su capacidad inhibitoria comienza a expresarse a partir del segundo día (figura 23). Se presume que, luego de 48 horas, *B. cereus*, empieza a producir diversos metabolitos con capacidad antifúngica y antimicrobiana tales como: enzimas, antibióticos, sideróforos, entre otros (Sadfi et al., 2002).

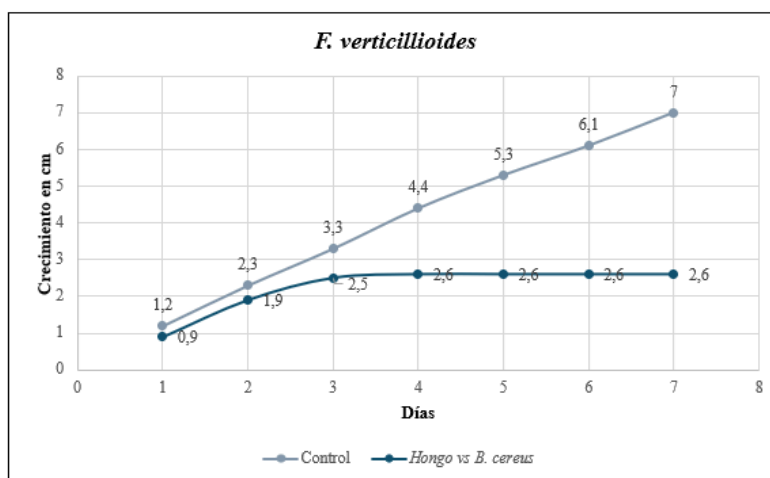


Figura 23. Gráfica de crecimiento micelial *Fusarium falciforme* vs *B. cereus*.

El género *Acetobacter* fue otro de los más destacados dentro del grupo de bacterias provenientes de fermentaciones de cacao. La especie *Acetobacter papayae* frente al hongo fitopatógeno *Fusarium globosum*, asociado a daños en cultivos de banano, presentó un porcentaje de inhibición del 57,64% (figura 24).

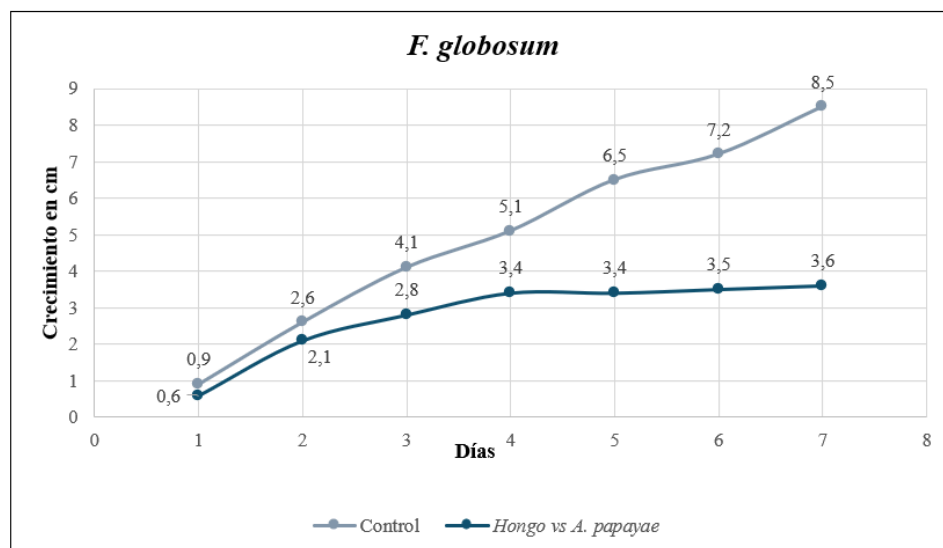


Figura 24. Gráfica de crecimiento micelial *Fusarium globosum* vs *A. papayae*.

Los hongos fitopatógenos seleccionados que afectan a cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*) también mostraron inhibición frente a las bacterias de cacao. Nuevamente aparece el género *Bacillus* con mayor porcentaje contra *C. cactivora* y *F. falciforme*.

Sin embargo, según la figura 16 se observa cómo un género diferente surge entre los destacados. La bacteria *Ralstonia sp.* presenta un porcentaje de inhibición de 55,29%, al igual que algunas de las especies de *Bacillus* evaluadas para el mismo hongo. El crecimiento del micelio de *C. cactivora* frente a la acción de *Ralstonia sp.*, se ve graficado en la figura 25.

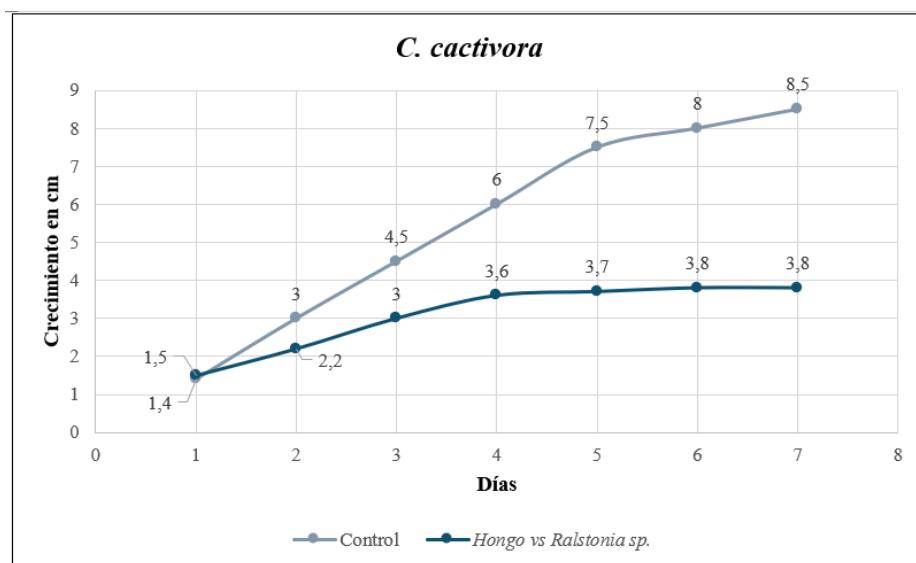


Figura 25. Gráfica de crecimiento micelial *Curvularia cactivora* vs *Ralstonia* sp.

En relación a las bacterias de Antártida, es posible notar porcentajes de inhibición más bajos en relación a las de cacao. Sin embargo, se tienen resultados mayores a un 30%, lo cual denota potencial para interrumpir el crecimiento de los hongos fitopatógenos. El género más destacado para este grupo de bacterias fue *Pseudomonas*. La especie con mayor porcentaje de inhibición corresponde a *Pseudomonas protegens* frente al hongo *Fusarium globosum* con un 43,52% (figura 26). Adicional, esta bacteria presentó poder biocontrolador mayor al 30% contra los hongos *F. verticillioides* y *C. cactivora*.

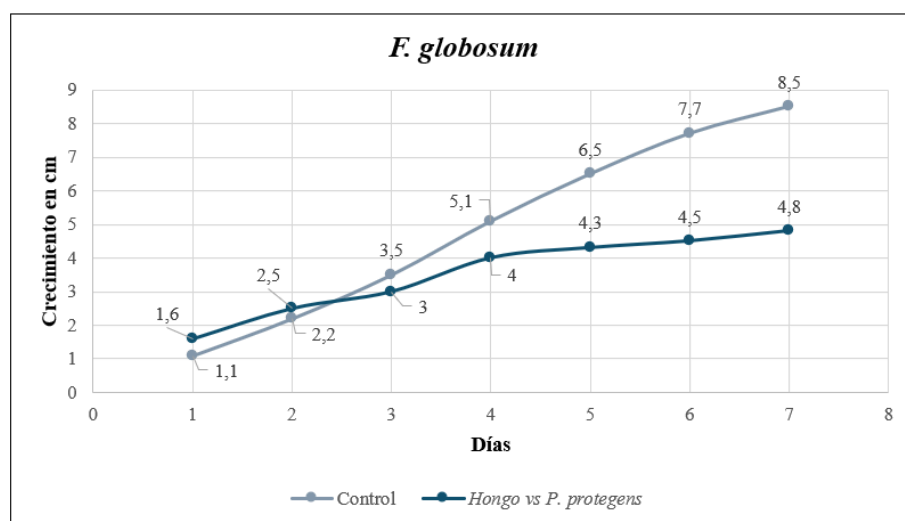


Figura 26. Gráfica de crecimiento micelial *Fusarium globosum* vs *P. protegens*.

