



Universidad Tecnológica ECOTEC

Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza

Título del trabajo:

“Análisis del efecto de bactericidas para el manejo de *Ralstonia solanacearum* en cultivo de
banano en invernadero, Joya de los Sachas 2025”

Línea de Investigación:

Gestión de los Procesos Productivos Agrícolas

Modalidad de titulación:

Trabajo de Integración Curricular

Carrera/programa:

Agronomía

Título a obtener:

Ingeniera Agrónomo

Autor (a):

Jessica Isabel Muñoz Yuquilema

Tutor:

Jose Ibrahin Hernandez Rosas, PhD.

Samborondón – Ecuador

2025

Agradecimiento

A Dios, porque nada llega tarde o temprano, sino en el momento preciso, y por darme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa. Agradezco también a mis padres, quienes, con su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, han sido el pilar fundamental en este proceso; así mismo, a mis hermanos y familiares, por acompañarme en cada paso de este camino universitario.

De igual manera, a la empresa INTEROC S.A., por facilitarme los materiales necesarios para el desarrollo de la investigación, y M.S.c Jimmy Pico, responsable del área de Protección Vegetal en la Estación Experimental Central de la Amazonía – INIAP, por brindarme la oportunidad de realizar mi investigación en sus instalaciones.

Asimismo, al ingeniero Christofer Suárez, por compartir generosamente sus conocimientos, y a su esposa Viviana Ureña, por su hospitalidad. De manera especial, al M.S.c Alex Delgado, por sus valiosos consejos y constante apoyo durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a los docentes de mi carrera, quienes contribuyeron a mi formación profesional y personal, así como a todas aquellas personas que, de una u otra forma, hicieron posible la culminación de este proyecto.

Dedicatoria

A mis padres, por su amor incondicional, sus enseñanzas y, sobre todo, por el enorme esfuerzo y sacrificio que hicieron para darme la oportunidad de estudiar, apoyándome siempre con dedicación para que pudiera alcanzar mis metas. A mi querida Nalha, por alegrar mis días y acompañarme incluso en los momentos más difíciles. Y, de manera especial, a la familia que Dios me permita formar algún día, con la esperanza de que este logro sea una inspiración.



ANEXO No. 12

**PROCESO DE TITULACIÓN
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

Samborondón, 15 de agosto de 2025

Magíster o Doctor

Erika Ascencio Jordán

Unidad Académica: Facultad de Ingenierías, Arquitectura y Ciencias de la Naturaleza
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de titulación TITULADO: **ANÁLISIS DEL EFECTO DE BACTERICIDAS PARA EL MANEJO DE RALSTONIA SOLANACEARUM EN CULTIVO DE BANANO EN INVERNADERO, JOYA DE LOS SACHAS 2025**, fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, por lo que se autoriza al estudiante: **JESSICA ISABEL MUÑOZ YUQUILEMA**, para que proceda con la presentación oral del mismo.

ATENTAMENTE,



José Ibrahin Hernández Rosas, PhD.
Tutor



ANEXO No. 10

PROCESO DE TITULACIÓN CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Habiendo sido revisado el trabajo de titulación TITULADO: **ANÁLISIS DEL EFECTO DE BACTERICIDAS PARA EL MANEJO DE RALSTONIA SOLANACEARUM EN CULTIVO DE BANANO EN INVERNADERO, JOYA DE LOS SACHAS 2025** elaborado por **JESSICA ISABEL MUÑOZ YUQUILEMA** fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje del 7% mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del documento. Adicional se adjunta print de pantalla de dicho resultado.

JOSE IBRAHIN HERNANDEZ ROSAS

Ver el resumen del informe

Documento adj... 7 %

Fuentes

FUENTES INCLUIDAS

Fuente	Porcentaje
Internet (9)	4 %
Base de datos global (4)	2 %
Archivo de documentos institucionales (1)	1 %

Fuentes principales

Resumen

En la presente investigación se evaluó la efectividad de bactericidas biológicos y químicos en el manejo de *Ralstonia solanacearum* en plantas de banana bajo condiciones de invernadero en Joya de los Sachas, 2025. Se aplicaron distintos tratamientos, como: *Streptomyces* sp., *Bacillus methylotrophicus*, *Gliricidia sepium* + *Gliricidia sepium* + *Gliricidia sepium*, *Gliricidia sepium* + *Gliricidia sepium*, de manera individual y combinada. La severidad de la enfermedad fue evaluada mediante una escala visual de 0 a 4, registrando incidencia y mortalidad en cada tratamiento. Los resultados demostraron que el tratamiento combinado (biológico + químico) presentó una eficacia significativamente mayor, reduciendo los síntomas de marchitez y la mortalidad de las plantas. Donde se concluye que la aplicación preventiva de agentes de biocontrol, especialmente en asociación con químicos de bajo impacto, lo que constituye una estrategia para el manejo sostenible de este patógeno en bananeros. Palabras clave: *Ralstonia solanacearum*, banana, bactericidas, invernadero, control biológico.

Abstract

This study evaluated the effectiveness of biological and chemical bactericides in managing *Ralstonia solanacearum* in banana plants under greenhouse conditions in Joya de los Sachas, 2025. Different treatments were applied, such as: *Streptomyces* sp., *Bacillus methylotrophicus*, *Gliricidia sepium* + *Gliricidia sepium*, *Gliricidia sepium* + *Gliricidia sepium*, individually and combined. The severity of the disease was evaluated using a visual scale from 0 to 4, recording incidence and mortality in each treatment. The results demonstrated that the combined treatment (biological + chemical) presented a significantly higher efficacy, reducing the symptoms of wilting and the mortality of the plants. Where it is concluded that the preventive application of biocontrol agents, especially in association with low-impact chemicals, which constitutes a sustainable management strategy for this pathogen in banana plants. Keywords: *Ralstonia solanacearum*, banana, bactericides, greenhouse, biological control.

ATENTAMENTE,



JOSE IBRAHIN
HERNANDEZ ROSAS

José Ibrahim Hernández Rosas, PhD.
Tutor

Resumen

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* constituye una amenaza crítica para la producción de banano en regiones tropicales y subtropicales, debido a su alta virulencia, capacidad de persistencia en el suelo y rápida diseminación en condiciones favorables de humedad y temperatura. Esta enfermedad, conocida como moko, provoca marchitez, necrosis y muerte de las plantas, ocasionando pérdidas económicas significativas para los productores y afectando la estabilidad del mercado. Con el propósito de identificar estrategias de control efectivas y ambientalmente sostenibles, se evaluó en invernadero la eficacia de bactericidas biológicos y químicos aplicados de forma preventiva y curativa, con y sin heridas inducidas en el cormo. Los tratamientos incluyeron combinaciones de *Streptomyces* sp., *Bacillus methylotrophicus*, Gentamicina + Oxitetraciclina y Zhongshengmycin + Kasugamicina. Se utilizó un diseño completamente al azar con siete tratamientos y un testigo, midiendo unidades formadoras de colonia (UFC), incidencia, severidad y mortalidad. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos, destacando T5 (*Streptomyces* + *B. methylotrophicus*) y T4 (*B. methylotrophicus* solo) por registrar la menor cantidad de UFC, mientras que T7 (*Streptomyces* + Zhongshengmycin + Kasugamicina*) presentó la menor mortalidad. La presencia de heridas incrementó la severidad de la infección, pero no hubo diferencias significativas entre aplicación preventiva y curativa. La combinación de agentes biológicos con químicos selectivos mostró un efecto sinérgico, reduciendo eficazmente la incidencia y severidad de la enfermedad. Estos resultados respaldan la implementación de un manejo integrado como estrategia clave para mitigar pérdidas, optimizar la sanidad del cultivo y fortalecer la sostenibilidad de la producción bananera en zonas vulnerables.

. **Palabras clave:** Banano, bactericidas, control biológico, invernadero, *Ralstonia solanacearum*

Abstract

Bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* poses a critical threat to banana production in tropical and subtropical regions due to its high virulence, ability to persist in the soil, and rapid spread under favorable humidity and temperature conditions. This disease, known as moko, causes wilting, necrosis, and plant death, resulting in significant economic losses for producers and affecting market stability. In order to identify effective and environmentally sustainable control strategies, the efficacy of biological and chemical bactericides applied preventively and curatively, with and without induced wounds in the corm, was evaluated in a greenhouse. The treatments included combinations of *Streptomyces* sp., *Bacillus methylotrophicus*, Gentamicin + Oxytetracycline, and Zhongshengmycin + Kasugamycin. A completely randomized design with seven treatments and a control was used, measuring colony-forming units (CFU), incidence, severity, and mortality. The results showed significant differences between treatments, with T5 (*Streptomyces* + *B. methylotrophicus*) and T4 (*B. methylotrophicus* alone) standing out for recording the lowest number of CFU, while T7 (*Streptomyces* + Zhongshengmycin + Kasugamycin*) had the lowest mortality rate. The presence of wounds increased the severity of the infection, but there were no significant differences between preventive and curative application. The combination of biological agents with selective chemicals showed a synergistic effect, effectively reducing the incidence and severity of the disease. These results support the implementation of integrated management as a key strategy to mitigate losses, optimize crop health, and strengthen the sustainability of banana production in vulnerable areas.

Keywords: Banana, bactericides, biological control, *Ralstonia solanacearum*, greenhouse.