Otro género notable dentro del grupo de bacterias promisorias de Antártida es *Ralstonia*, con su cepa *Ralstonia pickettii*. Esta especie bacteriana demostró

antagonismo ante los hongos fitopatógenos: *F. verticillioides*, *C. cactivora*, y *F. falciforme*. Para el hongo asociado en daños de banano, *F. verticillioides*, *Ralstonia picketti* alcanzó el 29,48%, mientras que en el hongo fitopatógeno de pitahaya roja, *F. falciforme*, llegó al 26,08% de inhibición. Los registros de crecimiento para esta bacteria también son comparados con el control (figura 27, 28).

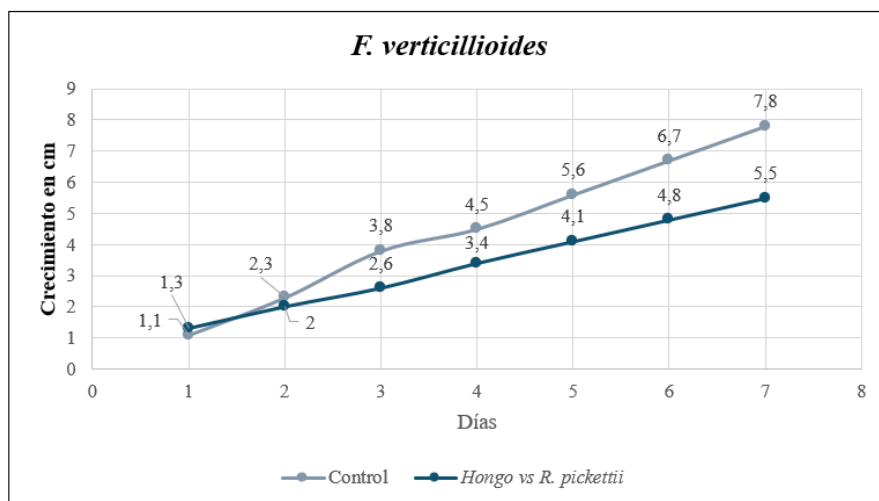


Figura 27. Gráfica de crecimiento micelial *Fusarium verticillioides* vs *R. pickettii*.

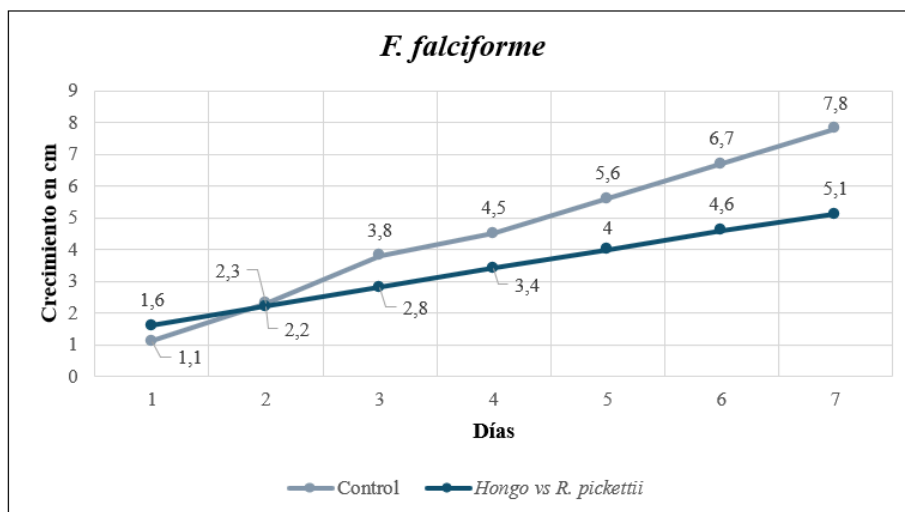


Figura 28. Gráfica de crecimiento micelial *Fusarium falciforme* vs *R. pickettii*.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

El presente estudio, desarrolló una bioprospección de cepas bacterianas provenientes de la Antártida y de fermentación de cacao obtenidas de la Colección de Cultivos Microbianos CCM-CIBE. Con esto se identificaron bacterias con acción inhibitoria ante el crecimiento de hongos fitopatógenos en cultivos agrícolas de importancia comercial para el Ecuador.

Se realizaron pruebas de confrontación dual para cada grupo de bacterias en condiciones *in vitro*, las cuales de manera cualitativa determinaron el potencial inhibitorio de cada una de ellas. Las bacterias promisorias, fueron sometidas a enfrentamientos uno a uno, permitiendo evaluar la capacidad antagónica de las bacterias seleccionadas. Dichos resultados plantean el efecto de los microorganismos bacterianos como control biológico, frente a hongos fitopatógenos causantes de plagas en los cultivos de pitahaya roja (*Selenicereus undatus*) y banano (*Musa spp.*).

Con los registros de mediciones se logró determinar el halo y porcentaje de inhibición para cada una de las bacterias frente a los patógenos. Se demostró que las bacterias obtenidas mediante fermentación de cacao, presentan un mayor potencial inhibitorio en relación a las bacterias de Antártida. Las bacterias del género *Bacillus*, demostraron un mayor índice de inhibición para cada uno de los patógenos evaluados, siendo *Bacillus cereus* con un 62,85% quien demostró una mayor incidencia sobre el crecimiento micelial del hongo *Fusarium verticillioides*. Mientras que de las bacterias de Antártida destaca el género *Pseudomonas*, en donde la especie *Pseudomonas protegens*, presentó una mayor capacidad antagónica con un porcentaje de inhibición de 43,52% frente al hongo *Fusarium globosum*.

Por último, esta investigación aporta de manera significativa al estudio de cepas bacterianas para el control de hongos fitopatógenos en cultivos. Sin embargo, se requiere una investigación más detallada para demostrar el potencial de estos organismos como control biológico, lo que puede ser útil en formulaciones de bioplaguicidas de particular interés para la industria agrícola.

5.2. Recomendaciones

- Cuando se trata del uso de microorganismos, se recomienda siempre trabajar con todas las normas de bioseguridad. Además, emplear los equipos adecuados para evitar contaminación de las muestras.
- Para obtener resultados estadísticamente más significativos, se sugiere realizar varias réplicas de los ensayos de cultivo dual.
- Buscar estrategias para la confrontación de bacterias de Antártida frente a los hongos fitopatógenos, recordando que estos microorganismos crecen en condiciones diferentes.
- Plantear nuevos parámetros de evaluación como composición del medio y pH inicial.

Bibliografía

- Agroasemex, S.A. (2019, abril 12). *Rotación de cultivos y seguros agrícolas, medidas para enfrentar a las plagas*. Gobierno de México.
- <https://www.gob.mx/agroasemex/articulos/las-plagas-producen-perdidas-de-hasta-un-40-por-ciento-en-la-produccion-agricola-revela-estudio-de-la-fao#:~:text=Hasta%20un%2040%20por%20ciento%20de%20la%20producci%C3%B3n%20agr%C3%ADcola%20mundial,y%20la%20Agricult>
- Arroyo, M. (2023, September 22). *Primer informe sobre Fusarium falciforme que causa pudrición de la raíz de la granada (Punica granatum) en China*. APS.
- Retrieved January 11, 2024, from <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-05-23-0899-PDN>
- Badii, M., & Abreu, J. (2006). *Control biológico una forma sustentable de control de plagas*. Daena: International Journal of Good Conscience. Retrieved December 17, 2023, from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38188704/11_82-89-libre.pdf?1436898068=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPulgones_Parasitoides_Aphidius_colemani.pdf&Expires=1702847864&Signature=MB8pSVAoSQuGvDthoOApzsW-ULtrLEMcjS9kt-2S0maQaCrGoIrMJTU
- Badii, M., & Abreu, J. (2006). *Control biológico una forma sustentable de control de plagas*. Daena: International Journal of Good Conscience. Retrieved February 18, 2024, from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38188704/11_82-89-libre.pdf?1436898068=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPulgones_Parasitoides_Aphidius_colemani.pdf&Expires=1708292940&Signature=em7qy71Nt-1TqMMbUKioG4l9b50jfmS6Dsg6e~ULRAG3Xk2foC504o5

- Baral, D., & Thapa, S. (2022, June 30). (PDF) *First report of Curvularia alcornii as a plant pathogen causing post-harvest rot of tomatoes*. ResearchGate. Retrieved January 12, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/361637992_First_report_of_Curvularia_alcornii_as_a_plant_pathogen_causing_post-harvest_rot_of_tomatoes
- Bennett, R., & Arneson, P. (2003). *Black sigatoka (Sigatoka negra - Español)*. American Phytopathological Society. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/fungalasco/pdlessons/Pages/BlackSigatokaEspanol.aspx>
- Bioser. (2023). *Potato Dextrosa Agar (PDA) | Levaduras y Mohos*. Bioser. Retrieved January 11, 2024, from <https://www.bioser.com/productos/potato-dextrosa-agar-103p/>
- Booth, J., Schenk, P., & Mirzaee, H. (2022). *Microbial Biopesticides against Bacterial, Fungal and Oomycete Pathogens of Tomato, Cabbage and Chickpea*. MDPI. Retrieved February 12, 2024, from <https://www.mdpi.com/2673-8007/2/1/21>
- Britania. (2021). *Tripteína Soya Agar*. Laboratorios Britania. Retrieved January 11, 2024, from https://www.britanialab.com/back/public/upload/productos/upl_6054e7678b1e3.pdf
- Camacho, M., Valenzuela, C., & Hernández, R. (2014). *Relación de la temperatura y humedad relativa con el brote del hongo Fusarium oxysporum f. sp. vanillae*. SciELO México. Retrieved January 11, 2024, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000300713

- Castillo, C. (2020, agosto 30). *La biodiversidad en el Ecuador y su inmenso potencial para el control de plagas agrícolas*. Springer Link.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-51358-0_9
- Castillo, T. (2022). *Alternativas biológicas y químicas para el manejo de la Sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet) en cultivo de plátano (Musa paradisiaca L.) en Rivas, Nicaragua*. Portal AmeliCA. Retrieved December 26, 2023, from <http://portal.amelica.org/ameli/journal/416/4163651011/html/>
- Cevallos, J. M., Gysel, L., Maridueña Zavala, M. G., & Molina Miranda, M. J. (2018, March 22). Time-Related Changes in Volatile Compounds during Fermentation of Bulk and Fine-Flavor Cocoa (Theobroma cacao) Beans. *Hindawi*, 2018, 14.
- Chang, W.-T., Chen, Y.-C., & Jao, C.-L. (2007, November 9). *Antifungal activity and enhancement of plant growth by Bacillus cereus grown on shellfish chitin wastes*. ELSEVIER. Retrieved February 11, 2024, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852406001994>
- Convey, P., Stevens, M., Hodgson, D., Smellie, J., Diter-Hillenbrand, C., Barnes, D., Clarke, A., Pugh, P., Linse, K., & Gary, S. C. (2009, diciembre). *Exploring biological constraints on the glacial history of Antarctica*. Science Direct.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0277379109002893?via%3Dihub>
- de la Torre, M. E., Sanchez, D., Galeana, E., & Plasencia, J. (2014). *Fumonisinás –Síntesis y función en la interacción Fusarium verticillioides-maíz*. SciELO México. Retrieved January 11, 2024, from <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v17n1/v17n1a6.pdf>
- DIBICO. (2022). *Caldo luria bertani (Luria Bertani LB)* |. Probiotek. Retrieved January 11, 2024, from

<https://www.probiotek.com/productos/reactivos/medios-de-cultivo-reactivos/cal-do-luria-luria-bertani-lb/>

EFSA. (2023). *Pest categorisation of Lasiodiplodia pseudotheobromae*. efsa. Retrieved January 11, 2024, from <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7737>

El Universo. (2022, November 16). *Ecuador ya puede exportar pitahaya a Perú | Economía | Noticias*. El Universo. Retrieved January 26, 2024, from <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/ecuador-ya-puede-exportar-pitahaya-a-peru-nota/>

FAO. (2022). *Banano - Análisis del Mercado 2021*. Retrieved December 16, 2023, from <https://www.fao.org/3/cc1610es/cc1610es.pdf>

Fernández-Larrea Vega, O. (2001). *Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario*. Repositorio CATIE. Retrieved December 17, 2023, from <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6578/A2120e.pdf?sequence=1>

Fertilab. (2018). *Identificación y síntomas de Fusarium Oxysporum y Fusarium Solani*. Fertilab. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-LF01-Identificacion-y-sintomas-de-Fusarium-Oxysporum-y-Fusarium-Solani.pdf>

González, Y., Ortega, J., Anducho, M. A., & Mercado, Y. (2022, December 15). *Bacillus subtilis y Trichoderma: Características generales y su aplicación en la agricultura*. SciELO México. Retrieved December 17, 2023, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2022000100318

Grady, E. N., MacDonald, J., Liu, L., Richman, A., & Yuan, Z. C. (2016, December 1). *Current knowledge and perspectives of Paenibacillus: a review*. NCBI.

- Retrieved February 12, 2024, from
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5134293/>
- Hernández, A., Bautista, S., & Velázquez, M. (2006, septiembre 26). *Uso de Microorganismos Antagonistas en el Control de Enfermedades Postcosecha en Frutos*. Scielo. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n1/v25n1a9.pdf>
- Herrera, M. L. (1999, Enero). *Pruebas de sensibilidad antimicrobiana: metodología de laboratorio*. SciELO. Retrieved February 18, 2024, from
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1017-85461999000100010#16
- Hirata, T. H., Kimishima, E., Aoki, T., Nirenberg, H., & O'Donnell, K. (2001). *Morphological and molecular characterization of Fusarium verticillioides from rotten banana imported into Japan*. ELSEVIER. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1340354001707309>
- Huang, .: Y., Zhang, X., Xu, H., Zhang, F., Zhang, X., Yan, Y., & He, L. (2022, Febrero 16). *Aislamiento de antibióticos lipopéptidos de Bacillus siamensis : un potencial agente de biocontrol para Fusarium graminearum*. Revista Canadiense de Microbiología. Retrieved February 12, 2024, from
<https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/cjm-2021-0312>
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de la pitahaya*. ICA. Retrieved December 27, 2023, from
<https://www.ica.gov.co/getattachment/87a2482e-a36a-4380-80ae-11072d0c717c/-nbsp%3BManejo-fitosanitario-del-cultivo-de-pitahaya.aspx>
- ICA. (2015, September 11). *Informe especial: Raza 4 Tropical del Mal de Panamá*. Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. Retrieved December 26, 2023, from

<https://www.ica.gov.co/noticias/agricola/2015/informe-especial-raza-4-tropical-d-el-mal-de-panama>

INIAP. (2023). *Banano, plátano y otras musáceas*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.iniap.gob.ec/banano-platano-y-otras-musaceas/>

Khamma, S., Yokota, A., & Lumyong, S. (2008, diciembre 16). *Actinomycetes isolated from medicinal plant rhizosphere soils: Diversity and screening of antifungal compounds, indole-3-acetic acid and siderophore production*. Research Gate. https://www.researchgate.net/publication/226812970_Actinomycetes_isolated_from_medicinal_plant_rhizosphere_soils_Diversity_and_screening_of_antifungal_compounds_indole-3-acetic_acid_and_siderophore_production

Lassois, L., & Bellaire, L. (2014). *Crown Rot Disease of Bananas*. ScienceDirect. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012411552100003X>

León Ajila, J. P., Espinosa Aguilar, M. A., Carvajal Romero, H. R., & Quezada Campoverde, J. (2023, February 26). *Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. Retrieved December 26, 2023, from <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/4981/7563>

López, N., Pettinari, J., Stackebrandt, E., Tribelli, P., Pötter, M., Steinbüchel, A., & Méndez, B. (2009, August 19). *Pseudomonas extremaustralis sp. nov., a Poly(3-hydroxybutyrate) Producer Isolated from an Antarctic Environment*. Springerlink. Retrieved February 18, 2024, from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00284-009-9469-9>

- MAG. (2021, Junio 7). *Agricultores de Ahuano aprenden a enfrentar al Moko del Plátano – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Retrieved December 26, 2023, from <https://www.agricultura.gob.ec/agricultores-de-ahuano-aprenden-a-enfrentar-al-moko-del-platano/>
- Manzo Valencia, M. K. (2016). *Actividad antifúngica del ácido naftalen acético y sus posibles efectos sobre algunos genes reguladores de crecimiento y esporulación del hongo fitopatógeno Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici y f. sp. cubense*. Repositorio CINVESTAV. Retrieved February 12, 2024, from <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/1633>
- Maridueña Zavala, M. G., Quevedo, A., Aguaguiña, K., Serrano, L., & Sosa, D. (2021, Febrero 10). Colección de cultivos microbianos CIBE (CCM-CIBE): Una colección para la investigación. *Bionatura*, 6(1), 1664-1668.
- Martínez Cano, B., & Soto Zarazúa, G. M. (2018, October 31). *Aplicación de consorcios microbianos en la agricultura | Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*. Portal Revistas UAQ. Retrieved February 18, 2024, from <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/178>
- Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2022). *Ecuador inicia las exportaciones de pitahaya a China*. Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. Retrieved December 16, 2023, from <https://www.produccion.gob.ec/ecuador-inicia-las-exportaciones-de-pitahaya-a-china/>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (2023). *Ecuador inicia las exportaciones de pitahaya a china*. Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. Retrieved December 26, 2023, from

<https://www.produccion.gob.ec/ecuador-inicia-las-exportaciones-de-pitahaya-a-c-hina/>

Ministerio de Salud Pública. (2021). *Subsecretaría de vigilancia de la salud pública subsistema de vigilancia sive-alerta efectos tóxicos año 2021 introducción*.