Índice

Resumen	6
Abstract.....	7
1. Introducción	13
1.1 Planteamiento del Problema.....	15
1.2 Objetivo General.....	18
1.2.1 Objetivos Específicos.....	18
1.3 Justificación.....	18
2. Marco teórico	19
2.1 Estado del arte	19
2.2 Bases teóricas.....	21
2.2.1 Biología y Epidemiología.....	21
2.2.2 Taxonomía.....	22
2.2.3 Morfología.....	22
2.2.4 La Virulencia de <i>R. Solanacearum</i> se Basa en:	22
2.2.5 Características Celulares	22
2.2.6 Variabilidad Genética y Clasificación.....	23
2.2.7 Ciclo de Vida e Infección.....	23
2.2.8 Supervivencia y Diseminación	23
2.2.9 Importancia Económica.....	24
2.3 Importancia del cultivo de banano y su vulnerabilidad a <i>Ralstonia solanacearum</i>	24
2.3.1 Relevancia Económica, Social y Ecológica del Banano	24
2.3.2 Impacto Fitosanitario de <i>Ralstonia Solanacearum</i> en Banano	24
2.3.2.1 Patogénesis, transmisión y síntomas.....	25
2.3.2.2 Vulnerabilidad fisiológica y ecológica del banano.	25
2.3.2.3 Situación epidemiológica en América Latina y Ecuador.....	25
2.4 Ecología del patógeno	26

2.5 Interacción planta-patógeno y respuesta del banano.....	26
2.6 Estrategias actuales de manejo fitosanitario.....	28
2.7 Uso de bactericidas	28
2.7.1 Bactericidas biológicos.....	28
2.8 Condiciones de invernadero	29
3. Materiales y Métodos	30
3.1. <i>Enfoque de la investigación</i>	30
3.1.1 Tipo de investigación	30
3.1.2 Diseño de investigación	30
3.2 Delimitación de la investigación.....	30
3.2.1 Espacial	30
3.2.2 Temporal.....	31
3.2.3 Poblacional	31
3.3 Variables	31
3.3.1 Variable independiente	31
3.3.2 Variable dependiente	31
3.4 Hipótesis.....	31
3.5 Diseño experimental.....	31
3.5 Recursos	33
3.6 Métodos y técnicas.....	33
2.7 Diagrama de flujo de las actividades experimentales	35
2.8 Análisis estadístico	35
4. Resultados.....	36
4.1. Analizar el efecto de los bactericidas para el manejo de <i>Ralstonia solanacearum</i> en el cultivo de banano en condiciones de invernadero mediante el descenso de unidades formadoras de colonia.....	36

4.2	Cuantificar la eficacia del bactericida que presente el mayor descenso de la mortalidad de plantas infectadas por <i>Ralstonia solanacearum</i> en condiciones de invernadero.	39
4.3	Identificar el efecto de los bactericidas mediante la reducción de la incidencia y severidad de <i>Ralstonia solanacearum</i> en el cultivo de banano en condiciones de invernadero.	46
5.	Discusión.....	53
6.	Conclusiones.....	57
7.	Recomendaciones.....	58
8.	Referencias Bibliográficas.	59
9.	Anexos	69

Índice de tabla

Tabla 1 Descripción de los bactericidas.....	32
Tabla 2 Descripción de los tratamientos.	32
Tabla 3 Materiales para levantamiento de la investigación	33
Tabla 4 Escala de severidad de marchitez bacteriana en banano	34
Tabla 5 Esquema de análisis de varianza.....	35
Tabla 6 Estadística descriptiva de las Unidades formadoras de colonia (UFC) de la bacteria <i>R. solanacearum</i> R2. en condiciones de laboratorio.	36
Tabla 7 Análisis de la varianza (SC tipo III)	37
Tabla 8 Prueba de rangos múltiples de Tukey al 95% eficiencia	38
Tabla 9 Estadística descriptiva de la mortalidad de plantas inoculadas de <i>R. solanacearum</i> R2 en invernadero.	40
Tabla 10 Evolución de la incidencia de Moko durante el periodo de semanal.....	46
Tabla 11 Severidad de la enfermedad del Moko ocasionada por <i>Ralstonia solanacearum</i> R2	49

Índice de Figura

Figura 1 Unidades formadoras de colonias de <i>Ralstonia solanacearum</i> R2. en 10 g de suelo y vegetal	39
Figura 2 Efecto de los bactericidas biológicos y químicos sobre la enfermedad <i>Ralstonia solanacearum</i> R2. en plantas de banano en condiciones de invernadero	41
Figura 3 Efecto de bactericidas aplicados como curativo en plantas de banano en condiciones de invernadero	42
Figura 4 Promedio de la mortalidad mediante el efecto de bactericidas sobre <i>Ralstonia solanacearum</i> r2 en plantas de banano en condiciones de invernadero	43
Figura 5 Efecto de manejo preventivo o curativo sobre la mortalidad de plantas infestadas con <i>R. solanacearum</i> R2.....	44
Figura 6 Efecto de heridas o cortes sobre la mortalidad de plantas infestadas con <i>R. solanacearum</i> R2.....	45
Figura 7 Incidencia de la enfermedad de Moko provocada por <i>R. solanacearum</i> R2 en plantas de banano en invernadero	47
Figura 8 Incidencia de la enfermedad de Moko en dos métodos de majeño de <i>R. solanacearum</i> R2 en plantas de banano en invernadero	48
Figura 9 Incidencia de la enfermedad de Moko con heridas o cortes y el efecto de <i>R. solanacearum</i> R2 en plantas de banano en invernadero	48
Figura 10 Severidad de la enfermedad de Moko provocada por <i>R. solanacearum</i> R2 en plantas de banano en invernadero	50
Figura 11 Severidad de la enfermedad en los métodos de aplicación preventivo y curativo.	51
Figura 12 Severidad de la enfermedad de Moko con heridas o cortes y el efecto de <i>R. solanacearum</i> R2 en plantas de banano en invernadero	52
Figura 13 Preparación de los tratamientos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 Solución de los bactericidas	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 Identificación de los tratamientos preventivo	¡Error! Marcador no definido.
Figura 16 Identificación de los tratamientos curativos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17 Inoculo bacteriano.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18 Inducción de daño en el cormo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19 Escala de severidad de marchitez bacteriana en banano.....	¡Error! Marcador no definido.

1. Introducción

El banano es una de las frutas más consumidas en el mundo, y su cultivo es una actividad económica de gran importancia en muchas regiones tropicales y subtropicales. Su versatilidad, sabor dulce y propiedades nutricionales lo han convertido en un alimento básico en la dieta de millones de personas (Martínez-Solórzano y Rey-Brina, 2021; León et al., 2023).

El banano se cultiva principalmente en países con climas cálidos y húmedos:

En el continente asiático destacan los siguientes países India (34,5 M), China (11,8 M), Indonesia (9,2 M), Filipinas (5,9 M) y en África Nigeria (8 M), Angola (4,6 M), Tanzania (3,5 M) son los productores de banano, sin embargo, la fruta que se produce es para consumo interno (World Population Review, 2024).

En América Latina, países como Brasil (6,9 M), Guatemala (4,8 M), Colombia (2,5 M), México (2,6 M), Colombia (2,5 M), Costa Rica (2,4 M), Perú (2,4 M), Republica Dominicana (1,4) son grandes productores de banano que tienen una producción significativa ((World Population Review, 2024; Ajila et al., 2024).

Ecuador es uno de los principales exportadores de banano a nivel mundial y su cultivo es fundamental para la economía del país con una producción de 6,1 millones de toneladas (Ruiz-Contreras et al., 2024).

La industria bananera genera empleo y divisas para muchos países en desarrollo (Evans et al., 2022). Además de su consumo fresco, el banano se utiliza en la elaboración de una amplia variedad de productos, como harina y otros alimentos procesados (Trejo, 2024).

En la actualidad el cultivo de banano enfrenta diversos desafíos, como enfermedades fúngicas (como la sigatoka negra), plagas, cambios climáticos y la competencia de otros cultivos (Medina et al., 2024).

La bacteria *Ralstonia solanacearum*, es un patógeno de baja incidencia y con alta severidad que es devastador para los cultivos banano y plátano, estos cultivos son clave para la economía de muchos países (Ababa, 2024; Grajales et al., 2021). En Europa, el manejo de esta bacteria ha llevado a investigaciones sobre la efectividad de bactericidas como el óxido de cloro (Ambang et al., 2023; Dadrasnia et al., 2022) y otras técnicas de manejo con enfoques biológicos (*Bacillus* sp. y *Paenibacillus* sp.) para limitar la diseminación del patógeno (Tinzaara et al., 2024).

En Asia y África, se han probado diversas estrategias para el manejo del patógeno en banano, como el uso de bactericidas basados en cobre ha mostrado resultados variables en Tailandia y Filipinas (Opondo et al., 2023), mientras que en África oriental se ha priorizado la integración de manejos biológicos con microorganismos como *Trichoderma* y *Bacillus* sp. con agentes químicos (Cellier et al., 2012; Elphinstone, 2005).

En América Latina, la problemática de *Ralstonia solanacearum* ha sido reportada en varios países (Marín-Ortiz et al., 2024), afectando el cultivo de banano en países como Colombia (Blomme et al., 2017), Brasil (Ricardo, 2021) y Venezuela (Araluce et al., 2016) ocasionando pérdidas importantes en el área de siembra.

El tema es de importancia en la actualidad debido a las pérdidas económicas que está ocasionando la bacteria *R. solanacearum*, que provoca el moko en plátano y banano, siendo este último de mayor importancia para el país dado que, este cultivo es de gran interés por impacto socioeconómico en la población ecuatoriana (Sanchez, 2021).

La bacteria *R. solanacearum* constituye una amenaza latente para la supervivencia del cultivo de banano (Aguirre, 2023). Esta bacteria, es responsable de la marchitez bacteriana, ataca a las plantas de manera insidiosa, causando su muerte prematura (Delgado y Barreto 2024). Las pérdidas económicas derivadas de esta enfermedad son alarmantes, poniendo en riesgo la viabilidad de muchos productores (Sanchez, 2021; Aguirre, 2023; Delgado y Barreto, 2024). Es fundamental intensificar la investigación para encontrar soluciones efectivas y detener el avance de esta bacteria.

Este trabajo científico es fundamental para desarrollar estrategias de manejo más efectivas y respetuosas con el medio ambiente para combatir la marchitez bacteriana, una enfermedad que pone en riesgo la producción bananera y el sustento de muchos agricultores (Viera et al., 2020).

Al abordar la problemática de la bacteria *R. solanacearum* en el cultivo de banano, esta investigación contribuye a garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola y la seguridad alimentaria, beneficiando tanto a productores como a consumidores.

En este trabajo se estudió el efecto de los bactericidas sobre la población bacteriana y mitigación de esta para lograr un manejo y evitar la mortalidad de plantas infectadas con Moko (Rueda-Puente et al., 2018).