Ministerio de Salud Pública. Retrieved December 16, 2023, from

<https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2021/02/Toxicos-y-quimicos-SE-05.pdf>

Montero, F. A. (2020). *Moko en banano (Ralstonia solanacearum)*. TCU-741.

Fortalecimiento de la calidad de vida de la sociedad productiva agrícola.

Retrieved December 26, 2023, from

<https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2020/09/BoletinMoko.pdf>

Moreno, C., Cotes, A., Beltrán, C., Bettioli, W., & Elad, Y. (2018). Control biológico de fitopatógenos del suelo. In *Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: agentes de control biológico* (Vol. I, pp. 144-221). Alba Cotes.

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/33829>

Morillo, A., Manjarrés, E., Pedreros, M., & Sanabria, D. (2020). *Plan de manejo tecnológico del cultivo de la pitahaya*. repositorio uptc. Retrieved December 27, 2023, from

https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/9055/Plan_manejo_tecnologico_cultivo_pitahaya.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nilsen, E. B., Bowler, D. E., & Linnell, J. D. (2020, February 09). *Exploratory and confirmatory research in the open science era*. Journal of Applied Ecology.

Retrieved February 18, 2024, from

<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.13571>

- Nuero, O. M. (2024). *Control biológico por antagonismo*. controlbiologico.info. Retrieved January 11, 2024, from <https://www.controlbiologico.info/index.php/es/informacion-sobre-control-biologico-de-plagas/microorganismos-antagonistas>
- Núñez-Montero, K., & Barrientos, L. (2018, octubre 19). *Advances in Antarctic Research for Antimicrobial Discovery: A Comprehensive Narrative Review of Bacteria from Antarctic Environments as Potential Sources of Novel Antibiotic Compounds Against Human Pathogens and Microorganisms of Industrial Importance*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/antibiotics7040090>
- Nysanth, N.S., Sivapriya, S.L., Natarajan, C., & Anith, K.N. (2022, mayo 30). *Novel in vitro methods for simultaneous screening of two antagonistic bacteria against multiple fungal phytopathogens in a single agar plate*. National Center for Biotechnology Information. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9151952/>
- ONU. (2020). *Efectos de plaguicidas y fertilizantes sobre el medio ambiente y la salud y formas de reducirlos*. ONU Programa para el Medio Ambiente. Retrieved diciembre, 2023, from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34463/JSUNEPPF_Sp.pdf
- OPS/OMS. (2022). *Plaguicidas altamente peligrosos*. OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. Retrieved December 16, 2023, from <https://www.paho.org/es/temas/plaguicidas-altamente-peligrosos>
- Pérez, R., González, T., & Muñoz, J. (2014, agosto). *Antagonismo microbiano asociado a cepas bacterianas provenientes de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y*

maíz (Zea Mays). Revista Iberoamericana de Ciencias.

<http://www.reibci.org/publicados/2014/agosto/3300118.pdf>

Phytoma. (2008, Noviembre). *Los hongos como agentes de control biológico*. Phytoma.

Retrieved February 12, 2024, from

<https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/203-noviembre-2008/los-hongos-como-agentes-de-control-biologico>

Picos, P., García, R., León, J., Sañudo, A., & Allende, R. (2015). *Lasiodiplodia*

theobromae in Agricultural Crops in México: Taxonomy, Host, Diversity and

Control. SciELO México. Retrieved December 26, 2023, from

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092015000100054

Pliego, C., Ramos, C., de Vicente, A., & Carzola, F. (2023, November 13). *Screening*

for candidate bacterial biocontrol agents against soilborne fungal plant

pathogens. SpringerLink. Retrieved January 11, 2024, from

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0615-8>

Pope, D., & Hill, N. (2018, August 29). *Effects of Various Culture Media, Antibiotics, and Carbon Sources on Growth Parameters of Acremonium Coenophialum, The*

Fungal Endophyte of Tall Fescue. Taylor & Francis Online. Retrieved February

18, 2024, from

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00275514.1991.12025985>

Ramette, A., Frapolli, M., Fischer-Le Saux, M., Gruffaz, C., Meyer, J. M., Défago, G.,

Sutra, L., & Moëne Loccoz, Y. (2011, May). *Pseudomonas protegens* sp. nov.,

widespread plant-protecting bacteria producing the biocontrol compounds

2,4-diacetylphloroglucinol and pyoluteorin☆. ScienceDirect. Retrieved

February 12, 2024, from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0723202011000294>

Rocha, N., Claros, M., Calisaya, J., & Ortuño, N. (2019, Junio 4). *Selección de bacterias endófitas tipo Bacillus como promotoras de crecimiento en el cultivo de papa variedad Huaycha (Solanum tuberosum subsp. andigena)*. Dialnet.

Retrieved February 18, 2024, from

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7349829>

Rodríguez-Couto, S., & Sanromán, M. (2005, julio 20). *Application of solid-state fermentation to food industry—A review*. Research Gate.

[https://www.researchgate.net/publication/222816568_Application_of_Solid-Stat
e_Fermentation_to_Food_Industry_-_a_Review](https://www.researchgate.net/publication/222816568_Application_of_Solid-State_Fermentation_to_Food_Industry_-_a_Review)

Rodríguez Velázquez, N. D., Chávez Ramírez, B., Gómez de la Cruz, I., Vásquez Murrieta, M. S., & Estrada de los Santos, P. (2022, Enero 31). *El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación*. Alianzas y Tendencias BUAP. Retrieved February 18, 2024, from <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/f6151039-2228-4d0e-9b4c-28be7281f45e/content>

Rojas, J. C. (2013). *Manejo integrado de plagas y enfermedades en banano orgánico y convencional*. Agrobanco. Retrieved January 26, 2024, from

<https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/009-d-banano.pdf>

Ruggirello, M., Nucera, D., Cannoni, M., Peraino, A., Rosso, F., Fontana, M., Cocolin, L., & Dolci, P. (2019, January). *Antifungal activity of yeasts and lactic acid bacteria isolated from cocoa bean fermentations*. ELSEVIER. Retrieved January 26, 2024, from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996918307889>

- Sadfi, N., Chérif, M., Hajlaoui, M., Boudabbous, A., & Bélanger, R. (2002). *Isolation and partial purification of antifungal metabolites produced by Bacillus cereus*. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie. Retrieved February 11, 2024, from https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32530327/sadfi_52_323-libre.pdf?1391202039=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIsolation_and_partial_purification_of_an.pdf&Expires=1707706661&Signature=KQv6XrJCHXjyhHa4Oxih2lFM-VRxCUVcQvH8itkrYzFqY47fmh
- Salamanca, G. (2020, mayo). *Efecto de los agroquímicos en salud pública y medio ambiente*. Universidad militar de Nueva Granada. <https://core.ac.uk/download/pdf/344703632.pdf>
- Salazar, C., Serna, L., & Gómez, E. (2016). *Caracterización molecular de Fusarium asociado a pudrición basal del fruto en pitahaya*. Dialnet. Retrieved January 11, 2024, from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5800959.pdf>
- Sánchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2020). *Sector agrícola Ecuador*. Observatorio Económico y Social de Tungurahua. Retrieved December 16, 2023, from <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/06/Diagnostico-sector-agricola-Ecuador.pdf>
- Santos, A., Nuñez, K., Lamilla, C., Pavez, M., Quezada, D., & Barrientos, L. (2019, mayo 28). *Antifungal activity screening of Antarctic actinobacteria against phytopathogenic fungi*. Research Gate. https://www.researchgate.net/publication/341031228_ANTIFUNGAL_ACTIVITY_SCREENING_OF_ANTARCTIC_ACTINOBACTERIA_AGAINST_PHYTOPATHOGENIC_FUNGI

- Sedeño Mota, J. C. (2021, Noviembre). *Formación de un consorcio bacteriano para el manejo orgánico de Lasiodiplodia pseudotheobromae, agente causal de la pudrición en frutos de mango*. Instituto de biotecnología y Ecología Aplicada. Retrieved February 12, 2024, from <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/1944/51981/SedenoMotaJuan.pdf?sequence=1>
- Tapia, C. (2019). *Curvularia spicifera*. SciELO Chile. Retrieved December 26, 2023, from https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182019000500646
- Tindall, J. (2004, November 9). *Prokaryotic Diversity in the Antarctic: The Tip of the Iceberg*. Springer Link. Retrieved January 26, 2024, from <https://doi.org/10.1007/s00248-003-1050-7>
- Torres, L., & López, L. (2010). *Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana*. SciELO México. Retrieved January 11, 2024, from https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-3634201000500014
- Valencia, A., Kokubu, H., & Ortiz, Y. (2012, diciembre 23). *A brief overview on pitahaya (Hylocereus spp.) diseases*. Springer link. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13313-012-0193-8>
- Valtek. (2018). *Agar Papa Dextrosa (PDA)*. Valtek. Retrieved January 11, 2024, from <https://www.valtek.cl/wp-content/uploads/2020/02/Agar-Papa-Dextrosa-PDA-Versi%C3%B3n-3-Valtek-1.pdf>
- Vera, M., Cabrera, A., Mora, M., Vera, A., Vera, D., Peñaherrera, S., Solís, K., Terrero, P., & Jiménez, V. (2018, mayo 10). *Microorganismos endófitos asociados a*

Theobroma cacao como agentes de control biológico de *Moniliophthora roreri*.

Scielo. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v45n3/0253-5785-cag-45-03-81.pdf>

Viera, W., Tello, C., Martínez, A., Navia, D., Medina, L., Delgado, A., Perdomo, C., Pincay, A., Báez, F., Vásquez, W., & Jackson, T. (2020). *Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador Biological*. SciELO Bolivia. Retrieved December 17, 2023, from http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v8n2/v8n2_a06.pdf

Villarreal Delgado, M. F., Villa Rodríguez, E. D., Cira Chávez, L. A., Estrada Alvarado, M. I., Parra Cota, F. I., & de los Santos Villalobos, S. (2018). *The genus Bacillus as a biological control agent and its implications in the agricultural biosecurity | Villarreal-Delgado | Mexican Journal of Phytopathology*. Revista Mexicana de Fitopatología. Retrieved February 11, 2024, from <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

Wijaya, G., Wardani, A., & Eris, D. (2023, abril 11). *Biocontrol activity of endophytic bacteria from cocoa against Phytophthora sp. and Colletotrichum sp.* Menara Perkebunan. Retrieved enero 12, 2024, from <http://www.mp.iribb.org/mpjurnal/article/view/522/443>

Anexos

Anexo 1. Matriz de bacterias preliminares reactivadas

Procedencia	Código	Identificación
Fermentaciones de cacao	CCMCIBE-B683	<i>Acetobacter ghanensis</i>
	CCMCIBE-B953	<i>Acetobacter papayae</i>
	CCMCIBE-B681	<i>Acetobacter pasteurianus</i>
	CCMCIBE-B924	<i>Acetobacter ghanensis</i>
	CCMCIBE-B972	<i>Bacillus altitudinis</i>
	CCMCIBE-B753	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
	CCMCIBE-B963	<i>Bacillus cereus</i>
	CCMCIBE-B841	<i>Bacillus licheniformis</i>
	CCMCIBE-B875	<i>Bacillus siamensis</i>
	CCMCIBE-B878	<i>Bacillus siamensis</i>
	CCMCIBE-B716	<i>Bacillus sp</i>
	CCMCIBE-B952	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>
	CCMCIBE-B913	<i>Bacillus siamensis</i>
	CCMCIBE-B647	
	CCMCIBE-B648	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>
	CCMCIBE-B659	<i>Priestia megaterium</i>
	CCMCIBE-B653	<i>Paenibacillus konkukensis</i>
	CCMCIBE-B655	<i>Bacillus velezensis</i>
	CCMCIBE-B670	<i>Acetobacter oryzoeni</i>
	CCMCIBE-B644	<i>Bacillus velezensis</i>
CCMCIBE-B646	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	
CCMCIBE-B660	<i>Bacillus paramycooides</i>	

	CCMCIBE-B642	<i>Bacillus siamensis</i>
	CCMCIBE-B643	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>
	CCMCIBE-B715	<i>Acetobacter tropicalis</i>
	CCMCIBE-B652	<i>Bacillus subtilis</i>
	CCMCIBE-B873	<i>Paenibacillus vulneris</i>
	CCMCIBE-B859	<i>Paenibacillus acanthi</i>
	CCMCIBE-B866	<i>Liquorilactobacillus mali</i>
	CCMCIBE-B915	<i>Brevibacillus formosus</i>
	CCMCIBE-B872	<i>Lactobacillus plantarum</i>
	CCMCIBE-B688	<i>Acetobacter tropicalis</i>
	CCMCIBE-B997	<i>Levilactobacillus brevis</i>
	CCMCIBE-B689	<i>Acetobacter sp.</i>
	CCMCIBE-B846	<i>Bacillus subtilis</i>
	CCMCIBE-B869	<i>Bacillus velezensis</i>
	CCMCIBE-B858	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
	CCMCIBE-B857	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>
	CCMCIBE-B996	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
	CCMCIBE-B723	<i>Paenibacillus yunnansis</i>
	CCMCIBE-B727	<i>Pantoea dispersa</i>
	CCMCIBE-B700	<i>Ralstonia sp.</i>
	CCMCIBE-B682	<i>Sphingomonas panni</i>
	CCMCIBE-B738	<i>Staphylococcus</i>
	CCMCIBE-B992	<i>Staphylococcus capitis</i>
	CCMCIBE-B864	<i>Staphylococcus epidermis</i>
	CCMCIBE-B762	<i>Arthrobacter livingstonensis</i>
Antártida	CCMCIBE-B051	<i>Arthrobacter sp.</i>

CCMCIBE-B775	<i>Chryseobacterium sp.</i>
CCMCIBE-B132	<i>Filibacter sp.</i>
CCMCIBE-B006	<i>Janthinobacterium lividum</i>
CCMCIBE-B062	<i>Janthinobacterium sp.</i>
CCMCIBE-B115	<i>Janthinobacterium tructae</i>
CCMCIBE-B095	<i>Janthinobacterium tructae</i>
CCMCIBE-B138	<i>Leifsonia antarctica</i>
CCMCIBE-B010	<i>Pseudomonas antarctica</i>
CCMCIBE-B011	<i>Pseudomonas antarctica</i>
CCMCIBE-B135	<i>Pseudomonas antarctica</i>
CCMCIBE-B126	<i>Pseudomonas brenneri</i>
CCMCIBE-B030	<i>Pseudomonas brenneri</i>
CCMCIBE-B1011	<i>Pseudomonas canadensis</i>
CCMCIBE-B1031	<i>Pseudomonas caspiana</i>
CCMCIBE-B1008	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>
CCMCIBE-B029	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
CCMCIBE-B053	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
CCMCIBE-B057	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>
CCMCIBE-B052	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>
CCMCIBE-B089	<i>Pseudomonas nunensis</i>
CCMCIBE-B082	<i>Pseudomonas paraversuta</i>
CCMCIBE-B1007	<i>Pseudomonas psychrophila</i>
CCMCIBE-B124	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>
CCMCIBE-B088	<i>Pseudomonas silesiensis</i>
CCMCIBE-B1022	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B016	<i>Pseudomonas sp.</i>