Los bactericidas químicos han sido comúnmente utilizados y aplicados, aunque la bacteria ha mostrado resistencia. Oliveira et al. (2017) en Brasil reportaron algunos avances

éxitos con el uso de bactericidas basados en formulaciones de amonio cuaternario, combinados con buenas prácticas agrícolas, mientras Arenas et al. (2004) en Colombia investigó el potencial de productos biológicos, como *B. subtilis*. Por otro lado, Alfaro et al. (2024) en Costa Rica encontraron que, la eficacia de metan sodio puede inhibir el crecimiento de la bacteria fue del 100 %.

El uso de químicos para el manejo de *Ralstonia* es eficiente en la fase de laboratorio, invernadero y campo muestran efectos positivos para los bactericidas y demás productos químicos y biológicos (Torre- González et al., 2013). sin embargo, en el Ecuador se carece de información sobre el manejo de la enfermedad.

En Ecuador, el cultivo de banano es fundamental para la economía, la amenaza de *R. solanacearum*-2 es una preocupación constante (Cueva, 2024; Saquicela et al., 2023; Camino, 2018; Delgado et al., 2014).

Las investigaciones recientes en invernaderos en las que se han evaluado la efectividad de bactericidas biológicos como el uso antagonista de *T. harzianum* (Rosado et al., 2024) y el uso de extractos de plantas locales con propiedades antibacterianas (Paredes et al., 2023).

Además, la utilización de metabolitos secundarios usados como antioxidantes para inhibir el crecimiento de *R. solanacearum* (Mihai et al., 2024), estos resultados son alentadores para el manejo de este patógeno.

Por otro lado, los resultados que se han obtenido, aunque de forma preliminar son prometedores, sugieren la necesidad de una integración más amplia de bactericidas biológicos con químicos para lograr un control efectivo y sostenible de la enfermedad (Ramos et al., 2024; Rosado et al., 2024; Paredes et al., 2023).

1.1 Planteamiento del Problema.

El cultivo de banano es un pilar económico crucial en varios países tropicales, siendo Ecuador uno de los principales exportadores a nivel mundial. Sin embargo, la productividad y la calidad del plátano están amenazadas por diversas enfermedades, entre las cuales la causada por *R. solanacearum* (Granada, 1997).

R. solanacearum es uno de los patógenos bacterianos más destructivos para cultivos de importancia económica, incluidos el banano, el tomate y la papa. Este patógeno causa la enfermedad conocida como marchitez bacteriana, la cual afecta a más de 450 especies de plantas en áreas tropicales, subtropicales y templadas cálidas (Beattie, 2006).

En los cultivos de banano, la bacteria bloquea los tejidos vasculares, lo que provoca marchitez rápida y la muerte de la planta. Estudios han identificado diversas razas y biovars del patógeno que se distribuyen globalmente, siendo la raza 2 la más asociada con el banano (Prior & Fegan, 2005).

R. solanacearum ha sido una preocupación fitosanitaria desde hace varias décadas debido a su impacto en los sistemas de producción agrícola, la bacteria ha afectado severamente cultivos de banano en países como Colombia, Costa Rica y Brasil, donde las condiciones cálidas y húmedas favorecen la proliferación del patógeno (Alfaro et al., 2024; Albuquerque et al., 2021; Barrios et al., 2011).

El control del Moko se ha intentado mediante métodos convencionales de agricultura, como la rotación de cultivos, el uso de cultivares resistentes, entre otros, que resultaron inadecuados para el control de la bacteria (Rueda-Puente et al., 2018).

La marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum* es una gran amenaza para la producción de banano en todo el mundo (Medina et al., 2024). La búsqueda urgente de soluciones para controlar tal enfermedad, y de bactericidas específicos, así como prácticas agrícolas sostenibles para limitar el impacto de esta bacteria en dichos cultivos, es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica de la industria bananera.

Estudios en Costa Rica han demostrado que la propagación de *R. solanacearum* en bananos ha sido potenciada por el agua de riego contaminada y una mala gestión agrícola, lo que ha resultado en medidas intensivas de bioseguridad para controlar la evolución final de la enfermedad (Alfaro et al., 2024).

En uno de los principales países exportadores de banano a nivel mundial, Ecuador, el hecho alarmante es que la comunidad agrícola está en peligro por la infección de *Ralstonia solanacearum*. Aunque la incidencia de la marchitez bacteriana no es tan alta como en otros países de la región, en estudios recientes se detectaron focos de infección en las plantaciones de la provincia de Los Ríos, donde las condiciones de humedad y temperatura son favorables para la supervivencia del patógeno (Sánchez, 2021).

Las investigaciones sobre aplicaciones de bactericidas para el control de *R. solanacearum* son esenciales para resolver un problema que afecta directamente la producción de banano (Guillermo et al., 2014). Se necesitan desarrollar nuevas herramientas y estrategias de control para manejar esta enfermedad en ambientes protegidos (invernaderos) (Viera et al., 2020).

La problemática de la marchitez bacteriana en el cultivo de banano exige un enfoque integral que combine el desarrollo de bactericidas específicos con la implementación de prácticas agrícolas sostenibles. Es necesario encontrar soluciones que no solo sean efectivas para controlar la enfermedad, sino que también sean respetuosas con el medio ambiente y la salud humana.

En este trabajo se busca demostrar que el uso de bactericidas, constituye una alternativa prometedora para el manejo de *R. solanacearum*. Sin embargo, el desconocimiento y la limitada información sobre el manejo de productos químicos para el control del patógeno, han generado la reducción de áreas productivas de banano.

Para lograr un control óptimo de la marchitez bacteriana, es necesario adoptar un enfoque integrado que combine el desarrollo de nuevas herramientas y tecnologías con la implementación de prácticas culturales sostenibles. Asimismo, es necesario fomentar la colaboración entre los diferentes actores involucrados en la producción bananera y en la investigación.

En la actualidad se han realizado trabajos referentes al uso de bacteriófagos, cloruro de óxido y microorganismos, a pesar de los avances logrados, aún se requiere más investigación para desarrollar productos biocontroladores comerciales eficaces y rentables para el control del Moko. Los investigadores están trabajando en la identificación de nuevas cepas de microorganismos benéficos, la optimización de los procesos de producción y la evaluación de la eficacia de los biocontroladores en condiciones de campo.

El problema central radica en la necesidad de evaluar la eficacia de distintos bactericidas en el control de *R. solanacearum* con ello tener un plan integral para el manejo de la enfermedad, mitigando las pérdidas económicas ocasionadas por la bacteria.

1.2 Preguntas de investigación

- ¿Cuál de los bactericidas evaluados es más eficiente en la reducción de la incidencia y severidad de la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* en plantas de banano Cavendish cultivadas en invernadero?
- ¿Qué bactericidas evaluados presentan el mayor descenso en el porcentaje de plantas infectadas por *Ralstonia solanacearum*?
- ¿Cómo los bactericidas evaluados brindan una protección prolongada en las plantas de banano tratadas contra *Ralstonia solanacearum*?

1.2 Objetivo General.

Evaluar la efectividad de diferentes bactericidas para el control de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de banano en condiciones de invernadero, mediante el conteo de las unidades formadoras de colonia y la disminución de la mortalidad de plantas.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Analizar el efecto de bactericidas para el manejo de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de banano en condiciones de invernadero mediante el descenso de unidades formadores de colonia
- Cuantificar la eficacia del bactericida que presente el mayor descenso de la mortalidad de plantas infectadas por *Ralstonia solanacearum* en condiciones de invernadero.
- Identificar el efecto de los bactericidas mediante la reducción de la incidencia y severidad de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de banano en condiciones de invernadero.

1.3 Justificación.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia de varios agentes antimicrobianos para controlar *Ralstonia solanacearum*, un patógeno que causa la marchitez bacteriana en bananos. En un ensayo controlado en invernadero, se identificaron los químicos más efectivos para reducir la mortalidad, incidencia y severidad de la enfermedad, buscando soluciones sostenibles y eficaces para mitigar su impacto en los cultivos (Gómez et al., 2023).

Además, se encontró un tratamiento que mitigue la propagación de la enfermedad, garantizando la sostenibilidad de los cultivos y protegiendo la producción de bananos, crucial para la economía global. Se evaluó químicos que no solo sean efectivos, sino también accesibles para los agricultores, mejorando la salud de los cultivos y la seguridad alimentaria (Uribe-Lorío et al., 2024).

El estudio también relacionará la incidencia de la enfermedad con la gravedad de los síntomas, proporcionando información sobre los tratamientos más efectivos. Esto permitirá diseñar estrategias de manejo más eficientes, ayudando a los productores a tomar decisiones informadas sobre el uso de químicos.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

El banano (*Musa* spp.) es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. Representa una fuente clave de ingresos para numerosos países productores, destacando Ecuador como el mayor exportador global (FAO, 2023). A nivel nacional, el banano constituye uno de los pilares de la economía agrícola, generando empleo directo e indirecto, y ocupando grandes extensiones de tierra cultivable, principalmente en la región litoral (SIPA, 2023).

Taxonómicamente, el banano pertenece a la familia Musaceae, siendo *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* las especies base de la mayoría de los cultivares comerciales (Soto Ballester, 2015). La planta presenta un pseudotallo formado por vainas foliares superpuestas, una estructura subterránea conocida como cormo, hojas grandes y anchas, y un sistema radicular fasciculado.

Su desarrollo óptimo se alcanza en zonas con temperaturas entre 26 y 30 °C, alta humedad relativa (superior al 85 %) y suelos con buen drenaje, ricos en materia orgánica y con pH ligeramente ácido (García et al., 2019). El ciclo fenológico del banano es continuo, y su cosecha puede iniciarse entre los 9 a 12 meses después de la siembra, dependiendo de las condiciones climáticas y del manejo agronómico aplicado.

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* ha sido objeto de numerosas investigaciones debido a su amplia distribución, su variabilidad genética y su potencial destructivo en cultivos económicamente importantes como el banano (*Musa* spp.). En Ecuador, Colombia y otros países tropicales, se ha documentado la presencia de esta bacteria en plantaciones comerciales, generando pérdidas significativas (Soto & Morales, 2018). La mayoría de los estudios se han centrado en cultivos como tomate y papa, con resultados variables en el uso de bactericidas (García et al., 2018). En banano, aunque existen reportes de su impacto, los trabajos sobre estrategias de control, especialmente bajo condiciones de invernadero, son aún incipientes.