CCMCIBE-B139	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B040	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B060	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B069	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B072	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B075	<i>Pseudomonas sp.</i>
CCMCIBE-B028	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>
CCMCIBE-B066	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>
CCMCIBE-B081	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>
CCMCIBE-B041	<i>Psychrobacter glacincola</i>
CCMCIBE-B140	<i>Psychrobacter luti</i>
CCMCIBE-B065	<i>Ralstonia pickettii</i>
CCMCIBE-B022	<i>Rhodoccus sp</i>
CCMCIBE-B764	<i>Rhodoccus sp</i>
CCMCIBE-B766	<i>Rhodoccus sp</i>
CCMCIBE-B080	<i>Sporosarcina aquimarina</i>
CCMCIBE-B133	<i>Sporosarcina psychrophila</i>
CCMCIBE-B761	<i>Streptomycesnojiriensis</i>
CCMCIBE-B767	<i>Streptomyces sp</i>
CCMCIBE-B1003	<i>Pseudomonas protegens</i>

Elaborado por los autores, 2024

Anexo 2. Bacterias promisorias con actividad antifúngica

Procedencia	Identificación	5A	18B	9B	7A	H1113	H1119
Fermentaciones de cacao	<i>Acetobacter ghanensis</i>	+	+	+	+	+	+

<i>Acetobacter papayae</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Acetobacter pasteurianus</i>	-	+	-	-	+	+
<i>Bacillus altitudinis</i>	-	+	-	+	-	+
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus cereus</i>	+	+	+	+	+	-
<i>Bacillus sp</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus siamensis</i>	+	+	+	+	+	+
	+	+	-	+	+	+
<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Priestia megaterium</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Paenibacillus konkukensis</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Bacillus velezensis</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Paenibacillus vulneris</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Liquorilactobacillus mali</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Brevibacillus formosus</i>	-	-	-	+	+	-
<i>Acetobacter tropicalis</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Levilactobacillus brevis</i>	-	-	-	+	+	+
<i>Acetobacter sp.</i>	-	+	-	-	+	+

	<i>Bacillus subtilis</i>	-	-	+	-	+	-
	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	+	-	-	+	+	+
	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	+	+	-	+	+	+
	<i>Pantoea dispersa</i>	+	+	+	+	+	+
	<i>Ralstonia sp.</i>	+	+	+	+	+	+
	<i>Staphylococcus</i>	+	+	+	+	+	+
	<i>Staphylococcus capitis</i>	+	+	+	+	+	+
Antártida	<i>Filibacter sp.</i>	+	-	-	-	+	+
	<i>Janthinobacterium tructae</i>	+	-	-	-	+	+
	<i>Leifsonia antarctica</i>	+	-	-	-	-	+
	<i>Pseudomonas antarctica</i>	+	+	-	+	+	+
	<i>Pseudomonas brenneri</i>	+	+	-	+	+	+
	<i>Pseudomonas canadensis</i>	+	-	-	-	+	+
	<i>Pseudomonas caspiana</i>	+	+	-	-	+	+
	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	+	+	-	-	+	+
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	+	+	-	+	+	+
	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	+	+	-	-	+	-
	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	+	+	-	+	+	+

<i>Pseudomonas nunensis</i>	-	-	-	-	-	+
<i>Pseudomonas paraversuta</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas psychrophila</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Pseudomonas silesiensis</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Pseudomonas sp.</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	+	+	-	+	+	+
<i>Psychrobacter luti</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Ralstonia pickettii</i>	+	-	-	-	+	+
<i>Rhodoccus sp</i>	+	-	-	+	+	+
<i>Sporosarcina aquimarina</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Sporosarcina psychrophila</i>	+	-	-	-	+	+
<i>Pseudomonas protegens</i>	+	+	-	-	+	+

Nota 1: + inhibición del crecimiento, – no se observa inhibición del crecimiento.

Nota 2: 5A, *F. verticillioides*; 18B, *F. globosum*; 9B, *L. pseudothebromae*; 7A, *C. alcornii*; H1113, *C. cactivora*; H1119, *F. falciforme*.

Elaborado por los autores, 2024

Anexo 3. Matriz de registro diario para bacterias de fermentación de cacao en confrontación con hongos fitopatógenos.

Hongo fitopatógeno	Bacteria	MEDICIONES EN cm PARA BACTERIAS DE LA FERMENTACIÓN DEL CACAO								
		DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DISTANCIA BACT-HONGO AL DÍA 7	% inhibición
<i>Fusarium verticilloides</i>	(Control)	1,2	2,3	3,3	4,4	5,3	6,1	7	NA	NA
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	0,9	2,1	2,7	3,4	3,8	3,1	4,4	0,8	37,143
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	1	2,2	2,7	3	3	3,2	3,2	0,5	54,286
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0,9	1,7	2,3	2,9	3,4	3,8	3,9	0,7	44,286
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Bacillus cereus</i>	0,9	1,9	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	1	62,857
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Bacillus sp</i>	1,2	2,1	2,8	3,5	4,1	4,1	4,3	0,8	38,571
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	1	2,1	2,6	3	3,2	3,9	4	1	42,857
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Bacillus siamensis</i>	1,8	1,8	2,6	3	3,4	3,7	3,8	1	45,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	SN 647	0,9	2	2,8	3,5	4,3	5	5,2	0	25,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	1,3	2,2	2,3	3	3	3,1	3,1	0,5	55,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Priestia megaterium</i>	0,9	1,8	2,9	2,9	3,4	3,7	3,9	0,9	44,286
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Paenibacillus konkukensis</i>	1,2	2,4	3	3,6	4,2	4,5	4,7	0,7	32,857
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	1,3	2,3	2,9	3,6	4	4,1	4,4	0,6	37,143

<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Paenibacillus vulneris</i>	1,3	2,5	3,3	4	4,3	4,7	4,8	0,4	31,429
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Liquorilactobacillus mali</i>	1,1	2,2	3	3,6	3,9	4	4,5	0,7	35,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Acetobacter tropicalis</i>	1,3	2,3	2,9	3,5	4,1	4,4	4,5	0,4	35,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1,3	2,5	3,1	3,8	3,9	4	4,2	0,8	40,000
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	1,1	2,1	2,7	3,4	3,6	4,1	4,5	0,5	35,714
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pantoea dispersa</i>	1,4	2,4	3	4,5	4,6	4,8	4,8	0,4	31,429
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Ralstonia sp.</i>	1	2,3	3,1	4,8	4,8	4,8	4,8	0,6	31,429
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Staphylococcus</i>	1	1,8	2,5	5	5,2	5,8	5,8	0	17,143
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Staphylococcus capitis</i>	0,9	2,1	3	3,5	3,7	3,9	4,2	0,4	40,000
<i>Fusarium globosum</i>	(CONTROL)	0,9	2,6	4,1	5,1	6,5	7,2	8,5	NA	NA
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	0,6	2,3	3,3	4	4,1	4,4	4,5	0,8	47,059
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	0,6	2,1	2,8	3,4	3,4	3,5	3,6	0,9	57,647
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	0,6	2,2	2,7	3,3	3,4	4	4	1,1	52,941
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Bacillus altitudinis</i>	0,7	2,5	3,7	4,7	5,5	5,9	6,4	0	24,706
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0,5	2,2	2,3	3,6	3,9	3,9	4	0,9	52,941
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Bacillus cereus</i>	0,6	2,3	3	3,2	3,7	3,9	4	0,9	52,941
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Bacillus sp</i>	0,5	2,4	3,5	4,1	4,2	4,5	4,5	0,8	47,059

<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	3,9	4,4	4,4	5	5	5	5	0,3	41,176
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	2,5	4,1	4,1	5	5	5	5	0,5	41,176
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	3,9	4,1	4,1	4,8	4,8	4,8	4,8	0,4	43,529
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Bacillus cereus</i>	2	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,6	0,5	45,882
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	4	4,1	4,1	4,9	4,9	4,9	4,9	0,3	42,353
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Bacillus siamensis</i>	3,7	4,1	4,5	4,7	4,7	4,7	4,7	0,3	44,706
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Paenibacillus konkukensis</i>	4,3	4,3	4,3	5	5	5	5	0,3	41,176
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	4,5	4,9	4,9	5	5	5	5	0,2	41,176
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	3,5	4,2	4,2	4,3	5,5	7	8,5	0	0,000
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Pantoea dispersa</i>	3,7	4,2	4,2	4,8	4,8	4,8	4,8	0,4	43,529
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Ralstonia sp.</i>	4,6	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	0,1	40,000
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Staphylococcus</i>	4,2	7,8	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	0	0,000
<i>Lasidiplodia pseudotheobromae</i>	<i>Staphylococcus capitis</i>	3,5	4,2	4,3	4,6	4,7	4,8	4,8	0,5	43,529
<i>Curvularia alcornii</i>	(Control)	1	2,1	2,9	3,7	4,6	5,4	6	NA	NA
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	0,9	1,7	2	2,9	3,5	3,5	3,6	1	40,000