Estudios recientes como el de López-Salazar et al. (2023) sugieren que los sistemas protegidos pueden mejorar la eficacia de productos bactericidas al minimizar variables externas como la lluvia o la radiación solar, que afectan la estabilidad del producto. Del mismo modo, investigaciones con extractos botánicos y agentes biológicos muestran efectos promisorios, aunque su eficacia depende del aislamiento bacteriano y de la fisiología del cultivo huésped.

R. solanacearum representa una de las enfermedades más devastadoras del banano (*Musa* spp.), especialmente en regiones tropicales y subtropicales donde las condiciones de alta temperatura y humedad favorecen el desarrollo del patógeno. Esta bacteria tiene la capacidad de sobrevivir por largos periodos en el suelo, agua, residuos vegetales y en hospederos alternos, lo cual complica su erradicación y favorece su dispersión. El complejo de especies *R. solanacearum* species complex (RSSC), al que pertenece esta bacteria, presenta una alta diversidad genética, lo que contribuye a su plasticidad ecológica y capacidad de adaptación (Álvarez et al., 2020; Safni et al., 2014).

Ante esta problemática, en los últimos años se han desarrollado diferentes estrategias para su manejo, incluyendo control cultural, uso de material tolerante o resistente, rotaciones de cultivos, control biológico y aplicaciones de bactericidas químicos y biológicos. La eficacia de los tratamientos bactericidas ha sido uno de los focos centrales de la investigación fitopatológica, especialmente en condiciones controladas como los invernaderos, donde es posible aislar y evaluar mejor los efectos de los productos sobre la dinámica del patógeno (Genin & Denny, 2012).

Varios estudios han documentado el uso de bactericidas químicos, como sales de cobre (óxidos, hidróxidos y sulfatos cúpricos), oxitetraciclina, quitosano, y combinaciones de químicos agrícolas. Por ejemplo, Rodríguez y Méndez (2019) evaluaron la eficacia de sulfato de cobre y quitosano en tomate y banano bajo condiciones de invernadero, encontrando una reducción significativa de la incidencia de la marchitez bacteriana, aunque también se reportaron efectos fitotóxicos cuando se aplicaron dosis superiores a 1,5 g/L.

No obstante, uno de los principales retos con el uso de bactericidas químicos es su limitada penetración en los tejidos vasculares, donde se encuentra la bacteria. Además, el uso indiscriminado puede generar efectos adversos como resistencia bacteriana, contaminación del suelo, afectación a microorganismos benéficos y pérdida de vigor en las plantas (Singh et al., 2021). Por lo tanto, la tendencia actual es el uso racional y combinado con otras estrategias de manejo integrado.

El uso de alternativas biológicas ha ganado interés en las últimas décadas, especialmente productos a base de microorganismos antagónicos como *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma* spp. y extractos vegetales con propiedades antimicrobianas. Estudios realizados por Nguyen et al. (2021) demostraron que formulaciones biológicas basadas en *Bacillus* spp. pueden reducir hasta en un 70 % la carga bacteriana de *R. solanacearum* en condiciones de invernadero, cuando se combinan con prácticas de fertirrigación y bioestimulantes del crecimiento.

Asimismo, Kinyua et al. (2022) reportaron que la aplicación combinada de extractos de ajo y neem junto con bactericidas de baja toxicidad aumentó la eficacia del control de la enfermedad sin comprometer el crecimiento de las plantas. Este enfoque de manejo sinérgico ha mostrado ser prometedor, aunque su efectividad depende de factores como el tipo de cepa del patógeno, la susceptibilidad varietal del banano y las condiciones edafoclimáticas.

A pesar del creciente número de estudios en cultivos como papa, tomate y tabaco, la investigación enfocada específicamente en el banano es todavía escasa. La mayoría de los trabajos disponibles han sido desarrollados en Asia y África, y pocos se han adaptado a los contextos agroecológicos de América Latina. Además, muchos estudios se centran en ensayos in vitro o en plántulas en vivero, sin extenderse al ciclo completo del cultivo en condiciones reales de producción bajo invernadero.

Esta escasez de estudios aplicados en banano limita la formulación de recomendaciones concretas para productores, especialmente en cuanto a la elección de bactericidas compatibles con las exigencias del cultivo y la minimización de impactos secundarios. Por lo tanto, existe una clara necesidad de generar más evidencia científica que permita establecer programas de manejo integrado específicos para *R. solanacearum* en banano, con énfasis en sistemas bajo cubierta.

El manejo bajo condiciones de invernadero ofrece oportunidades únicas para el estudio y control de enfermedades vasculares. Al ser un sistema cerrado, permite controlar variables ambientales, reducir la entrada de nuevos patógenos y facilitar la aplicación precisa de bactericidas mediante fertirriego. Según López-Salazar et al. (2023), el uso de bactericidas en fertirrigación mejora su absorción y distribución, reduciendo las dosis necesarias y prolongando la protección de los tejidos vasculares.

Además, se ha observado que el uso de invernaderos permite ensayar nuevas combinaciones de tratamientos, incluyendo el uso de inductores de resistencia sistémica (ISR) y tecnologías emergentes como nanopartículas antimicrobianas (Zhang et al., 2022). Estas innovaciones podrían representar una nueva línea de investigación para el manejo de la marchitez bacteriana en el banano.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Biología y Epidemiología

Ralstonia solanacearum es una bacteria fitopatógena perteneciente al dominio Bacteria, filo Pseudomonadota (antes Proteobacteria), clase Betaproteobacteria, orden Burkholderiales y familia Burkholderiaceae. Este microorganismo ha sido catalogado como

uno de los patógenos más agresivos y económicamente importantes a nivel mundial, debido a su amplio rango de hospedantes, que incluye más de 200 especies vegetales pertenecientes a más de 50 familias, entre ellas Musaceae (banano y plátano), Solanaceae, Fabaceae y Zingiberaceae (Álvarez et al., 2020; Genin & Denny, 2012).

2.2.2 Taxonomía

R. solanacearum es una bacteria fitopatógena clasificada dentro del complejo de especies RSSC (*Ralstonia solanacearum* species complex), que incluye tres especies: *R. solanacearum*, *R. pseudosolanacearum* y *R. syzygii*. Esta clasificación responde a estudios filogenéticos basados en marcadores moleculares y la distribución geográfica de los aislamientos, agrupados en cuatro filotipos (I al IV) (Safni et al., 2014; Genin & Denny, 2012).

2.2.3 Morfología

Es una bacteria Gram negativa, con forma de bacilo, móvil por un flagelo polar. Su capacidad de formar biopelículas le permite sobrevivir en condiciones desfavorables y facilita la colonización del hospedante (Mori et al., 2016).

2.2.4 La Virulencia de *R. Solanacearum* se Basa en:

El sistema de secreción tipo III (T3SS), que transloca efectores hacia la célula hospedera, interfiriendo con procesos de defensa (Peeters et al., 2013).

La producción de exopolisacáridos (EPS), que obstruyen el xilema e inducen la marchitez (Genin, 2010).

Enzimas degradadoras de la pared celular, liberadas por el sistema de secreción tipo II (T2SS), que facilitan la invasión de tejidos (Denny, 2006).

La motilidad (flagelos) y estructuras de adhesión (pili tipo IV) esenciales para la colonización inicial (Yao & Allen, 2006).

2.2.5 Características Celulares

Se trata de una bacteria Gram negativa, aeróbica, con forma de bacilo recto o ligeramente curvado, de aproximadamente 0,5–0,7 µm de ancho por 1,5–2,5 µm de largo. Es móvil gracias a un flagelo polar, lo cual le confiere capacidad para desplazarse en medios acuosos o húmedos en el suelo. No forma esporas, pero sí estructuras en forma de biopelículas que le permiten una alta supervivencia en condiciones adversas.

2.2.6 Variabilidad Genética y Clasificación

La especie *R. solanacearum* forma parte de un complejo de especies conocido como el *R. solanacearum* species complex (RSSC), que incluye diversas cepas genéticamente distintas, clasificadas en cuatro grupos filogenéticos principales o phylotypes, basados en su origen geográfico:

Phylotype I: Asia

Phylotype II: América

Phylotype III: África

Phylotype IV: Indonesia, Japón y Oceanía

Dentro de estos phylotypes, se reconocen distintas sequevars según la secuencia del gen *egl* (endoglucanasa). Esta clasificación es importante para comprender la epidemiología de la enfermedad, ya que las cepas varían en virulencia, rango de hospedantes y adaptación ambiental (Safni et al., 2014).

2.2.7 Ciclo de Vida e Infección

El ciclo de infección de *R. solanacearum* inicia cuando la bacteria entra en contacto con las raíces de la planta, generalmente a través de heridas causadas por nematodos, herramientas agrícolas contaminadas, insectos o fisuras naturales como los pelos radicales. Una vez dentro, coloniza el tejido cortical y accede al xilema, donde se multiplica y forma agregados bacterianos y exopolisacáridos (EPS), causando la oclusión de los vasos conductores.

Esta obstrucción interrumpe el flujo de agua y nutrientes desde las raíces hacia el resto de la planta, provocando síntomas típicos como marchitez foliar, amarillamiento, colapso de las hojas, necrosis vascular y finalmente, la muerte de la planta. En condiciones avanzadas, se puede observar exudado lechoso al cortar los pseudotallos o raíces infectadas.

2.2.8 Supervivencia y Diseminación

R. solanacearum puede sobrevivir por largos periodos en el suelo, agua, residuos vegetales y en hospederos alternativos, sin necesidad de un huésped principal. La bacteria se disemina fácilmente a través del agua de riego, herramientas contaminadas, calzado, insectos vectores, material de siembra y maquinaria agrícola. En ambientes tropicales con alta humedad, como los de muchas regiones bananeras, la enfermedad se desarrolla rápidamente, favorecida por temperaturas entre 25–35 °C y suelos con drenaje deficiente.

En condiciones de invernadero, aunque el ambiente es más controlado, los sistemas cerrados pueden facilitar también la propagación del patógeno si no se aplican medidas rigurosas de bioseguridad y desinfección (Elphinstone, 2005).

2.2.9 Importancia Económica

La marchitez bacteriana del banano es considerada una amenaza fitosanitaria en países exportadores. En zonas como Uganda, India, Filipinas, y algunos países de América Latina, las infecciones causadas por *R. solanacearum* han derivado en la pérdida total de plantaciones enteras. En cultivos comerciales, las pérdidas pueden oscilar entre 30 % y 90 % dependiendo de la cepa, el tipo de suelo, el clima y las prácticas de manejo. Esto ha impulsado la necesidad de estrategias sostenibles y eficaces de control, entre ellas el uso racional de bactericidas tanto químicos como biológicos (Schell, 2000; Singh et al., 2021).

2.3 Importancia del cultivo de banano y su vulnerabilidad a *Ralstonia solanacearum*

2.3.1 Relevancia Económica, Social y Ecológica del Banano

El banano (*Musa* spp.), junto con el plátano, constituye uno de los cultivos frutales más importantes del mundo, tanto por su producción como por su comercialización. Según datos recientes de la FAO (2023), más de 120 países cultivan banano, y su valor de exportación supera los 11 mil millones de dólares anuales. En América Latina y el Caribe, el cultivo representa una fuente crítica de empleo rural directo e indirecto, además de ser una actividad agrícola clave para el desarrollo socioeconómico regional (Ortiz & Swennen, 2019).

Ecuador es el mayor exportador mundial de banano, con aproximadamente 6.5 millones de toneladas anuales, seguido por Filipinas y Costa Rica (Acosta et al., 2020). La cadena de valor del banano ecuatoriano involucra a más de 200 mil personas, incluyendo productores, trabajadores, transportistas, comercializadores y exportadores (PROECUADOR, 2022). Además, el banano es considerado un cultivo estratégico por su rol en la seguridad alimentaria, ya que constituye un alimento básico en la dieta de millones de personas, gracias a su alto contenido energético, de potasio, vitamina C, fibra dietética y antioxidantes (INIBAP, 2009; García-Bastidas et al., 2020).

2.3.2 Impacto Fitosanitario de *Ralstonia Solanacearum* en Banano

Uno de los principales desafíos fitosanitarios que enfrenta el cultivo de banano es la marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum*, una bacteria del suelo considerada como uno de los patógenos más destructivos del mundo vegetal (Hayward, 1991; Denny, 2006). En el banano, esta enfermedad se conoce como moko, y se encuentra ampliamente distribuida en América Central, América del Sur y el Caribe.

R. solanacearum pertenece al grupo de bacterias con alto grado de diversidad genética (complejo de especies), clasificadas en múltiples razas, biovars y sequevars (Safni et al., 2014). La cepa que afecta al banano es usualmente la raza 2, sequevar IIB-4, altamente agresiva y con amplia adaptabilidad a diferentes condiciones edafoclimáticas (Álvarez et al., 2008; Elphinstone, 2005).

2.3.2.1 Patogénesis, transmisión y síntomas.

La bacteria ingresa al sistema vascular de la planta a través de heridas en las raíces o mediante órganos infectados, colonizando rápidamente los vasos del xilema, donde produce exopolisacáridos que obstruyen el flujo de agua, lo que genera síntomas de marchitez, amarillamiento y colapso estructural. La sintomatología incluye:

- Marchitez progresiva de las hojas (inicialmente en las más jóvenes).
- Amarillamiento y curvatura del pseudotallo.
- Exudado bacteriano blanco y viscoso al realizar cortes en el tallo.
- Necrosis del rizoma y muerte de la planta entera (Soto et al., 2021; Álvarez et al., 2008).

La propagación ocurre tanto por contacto entre raíces como por el uso de material vegetativo infectado (hijuelos), herramientas contaminadas, agua de riego y vectores como insectos (e.g., *Nysius* spp.) (Ocimati et al., 2019; Denny, 2006).

2.3.2.2 Vulnerabilidad fisiológica y ecológica del banano.

La morfología del sistema radical del banano, compuesto por raíces fasciculadas superficiales y rizomas suculentos, lo hace extremadamente susceptible a patógenos del suelo. Además, el clima cálido y húmedo de las zonas tropicales, ideal para el cultivo, también favorece la multiplicación y dispersión de *R. solanacearum* (Messiaen et al., 2022). Este riesgo se acentúa cuando no se aplican medidas preventivas como la desinfección del material vegetal, rotación de cultivos y manejo del agua.

Sumado a ello, el uso de cultivares genéticamente similares reduce la diversidad genética del sistema productivo, haciendo al cultivo más vulnerable al ataque generalizado de enfermedades (García-Bastidas et al., 2020).

2.3.2.3 Situación epidemiológica en América Latina y Ecuador.

En América Latina, la enfermedad del moko ha sido reportada con severidad en Colombia, Perú, Costa Rica, Nicaragua y Ecuador. En Ecuador, ha generado pérdidas económicas importantes, especialmente en las provincias bananeras de Los Ríos, Santo

Domingo de los Tsáchilas, Manabí y Guayas. La estrategia nacional de control incluye cuarentenas, destrucción de plantas infectadas, vigilancia fitosanitaria y capacitación técnica a los productores (MAG, 2023).

Sin embargo, la detección oportuna de *R. solanacearum* sigue siendo un desafío debido a la fase latente del patógeno y la falta de herramientas de diagnóstico rápidas y accesibles en campo (Delgado et al., 2021). Investigaciones recientes han propuesto métodos moleculares como la PCR en tiempo real para su detección temprana, pero aún no se han masificado a nivel comercial (Sánchez et al., 2022).

La marchitez bacteriana causada por *R. solanacearum* representa uno de los principales desafíos fitosanitarios para la producción de banano a nivel mundial. Conceptualmente, el manejo de esta enfermedad se fundamenta en tres grandes ejes: la comprensión de la biología del patógeno, el conocimiento de la interacción planta-patógeno y el desarrollo de estrategias efectivas de control, entre ellas, el uso de bactericidas químicos y biológicos.

2.4 Ecología del patógeno

Ralstonia solanacearum es una bacteria Gram negativa, aeróbica, con motilidad por flagelos polares, que habita en el suelo y coloniza el sistema vascular de plantas susceptibles (Hayward, 1991; Denny, 2006). Su complejidad taxonómica ha llevado a reclasificarla como un complejo de especies (RSSC: *Ralstonia solanacearum* species complex), compuesto por distintas razas, biovars y sequevars (Safni et al., 2014). En banano, la raza 2 (sequevar IIB-4) es la más comúnmente asociada al moko.

La patogenicidad de *R. solanacearum* está mediada por factores como la producción de exopolisacáridos, enzimas hidrolíticas, sistemas de secreción tipo III y genes asociados a la virulencia (Genin & Denny, 2012). Además, su capacidad de sobrevivir en condiciones desfavorables, formar biopelículas y persistir en hospedantes alternativos la convierte en un patógeno difícil de erradicar (Álvarez et al., 2008).

2.5 Interacción planta-patógeno y respuesta del banano

El sistema vascular del banano facilita la propagación del patógeno una vez que este coloniza el xilema. A nivel conceptual, la relación banano *R. solanacearum* puede entenderse como una interacción donde la planta carece de mecanismos eficientes de defensa sistémica, lo que permite un rápido avance de la infección. Si bien se han identificado respuestas de tipo hipersensible y activación de genes relacionados con

defensa en otros cultivos, en banano aún es limitada la información sobre variedades resistentes (Ocimati et al., 2019).

La interacción entre *Ralstonia solanacearum* y el banano es un ejemplo complejo de patosistema vascular que involucra tanto aspectos bioquímicos como estructurales. Una vez que *R. solanacearum* entra en contacto con la raíz del banano, coloniza los tejidos corticales y avanza hacia el sistema vascular, específicamente el xilema, donde se multiplica rápidamente (Vasse et al., 1995). El xilema, al ser un tejido de conducción de agua sin barreras celulares intermedias, facilita una diseminación sistémica de la bacteria a lo largo de la planta, especialmente hacia los pseudotallos y racimos en desarrollo.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la infección induce una disfunción hidráulica debido a la obstrucción del flujo de agua por la acumulación de exopolisacáridos bacterianos (EPS), células muertas y estructuras de defensa de la planta como tilosas (Yadeta & Thomma, 2013). Esta obstrucción causa síntomas visibles como marchitez, clorosis, colapso del pseudotallo y muerte de la planta.

A nivel molecular, el banano activa respuestas basales como la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), lignificación, expresión de genes relacionados con el metabolismo de jasmonatos y ácido salicílico, y síntesis de fitoalexinas (Van der Wolf et al., 2021). No obstante, estos mecanismos resultan insuficientes frente a la agresividad del patógeno. *R. solanacearum* secreta efectores a través del sistema de secreción tipo III (T3SS), los cuales interfieren con las señales de defensa del hospedero y suprimen la inmunidad mediada por patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPs) y efectores (Jones & Dangl, 2006).

Por otro lado, existen limitaciones en el conocimiento sobre variedades de banano con resistencia genética estable a *R. solanacearum*. Aunque algunos genotipos silvestres y diploides han mostrado cierta tolerancia (como *Musa balbisiana*), la mayoría de las variedades comerciales (especialmente los cultivares AAA como 'Cavendish') son altamente susceptibles (Thwaites et al., 2000; Ocimati et al., 2019). Esta susceptibilidad se agrava por la reproducción vegetativa del cultivo, lo que favorece la transmisión clonal del patógeno en lotes nuevos.

Además, la temperatura también juega un papel crucial en la dinámica de la infección. *R. solanacearum* presenta mayor virulencia en condiciones cálidas (25–35 °C), por lo que el trópico húmedo representa un ambiente idóneo para su diseminación (Álvarez et al., 2008). En este sentido, los estudios en condiciones de invernadero permiten evaluar

con precisión el comportamiento del patógeno bajo condiciones controladas y su interacción con las defensas inducidas por tratamientos bactericidas o biocontroladores.

2.6 Estrategias actuales de manejo fitosanitario

El manejo convencional se ha centrado en la prevención: uso de material libre de patógenos, control de vectores, desinfección de herramientas y eliminación de plantas enfermas (Delgado et al., 2021). Sin embargo, en los últimos años ha cobrado fuerza el estudio de bactericidas, tanto de origen químico (ej. cobre, oxitetraciclina, ácido oxolínico) como biológico (ej. *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp., *Streptomyces* spp.), como una estrategia viable para reducir la carga bacteriana en campo e invernadero.