<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	0,9	1,7	2,1	2,2	2,6	2,9	3,4	1,2	43,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus altitudinis</i>	1	1,8	2,6	3,4	4	4,4	4,6	0,1	23,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1	2	2,4	2,9	3	3,1	3,2	1	46,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus cereus</i>	1	1,8	2,2	2,6	3,1	3,2	3,4	1,2	43,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus sp</i>	0,9	1,5	2,3	2,7	3,3	3,6	3,7	1,2	38,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	0,9	1,8	2,2	2,7	3	3,4	3,5	1,2	41,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus siamensis</i>	0,9	1,6	1,9	2,3	2,6	2,9	3	0,8	50,000
<i>Curvularia alcornii</i>	SN 647	1,2	1,9	2,8	3,6	4,2	5	5,6	0	6,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	1,1	1,9	2,9	3	3,5	3,6	3,7	1,1	38,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Priestia megaterium</i>	1,2	2	2,5	2,8	3,1	3,3	3,4	0,8	43,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Paenibacillus konkukensis</i>	1,1	1,9	2,4	2,8	3	3,4	3,5	1,1	41,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	1,2	1,9	2,8	3,8	3,8	3,8	3,8	1	36,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Liquorilactobacillus mali</i>	1,2	2	2,6	3,1	3,5	3,8	4	1	33,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Brevibacillus formosus</i>	1,4	2,1	2,9	3,3	3,5	3,7	3,8	0,8	36,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Levilactobacillus brevis</i>	1,3	2,1	2,8	3,6	4,3	4,7	5	0,1	16,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	0,9	1,7	2,1	2,6	3	3,1	3,4	1	43,333

<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	1,1	1,9	2,3	2,7	2,8	3	3,1	1,2	48,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pantoea dispersa</i>	1,2	1,9	2,5	2,9	3,4	3,5	3,8	1,1	36,667
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Ralstonia sp.</i>	1,3	2,1	2,7	3,3	3,9	4	4	1	33,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Staphylococcus</i>	1,1	1,9	2,7	3,6	4	4,8	5,5	0	8,333
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Staphylococcus capitis</i>	1,2	2,1	2,8	3,3	3,7	3,9	4,1	0,9	31,667
<i>Curvularia cactivora</i>	(CONTROL)	1,4	3	4,5	6	7,5	8	8,5	NA	NA
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	1,1	2,5	3,3	4	4	4,1	4,2	1	50,588
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	1,3	2,4	3,2	4	4	4	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	1,9	2,4	3,1	3,8	3,9	3,9	4	1,2	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	1,2	2,3	3,1	3,8	3,8	3,9	3,9	1	54,118
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus cereus</i>	1,3	2,9	3,2	4	4	4	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus sp</i>	1,3	2,3	3,2	3,7	3,8	3,9	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	1,8	2,9	3,2	3,8	3,8	3,8	3,8	1,1	55,294
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus siamensis</i>	1	2,3	3	3,6	3,6	3,8	3,8	1	55,294
<i>Curvularia cactivora</i>	SN 647	1,3	2,6	3,6	4,6	5,5	6,2	6,8	0	20,000
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	1,5	2,5	3,3	3,9	3,9	4	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Priestia megaterium</i>	1,4	2,5	3,2	3,9	4	4	4	0,9	52,941

<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Paenibacillus konkukensis</i>	1,9	2,6	3,2	3,7	3,9	4	4	0,9	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	1,6	2,8	3,6	4	4	4	4,1	1	51,765
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Paenibacillus vulneris</i>	1,4	2,5	3,1	3,8	3,9	3,9	4	1,1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Liquorilactobacillus mali</i>	1,6	2,8	3,6	4	4	4,1	4,2	1,1	50,588
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Brevibacillus formosus</i>	1,4	2,6	3,4	4	4	4	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Acetobacter tropicalis</i>	1,7	2,3	3	3,8	3,8	3,9	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Levilactobacillus brevis</i>	1,6	2,6	3,4	4,2	4,5	4,7	4,7	0,5	44,706
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Acetobacter sp.</i>	1,6	2,7	3,9	4,2	4,5	4,6	4,6	0,6	45,882
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	1,3	2,5	3,3	3,9	4	4,1	4,1	0,9	51,765
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1,6	2,9	3,2	3,8	3,9	3,9	4	0,8	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	1,5	2,3	3,2	3,7	3,8	3,8	4	1	52,941
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pantoea dispersa</i>	1,7	2,6	3,4	4	4	4,1	4,3	1,1	49,412
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Ralstonia sp.</i>	1,5	2,2	3	3,6	3,7	3,8	3,8	1,5	55,294
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Staphylococcus</i>	1,2	2,7	4,2	5,5	6,4	6,8	7	1,1	17,647
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Staphylococcus capitis</i>	1,4	2,7	3,6	4	4	4,2	4,3	0,9	49,412
<i>Fusarium falciforme</i>	(CONTROL)	1,3	2,3	3,2	5,3	5,5	6	6,5	NA	NA
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Acetobacter ghanensis</i>	0,7	1,7	2,6	3	4	4,5	4,6	0,5	29,231
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Acetobacter papayae</i>	0,9	1,8	2,6	3	3,7	4,1	4,4	0,7	32,308

<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Acetobacter pasteurianus</i>	0,9	1,9	2,5	3,5	3,9	4,2	4,5	0,5	30,769
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Bacillus altitudinis</i>	0,7	1,9	3	3	3,6	4	4,3	0,7	33,846
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	0,6	1,7	2,4	2,9	3,1	4	4,3	0,5	33,846
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Bacillus sp</i>	0,8	1,9	2,7	3,3	3,8	3,9	4,1	1,1	36,923
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Lactiplantibacillus fabifermentans</i>	0,7	1,9	2,6	3,2	3,4	3,7	4	0,9	38,462
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Bacillus siamensis</i>	0,9	1,8	2,1	2,3	2,6	2,9	3	0,7	53,846
<i>Fusarium falciforme</i>	SN 647	0,7	1,7	2,5	3,3	3,8	4,2	5	0,1	23,077
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Leuconostoc pseudomesenteroides</i>	0,9	1,7	2,6	3,3	3,9	4,1	4,5	0,5	30,769
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Priestia megaterium</i>	0,9	1,8	2,7	3,3	3,8	4	4,2	0,6	35,385
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Paenibacillus konkukensis</i>	1	1,9	2,7	3,3	3,3	3,9	4,3	0,7	33,846
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Bacillus velezensis</i>	1,1	2,1	2,7	3,2	3,5	3,9	4,4	0,6	32,308
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Paenibacillus vulneris</i>	0,9	2	2,7	3,8	4,2	4,5	4,7	0,4	27,692
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Liquorilactobacillus mali</i>	1	2	2,7	3,5	4,2	4,7	5	0,6	23,077
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Acetobacter tropicalis</i>	0,9	1,9	2,7	3,4	3,9	4	4,7	0,2	27,692
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Levilactobacillus brevis</i>	1,2	1,9	2,5	3,3	4	4,5	4,8	0,2	26,154
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Acetobacter sp.</i>	0,9	1,7	2,1	2,8	3,2	3,5	3,9	0,9	40,000

<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	1	1,9	2,6	3,2	3,6	4	4,3	0,8	33,846
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Paenibacillus yunnansis</i>	1,1	2	2,7	3,4	3,9	4,2	4,6	0,5	29,231
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pantoea dispersa</i>	0,9	1,9	2,7	3,5	4	4,1	4,6	0,3	29,231
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Ralstonia sp.</i>	0,8	1,6	2,5	3,1	3,8	4,3	4,6	0,4	29,231
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Staphylococcus</i>	1	2	2,9	3,8	4,4	5	5,7	0	12,308
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Staphylococcus capitis</i>	1	2	3,4	3,4	3,9	4,2	4,7	0,3	27,692

Elaborado por los autores, 2024

Anexo 4. Matriz de registro diario para bacterias de Antártida en confrontación con hongos fitopatógenos.