2.7 Uso de bactericidas

Los tratamientos químicos se han centrado principalmente en compuestos a base de cobre, químicos agrícolas y productos formulados con principios activos como oxitetraciclina, estreptomina o fosetil-Al. Por ejemplo, Nion y Toyota (2008) evaluaron el uso de químicos en plántulas de banano infectadas con *R. solanacearum*, observando reducciones temporales en la población bacteriana, aunque señalaron riesgos de resistencia bacteriana.

En Filipinas, Mendoza et al. (2018) reportaron que el uso de acibenzolar-S-metil, un análogo del ácido salicílico, incrementó la expresión de genes de defensa y redujo la incidencia de la enfermedad hasta en un 45% en condiciones controladas. Sin embargo, el costo y la frecuencia de aplicación limitan su uso en sistemas agrícolas extensivos.

2.7.1 Bactericidas biológicos

El uso de bactericidas biológicos o biocontroladores ha cobrado importancia en los últimos años. Entre los organismos más utilizados se encuentran cepas de *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma* spp. y *Streptomyces* spp. Estas bacterias promueven el crecimiento vegetal, activan mecanismos de defensa sistémica inducida (ISR) y compiten con el patógeno en la rizósfera.

Un estudio de Kumar et al. (2020) demostró que cepas de *Bacillus amyloliquefaciens* aplicadas al suelo redujeron significativamente la severidad de la marchitez bacteriana en plantas de banano, además de mejorar parámetros fisiológicos como área foliar y contenido de clorofila.

En Colombia, Rodríguez et al. (2021) evaluaron la eficacia de *Pseudomonas fluorescens* en condiciones de invernadero, encontrando una disminución del 70% en la

incidencia de la enfermedad comparado con el control. Estos efectos fueron atribuidos a la producción de sideróforos, químicos naturales y la colonización de la rizósfera.

El concepto de bactericida en el contexto agrícola hace referencia a una sustancia capaz de inhibir o destruir bacterias fitopatógenas sin causar daño a la planta ni al entorno. Se clasifican en:

Químicos: como los químicos (estreptomicina, oxitetraciclina), sales metálicas (sulfato de cobre, hidróxido cúprico) y otros compuestos como el fosfito de potasio, con acción sistémica o de contacto.

Biológicos: se basan en microorganismos antagonistas, como bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) que inducen resistencia sistémica o compiten con el patógeno en la rizosfera (Köhl et al., 2019; Ji et al., 2022).

El desarrollo de resistencia bacteriana y la regulación sobre el uso de químicos en agricultura han incentivado la investigación y adopción de estrategias biológicas como alternativas sostenibles.

2.8 Condiciones de invernadero

Los invernaderos ofrecen condiciones controladas para evaluar la efectividad de los bactericidas, aislando variables externas y permitiendo reproducir ensayos con alto rigor experimental. Conceptualmente, el uso de invernadero permite observar la evolución de la enfermedad bajo diferentes dosis, frecuencias y combinaciones de tratamiento, lo cual fortalece la validación de productos antes de su aplicación en campo (Van der Wolf et al., 2017).

3. Materiales y Métodos

3.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es aplicada y exploratoria, a su vez, es comparativo y diferencial.

3.1.1 Tipo de investigación

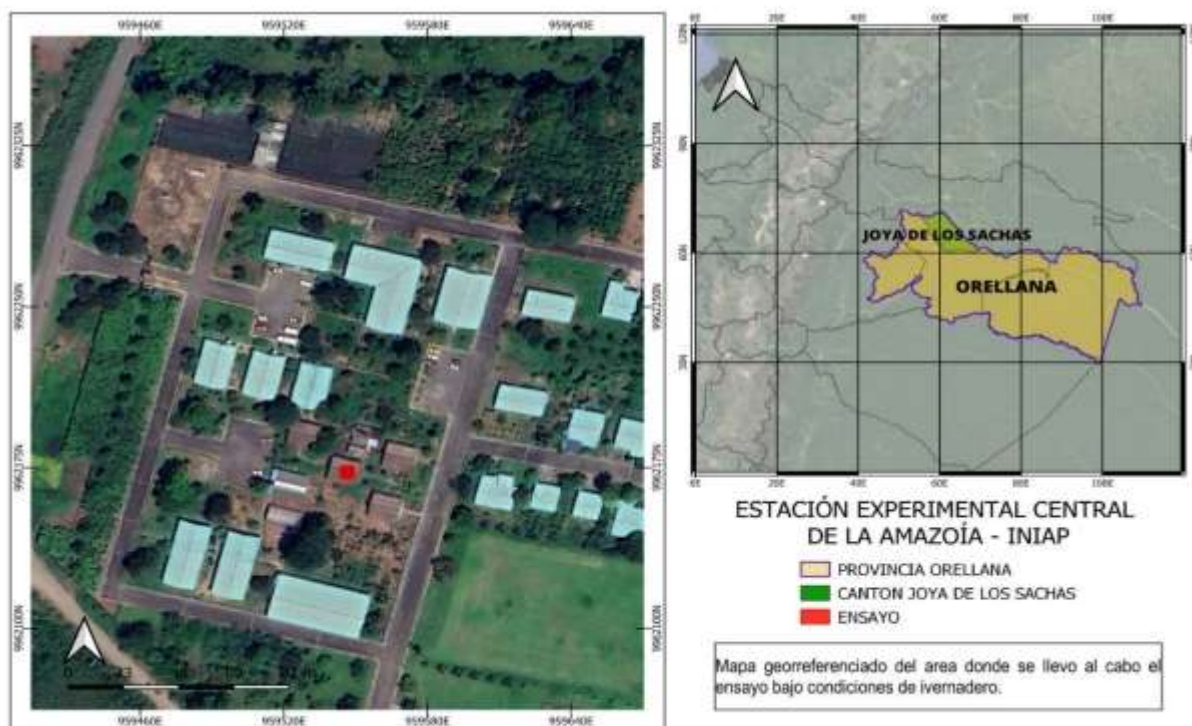
La investigación es de tipo aplicada y experimental en laboratorio e invernadero, ya que busca evaluar la efectividad de los productos y sobrevivencia de las plantas antes y después de la aplicación de diferentes bactericidas para el manejo de *R. solanacearum* en el cultivo de banano.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño para la siguiente investigación propuesto es experimental, debido a que se manipulan diferentes bactericidas para medir su impacto en las variables como incidencia, severidad, mortalidad de las plantas de banano y reducción poblacional del patógeno (*R. solanacearum*).

3.2 Delimitación de la investigación

3.2.1 Espacial



Fuente: Elaboración propia (2025).

La investigación que se llevó a cabo en un invernadero ubicado en la Estación Experimental Central Amazónica del INIAP, Joya de los Sachas, Ecuador, lugar seleccionado por sus condiciones controladas que minimizan interferencias ambientales externas.

3.2.2 Temporal

El estudio se desarrolló durante los cuatros meses de mayo hasta agosto del 2025, abarcando las etapas de trasplante, adaptación, tratamiento y evaluación de los resultados.

3.2.3 Poblacional

Los resultados obtenidos beneficiarán a un aproximado de 4473 productores de banano (COMEX, 2017) en la provincia de Los Ríos, Guayas y El Oro. (CFN, 2024).

3.3 Variables

3.3.1 Variable independiente

Se evaluó la efectividad de los bactericidas sintéticos como: Zhogshenmycin + Kasugamicina y Gentamicin Sulfate + Oxitetracycline hydrochloride (D), mientras que los biológicos fueron: *Streptomyces* sp. y *Bacillus methylophilus*.

La dosis a estudiar es de 2 L/ha para los productos antes mencionados.

3.3.2 Variable dependiente

Las variables dependientes que se tomaron en cuenta son: la mortalidad de plantas, conteo de unidades formadoras de colonia (UFC), incidencia y severidad de la enfermedad.

3.4 Hipótesis

Uno o más bactericidas son eficientes para el manejo de la incidencia y severidad de la enfermedad producida por *R. solanacearum* en plántulas de banano bajo condiciones de invernadero.

3.5 Diseño experimental

La población está constituida por plantas de banano (*Musa* AAA), variedad William, con un total de 128 plantas de banano para el tratamiento las cuales son infectadas artificialmente con *R. solanacearum*, para garantizar la uniformidad del ensayo.

El diseño que se utilizó fue un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial, el cual constó de siete tratamientos formado por la combinación de los bactericidas

(A), y; cuatro repeticiones (cada réplica formada por tres plantas), dos métodos de inoculación, con cortes inducidos (herida) en el cormo y un testigo.

Tabla 1

Descripción de los bactericidas.

Bactericida	Descripción
1	zhogshenmycin + kasugamicina
2	<i>Streptomyces</i>
3	<i>Bacillus methylotrophicus</i>
4	Gentamicin Sulfate + Oxitetracycline hydrochloride

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 2

Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Descripción
T1	A + B
T2	A + C
T3	A + D
T4	A + A
T5	D + A
T6	D + D
T7	D + C
T8	Agua

T1= *Bacillus methylotrophicus* (A) + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30% (B); T2= *B. methylotrophicus* (A) + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2% (C); T3= *B. methylotrophicus* (A) + *Streptomyces* sp.(D); T4= *B. methylotrophicus* (A) + *B. methylotrophicus* (A); T5= *Streptomyces* sp. (D) + *B. methylotrophicus* (A); T6= *Streptomyces* (D) + *Streptomyces* (D); T7= *Streptomyces* (D) + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2% (C); T8 = Testigo (Agua).

Fuente: Elaboración propia 2025.

3.5 Recursos

Tabla 3

Materiales para levantamiento de la investigación

Materiales	Unidades	Costo unitario	Costo total
Plantas de banano	128	0,8	115,2
Turba	1	30	120
Zhogshenmycin	+1	10	40
Kasugamicina			
Streptomyces	1	60	60
Gentamicin Sulfate	/1	20.70	
Oxitetracycline hydrochloride			
Bacillus methylotrophicus	1	26	26
Fundas plásticas	200	0.05	10
Bisturí	3	4	12
Análisis bacteriológico	150	12	1800
Sustrato estéril	150	0.3	45
Total			2128.9

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.6 Métodos y técnicas

Para la inoculación de las plantas de banano se realizó una dilución de la bacteria en 1 mL de agua destilada estéril en una concentración de 1×10^3 células bacterianas/mL.

Previo a la inoculación se realizó daños inducidos al cormo al 50% de platas de cada tratamiento, mientras que el otro 50% no se indujo el daño, dos horas previas a la inoculación de *Ralstonia* en dosis de 5 mL del inóculo a cada planta por el método de impregnación de solución, se realizaron dos métodos de aplicación de los tratamientos uno como preventivo y otro como curativo.

Las plantas inoculadas se evaluaron al quinto día cada 24 horas durante un periodo de 15 días donde aparecen los síntomas de *R. solanacearum* como marchitez en las hojas, secreción de moco o fluido viscoso en tallo (Torres-González et al., 2013). A partir del quinto día se registran los datos de las variables en estudio.

Para evaluar el grado de incidencia de la enfermedad se contabilizará el número de plantas que presenten sintomatología de Moko posterior a la aplicación de los tratamientos.

En la severidad se medirá el grado de la enfermedad que afecta a la planta en porcentaje, según la tabla 4.

Tabla 4

Escala de severidad de marchitez bacteriana en banano

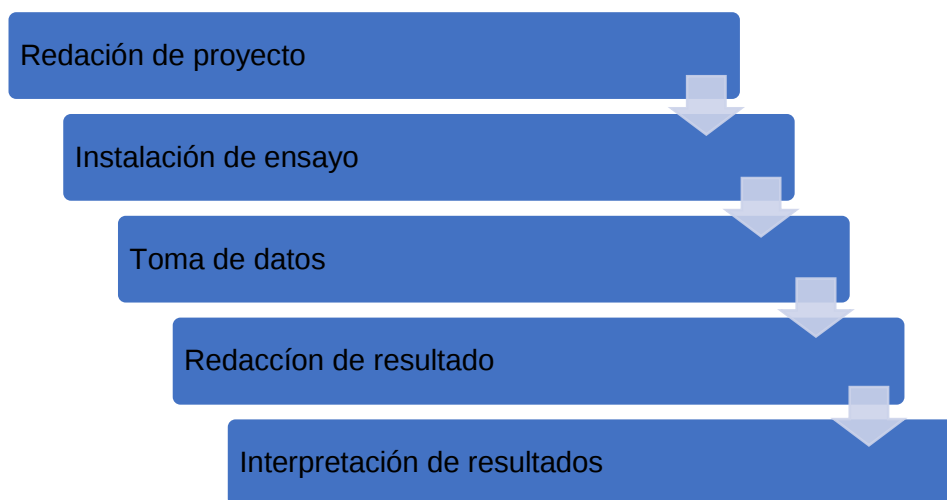
Escala	Porcentaje	Descripción de Daño	Síntomas Observados
0	0	Planta sana	Sin síntomas visibles. Hojas verdes, turgentes y sanas.
1	10 -- 25	Daño leve	Ligero amarillamiento en hojas inferiores. No hay marchitez.
2	26 - 49	Daño moderado	Marchitez parcial de hojas inferiores. Decaimiento inicial.
3	50 - 75	Daño severo	Marchitez generalizada, hojas caídas o secas.
4	76 - 100	Planta muerta o colapsada	Colapso total. Pérdida de turgencia y necrosis evidente.

Obregón et al (2008), Modificado por Muñoz, 2025

La mortalidad de plantas se definirá mediante el cálculo de plantas muertas y el control.

Para el conteo de unidades formadoras de colonia (UFC), se realizó diluciones seriadas del suelo y tejido (10 gr respectivamente) y se sembró 1µm en el medio de cultivo LB taurina, se observó y evaluó a las 24 y 48 horas después de la siembra de la solución bacteriana.

2.7 Diagrama de flujo de las actividades experimentales



Fuente: Elaboración propia (2025).

2.8 Análisis estadístico

Para realizar las respectivas comparaciones la eficacia entre los bactericidas y el testigo en estudio se utilizará un análisis estadístico inferencial y descriptivo. Con el test de ANOVA se sabrá que el tratamiento es significativamente diferente. Por otro lado, con las pruebas de rango múltiple de Tukey se determinará cuál tratamiento es el mejor entre sí.

Tabla 5

Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación	GL.	Descripción
Tratamientos (A)	7	A - 1
Métodos de inoculación (B)	1	B-1
Daños inducidos (C)	1	C-1
AxB	7	(A-1)(B - 1)
BxC	1	(B-1)(C - 1)
AxC	7	(A-1)(C - 1)
AxBxC	7	(A - 1)(B - 1)(C-1)
Error	480	ABC(N-1)
Error total	511	ABCN-1

Fuente: Elaboración propia (2025).

4. Resultados

En el presente trabajo de investigación, centrado en el manejo del Moko (causado por *R. solanacearum* raza 2) en plantas de banano cultivadas bajo condiciones controladas de invernadero, se obtuvieron los siguientes resultados significativos.

4.1. Analizar el efecto de los bactericidas para el manejo de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de banano en condiciones de invernadero mediante el descenso de unidades formadoras de colonia.

En la Tabla 6. Se muestra la estadística descriptiva de las Unidades Formadoras de Colonias de *Ralstonia solanacearum* R2.

Tabla 6

Estadística descriptiva de las Unidades formadoras de colonia (UFC) de la bacteria R. solanacearum R2. en condiciones de laboratorio.

Tratamientos	N	Suma	Promedio	SD	Varianza	C.V.
T1	16	7020000	4,39E+05	4,53E+05	2,06E+11	103,33
T2	16	8770000	5,48E+05	6,36E+05	4,05E+11	116,07
T3	16	16880000	1,06E+06	1,09E+06	1,19E+12	103,39
T4	16	7360000	4,60E+05	4,75E+05	2,26E+11	103,36
T5	16	8200000	5,13E+05	5,30E+05	2,81E+11	103,37
T6	16	10680000	6,68E+05	6,90E+05	4,76E+11	103,36
T7	16	9800000	6,13E+05	6,34E+05	4,02E+11	103,48
T8	16	17560000	1,10E+06	1,13E+06	1,29E+12	103,36

N= Numero de plantas; C.V= Coeficiente de variación

T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la Tabla 6. El testigo (T8 muestra el mayor número $1,10E+06$ unidades formadoras de colonias (UFC) de la bacteria causante *Ralstonia solanacearum* R2 del Moko en banano y plátano. El Tratamiento T8 tiene el promedio más alto, con $1,10 \times 10^6$, lo que indica una alta severidad o carga patógena. Este tratamiento está asociado con una mayor respuesta a la infección por Moko. La alta carga patógena indicada por su promedio apunta que las plantas inoculadas con T8 experimentan una respuesta más grave y severa en comparación con los otros tratamientos todos.

Por otro lado, el T1 tiene el promedio más bajo, con $4,39 \times 10^5$, lo que lo coloca como el tratamiento con menor severidad o carga patógena en el suelo. El T4, se encuentra en un rango intermedio, con un promedio de $4,60 \times 10^5$. Siendo superior al de T1, pero sigue siendo inferior al de tratamientos más graves como T2, T3 y T8. Esto sugiere que T4 tiene una severidad moderada.

En el Tabla 7. Se evidencia la variancia entre los tratamientos evaluados.

Tabla 7

Análisis de la varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1168,23	34	34,36	104962,24	<0,0001
Tratamiento	21,8	7	3,11	9513,76	<0,0001
Método	4,81	1	4,81	14678,38	<0,0001
Cortes	1019,94	1	1019,94	3115722,96	<0,0001
Repeticiones	4,60E-04	3	1,50E-04	0,46	0,7077
Tratamiento*Método	33,64	7	4,81	14678,38	<0,0001
Tratamiento*Cortes	49,61	7	7,09	21648,79	<0,0001
Método*Cortes	4,8	1	4,8	14678,38	<0,0001
Tratamiento*Método*Cortes	33,64	7	4,81	14678,38	<0,0001
Error	0,03	93	3,30E-04		
Total	1168,26	127			

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la tabla 7. se presenta el ANDEVA (análisis de varianza) de los tratamientos aplicados, los métodos de inoculación y las heridas causadas.

Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Además, se observó que los métodos de aplicación curativo y preventivo no presentaron diferencias entre sí, mientras que en las plantas con heridas sí hubo una variación significativa en el número de UFC. Por otro lado, no se detectaron interacciones estadísticamente significativas entre los métodos de control, las heridas causadas y los tratamientos.

En el desarrollo de esta investigación dedicada al manejo del Moko en plantas de banano cultivadas bajo condiciones controladas de invernadero, la Tabla 6 emerge como un elemento clave dentro del análisis experimental.

Tabla 8

Prueba de rangos múltiples de Tukey al 95% eficiencia

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T1	4,39E+05	16	9377,6	a
T4	4,60E+05	16	9377,6	a
T5	5,13E+05	16	9377,6	b
T2	5,48E+05	16	9377,6	b
T7	6,13E+05	16	9377,6	c
T6	6,68E+05	16	9377,6	d
T3	1,06E+06	16	9377,6	e
T8	1,10E+06	16	9377,6	f

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

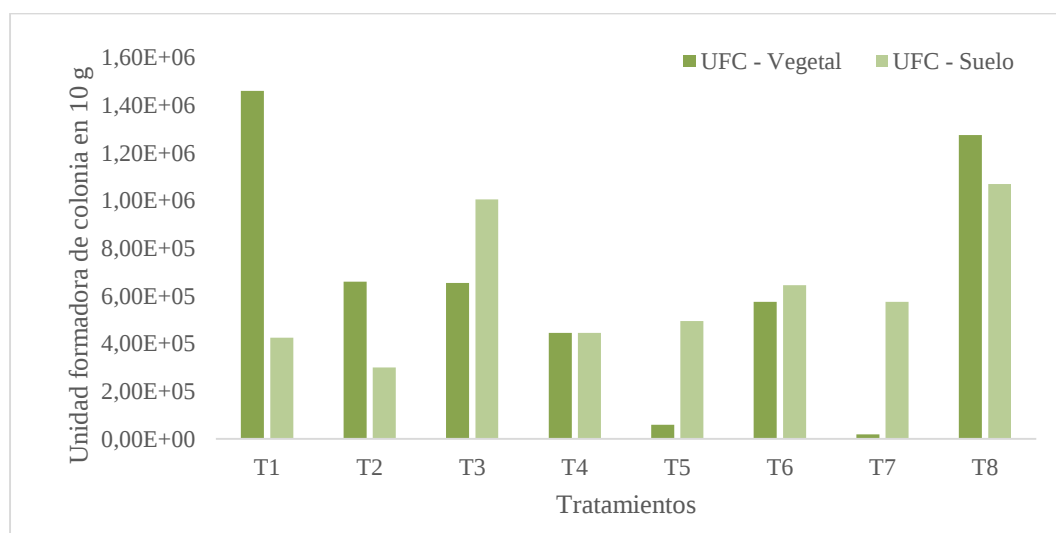
La Tabla 8 presenta los resultados del análisis comparativo de tratamientos mediante la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$), donde un mayor valor en las medias representa un efecto desfavorable en la variable de respuesta. El análisis reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0.05$), permitiendo su agrupación en cuatro categorías de desempeño.