Hongo fitopatógeno	Bacteria	MEDICIONES EN cm PARA BACTERIAS DE LA ANTÁRTIDA								
		DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DISTANCIA BACT-HONGO AL DÍA 7	% inhibición
<i>Fusarium verticilloides</i>	(CONTROL)	1	2,3	3,8	4,5	6	7	7,8	NA	NA
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Filibacter sp.</i>	1	2,2	3,1	4,2	5	6	7,3	0	6,410
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Janthinobacterium tructae</i>	1	2	2,6	3,3	4	5	5,6	0	28,205
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Leifsonia antarctica</i>	1	1,9	2,7	3,4	4	5	5,7	0	26,923
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>	2	2,2	3	3,5	4	5	5,3	0	32,051
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas brenneri</i>	1	2,1	2,9	3,6	4	5	5,8	0,3	25,641
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas canadensis</i>	2	2,2	3	3,5	4	5	5,9	0	24,359
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas caspiana</i>	1	2	2,7	3,4	4	5	5,5	0,1	29,487

<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	2	2,1	2,8	3,6	4	5	5,8	0,1	25,641
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2	2,2	2,9	3,4	4	5	5,8	0,1	25,641
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	2	2,3	2,9	3,9	4	5	6,2	0,2	20,513
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	2	2,3	3,1	4	5	5	5,8	0,2	25,641
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas paraversuta</i>	1	2	2,7	3,6	5	6	6	0,2	23,077
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas psychrophila</i>	1	2,1	2,8	3,4	4	5	5,9	0,2	24,359
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	2	2,3	3,7	4	5	5	6,5	0	16,667
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas silesiensis</i>	2	2,9	3,2	4,1	5	6	6,5	0	16,667
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	2	2,8	3	3,9	5	5	5,9	0,2	24,359
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	2	2,4	3,2	4	5	6	6,2	0,2	20,513
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	1	2	2,6	3,5	4	5	5,6	0,2	28,205
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Psychrobacter luti</i>	1	2	2,6	3,4	4	5	5,9	0,2	24,359
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Ralstonia pickettii</i>	1	2	2,6	3,4	4	5	5,5	0,2	29,487
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Rhodoccus sp</i>	1	1,8	2,5	3,2	4	5	5,8	0,1	25,641
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Sporosarcina psychrophila</i>	1	2,1	2,8	3,7	5	7	7,8	0	0,000
<i>Fusarium verticilloides</i>	<i>Pseudomonas protegens</i>	1	2	2,5	3,4	4	4	5,1	0,3	34,615
<i>Fusarium globosum</i>	(CONTROL)	1	2,2	3,5	5,1	7	8	8,5	NA	NA

<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>	1	2,2	3,3	4,8	5	6	6,2	0	27,059
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas brenneri</i>	2	2,5	3,5	4,5	5	6	6	0	29,412
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas caspiana</i>	2	2,7	3,8	4,9	6	7	7,7	0	9,412
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	2	2,7	3,9	4,7	5	6	6,5	0,1	23,529
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2	2,6	3,6	4,3	5	6	6,4	0	24,706
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	1	2,4	3,5	4,7	5	6	6,3	0	25,882
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	1	2,2	3,7	4,7	5	6	6,1	0,1	28,235
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	1	2,3	3,4	4,6	5	6	6	0	29,412
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas silesiensis</i>	2	2,5	3,7	5	6	7	7,8	0	8,235
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	2	2,6	3,5	4,9	6	6	7	0	17,647
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	2	2,5	3,5	4,5	5	6	6,1	0,2	28,235
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	1	2,1	3,2	4,4	5	5	5,9	0,2	30,588
<i>Fusarium globosum</i>	<i>Pseudomonas protegens</i>	2	2,5	3	4	4	5	4,8	0,4	43,529
<i>Curvularia alcornii</i>	(CONTROL)	1	1,5	2	2,3	3	4	4,4	NA	NA
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>	1	0,9	2	2,7	3	4	4	0,3	9,091
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas brenneri</i>	1	0,9	1,8	2,3	3	3	3,5	0,5	20,455
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0	1,6	2,2	2,9	4	4	4,8	0,2	-9,091

<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	1	1,8	2,3	3	3	4	4	0,4	9,091
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas silesiensis</i>	1	1,8	2,5	3,1	4	5	5,1	0	-15,909
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	1	1,6	2,2	2,9	4	4	4,8	0,1	-9,091
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	1	1,7	2,7	3,3	3	4	4	0,5	9,091
<i>Curvularia alcornii</i>	<i>Rhodoccus sp</i>	1	1,4	2	2,6	3	4	4,3	0,5	2,273
<i>Curvularia cactivora</i>	(CONTROL)	1	2,7	3,5	5,1	6	6	6,5	NA	NA
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Filibacter sp.</i>	1	2,4	3,5	5	6	7	7,2	0	-10,769
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Janthinobacterium tructae</i>	2	3,1	4	4,6	5	6	6	0	7,692
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>	1	2,3	3,2	4,1	5	5	5,5	0,3	15,385
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas brenneri</i>	2	2,6	3,8	4,2	5	5	5,7	0,3	12,308
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas canadensis</i>	2	2,5	3,5	4,2	5	6	5,8	0,1	10,769
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas caspiana</i>	2	2,6	3,5	4,5	5	6	6,8	0	-4,615
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	2	2,8	3,1	4,2	4	5	5,7	0,2	12,308
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	2	2,7	3,4	4,3	5	5	5,8	0,3	10,769
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	2	2,7	3,8	4,1	5	5	6	0,3	7,692
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	1	2,2	3,4	4,1	5	5	5,6	0,2	13,846
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas silesiensis</i>	2	2,6	3,5	4,6	5	6	7	0	-7,692

<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	2	2,6	3,4	4	5	5	5,7	0,2	12,308
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	2	2,8	3,5	4,3	5	6	5,7	0,3	12,308
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	2	2,5	3,3	4,3	5	5	5,8	0,3	10,769
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Ralstonia pickettii</i>	3	3,2	4	4,6	5	5	5,3	0,3	18,462
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Rhodoccus sp</i>	1	2,6	3,8	5,1	6	8	8	0	-23,077
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Sporosarcina aquimarina</i>	2	2,6	3,5	4,3	4	5	5	0,1	23,077
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Sporosarcina psychrophila</i>	2	2,7	4	5,4	6	7	7,9	0	-21,538
<i>Curvularia cactivora</i>	<i>Pseudomonas protegens</i>	2	2,5	3	3,6	4	4	4	0,7	38,462
<i>Fusarium falciforme</i>	(CONTROL)	1	2,2	3,1	3,9	5	6	6,9	NA	NA
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Filibacter sp.</i>	2	2	2,7	3,2	4	5	6,5	0	5,797
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Janthinobacterium tructae</i>	1	2	2,7	3,3	4	5	5,3	0	23,188
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Leifsonia antarctica</i>	1	1,8	2,4	3	4	4	5	0,1	27,536
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas antarctica</i>	1	1,7	2,2	2,9	3	4	5	0,1	27,536
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas brenneri</i>	1	2,2	2,7	3,5	4	5	6	0,1	13,043
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas canadensis</i>	1	2,1	2,7	3,5	5	5	6,5	0	5,797
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas caspiana</i>	1	2,1	2,7	3,7	4	5	5,7	0,1	17,391
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas extremaustralis</i>	1	1,9	2,5	3,4	4	5	4,8	0,1	30,435

<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2	2,1	2,4	3,3	4	4	5	0,3	27,536
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas kitaguniensis</i>	2	2,2	2,8	3,9	5	5	5,4	0,1	21,739
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas nunensis</i>	0	2,1	2,8	3,7	5	5	6,4	0	7,246
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas rhodesiae</i>	1	2,1	3,8	3,8	4	5	5,4	0,1	21,739
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas silesiensis</i>	1	2	2,8	3,6	4	5	6,1	0	11,594
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	1	2,2	2,5	3,3	4	4	5	0,3	27,536
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	2	2,1	2,7	3,3	4	5	5,5	0,3	20,290
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas yamanorum.</i>	1	1,9	2,5	3,3	4	5	5,7	0,3	17,391
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Ralstonia pickettii</i>	2	2,2	2,8	3,4	4	5	5,1	0,1	26,087
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Rhodoccus sp</i>	1	1,9	2,5	3,6	4	5	6,1	0,2	11,594
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Sporosarcina psychrophila</i>	1	2,1	3	3,9	5	6	6,2	0,2	10,145
<i>Fusarium falciforme</i>	<i>Pseudomonas protegens</i>	1	1,8	2,1	2,8	3	4	5,3	0,1	23,188

Elaborado por los autores, 2024