La prueba de rangos múltiples de Tukey al 95% de eficiencia muestra diferencias significativas entre los tratamientos en función de sus medias. Los tratamientos T1 ($4,39 \times 10^5$) y T4 ($4,60 \times 10^5$) no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí. Sin embargo, el T5 ($5,13 \times 10^5$) y T2 ($5,48 \times 10^5$) muestran diferencias significativas con respecto a T1 y T4. A medida que los promedios aumentan, las diferencias se hacen más marcadas, con T7 ($6,13 \times 10^5$) y T6 ($6,68 \times 10^5$) mostrando diferencias significativas en comparación con los tratamientos previos. Por otro lado, el T3 ($1,06 \times 10^6$) y T8 ($1,10 \times 10^6$), con los promedios más altos, están significativamente diferenciados de los demás.

En la figura 1. Se muestra la diferencia entre las unidades formadoras de colonia de *R. solanacearum* R2 en el suelo y pseudo tallo (UFC – vegetal).

Figura 1

Unidades formadoras de colonias de Ralstonia solanacearum R2. en 10 g de suelo y vegetal



Tratamiento 1 (T1), la carga microbiana en el vegetal es considerablemente mayor, alcanzando $1,46 \times 10^6$, en comparación con el suelo, que tiene una carga de $4,25 \times 10^5$.

En el T2, en la vegetal muestra una carga microbiana mayor ($6,60 \times 10^5$), en comparación con el suelo ($3,00 \times 10^5$), pero la diferencia entre ambos es menos pronunciada que en T1. Por el contrario, en el T3, la carga microbiana en el suelo ($1,01 \times 10^6$) es superior a la del vegetal ($6,55 \times 10^5$). Lo que muestra que este tratamiento favorece la proliferación microbiana en el suelo en lugar del vegetal.

En el T4, se observa una igualdad entre la carga microbiana en ambos ambientes, ya que, tanto en el suelo como en el vegetal, la carga es $4,45 \times 10^5$, este tratamiento tiene un impacto equilibrado en ambos entornos, sin favorecer uno sobre el otro.

El T7 muestra una gran disparidad en favor del suelo, con una carga microbiana en el suelo ($5,75 \times 10^5$) mucho mayor que en el vegetal ($2,00 \times 10^4$), lo que muestra que T7 favorece significativamente la proliferación microbiana en el suelo y contención en el suelo. El T8, la carga microbiana en el suelo ($1,07 \times 10^6$) es ligeramente mayor que en el vegetal ($1,28 \times 10^6$), mostrando una ligera preferencia por la proliferación en el suelo.

4.2 Cuantificar la eficacia del bactericida que presente el mayor descenso de la mortalidad de plantas infectadas por *Ralstonia solanacearum* en condiciones de invernadero.

En la tabla 9. Se evidencia la estadística descriptiva de la mortalidad de plantas como indicador de la reducción de plantas infectadas post - inoculación de *R. solanacearum* R2 en invernadero.

Tabla 9

Estadística descriptiva de la mortalidad de plantas inoculadas de R. solanacearum R2 en invernadero.

Tratamiento	N	Suma	Promedio	Desv. Estand	Varianza	C.V
T1	16	200	12.5	12.91	166.67	103.28
T2	16	75	4.6875	10.078	101.56	214.99
T3	16	125	7.8125	11.968	143.23	153.19
T4	16	125	7.8125	11.968	143.23	153.19
T5	16	150	9.375	12.5	156.25	133.33
T6	16	125	7.8125	11.968	143.23	153.19
T7	16	50	3.125	8.5391	72.917	273.25
T8	16	100	6.25	11.18	125	178.89

N= Numero de plantas; C. V= Coeficiente de variación.

T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

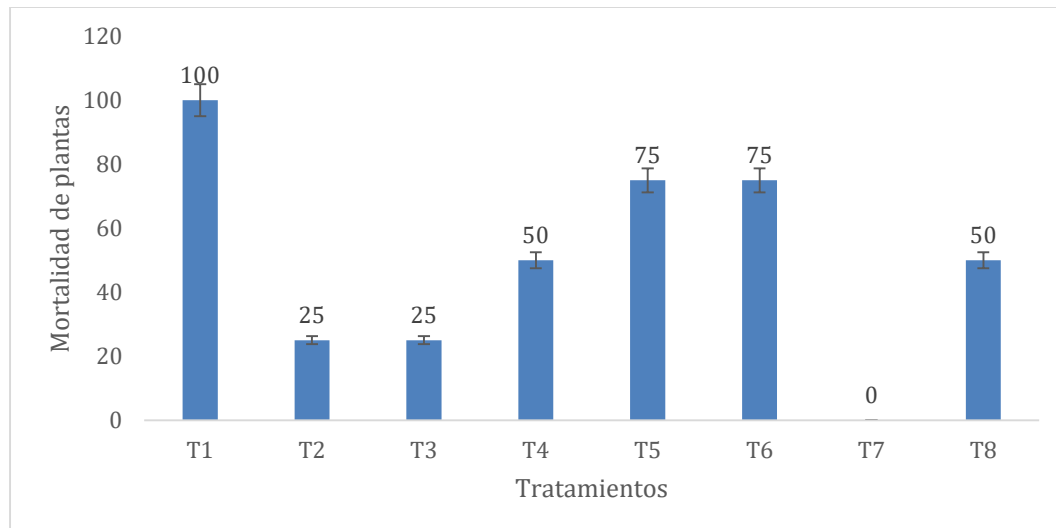
En esta tabla 9 se muestra que, el análisis descriptivo de los promedios evidenció diferencias notables entre los tratamientos evaluados.

El tratamiento T7 registró el valor promedio más bajo (3.125 ± 8.54), mostrando el menor número de plantas muertas, seguido el tratamiento T2 (4.69 ± 10.08), mientras que T8 (6.25 ± 11.18), T3 (7.81 ± 11.97), T4 (7.81 ± 11.97) y T6 (7.81 ± 11.97) mostraron valores promedios intermedios, siendo estadísticamente iguales entre sí, por otro lado, el T1 (12.50 ± 12.91) presentó el valor promedio más alto, indicando el menor desempeño entre todos los tratamientos evaluados.

La Figura 2 presenta una simulación del control preventivo de la enfermedad del Moko, la simulación es crucial para comprender cómo diferentes estrategias o agentes pueden mitigar la propagación y el impacto de esta devastadora enfermedad.

Figura 2

Efecto de los bactericidas biológicos y químicos sobre la enfermedad Ralstonia solanacearum R2. en plantas de banano en condiciones de invernadero



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

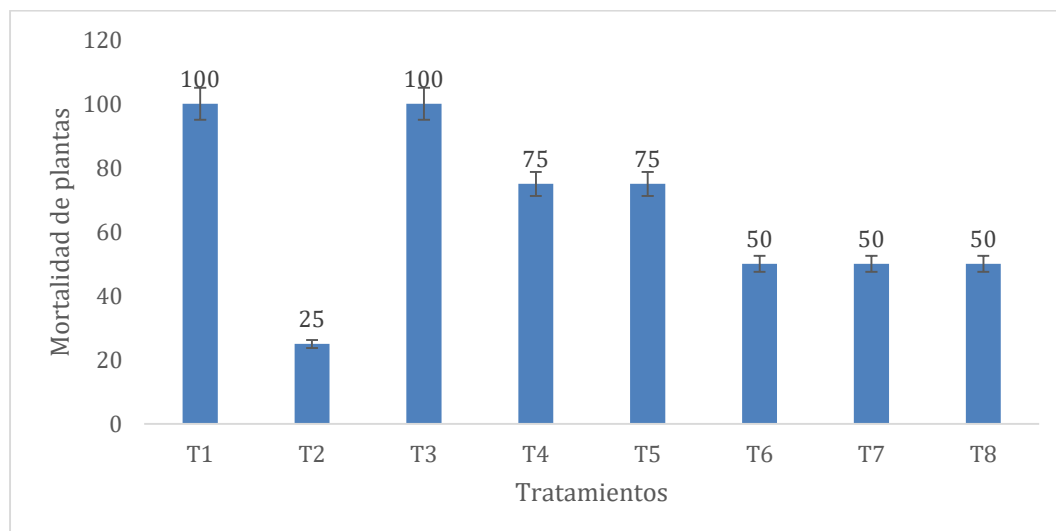
La figura 2, se ilustra la eficacia de diversos tratamientos bactericidas contra *R. solanacearum* R2, es un patógeno conocido por inducir una mortalidad significativa en plantas de banano, donde, se evidencio que el tratamiento 7 demostró una prevención completa de la mortalidad de plantas relacionada con la enfermedad, logrando una tasa de mortalidad del 0%.

Por el contrario, T2 y T3 exhibieron una tasa de mortalidad de aproximadamente el 20%, lo que indica un nivel moderado de protección en comparación con el T7. Si bien estos tratamientos ofrecieron cierto beneficio preventivo. En marcado contraste, el Tratamiento 1 (T1), presentó una tasa de mortalidad del 100% de las plantas, esto subraya el grave impacto de *R. solanacearum* R2 en ausencia de medidas.

En la figura 3, presenta una simulación del control preventivo de la enfermedad del Moko, la simulación es crucial para comprender cómo diferentes estrategias o agentes pueden mitigar la propagación y el impacto de esta devastadora enfermedad.

Figura 3

Efecto de bactericidas aplicados como curativo en plantas de banano en condiciones de invernadero



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

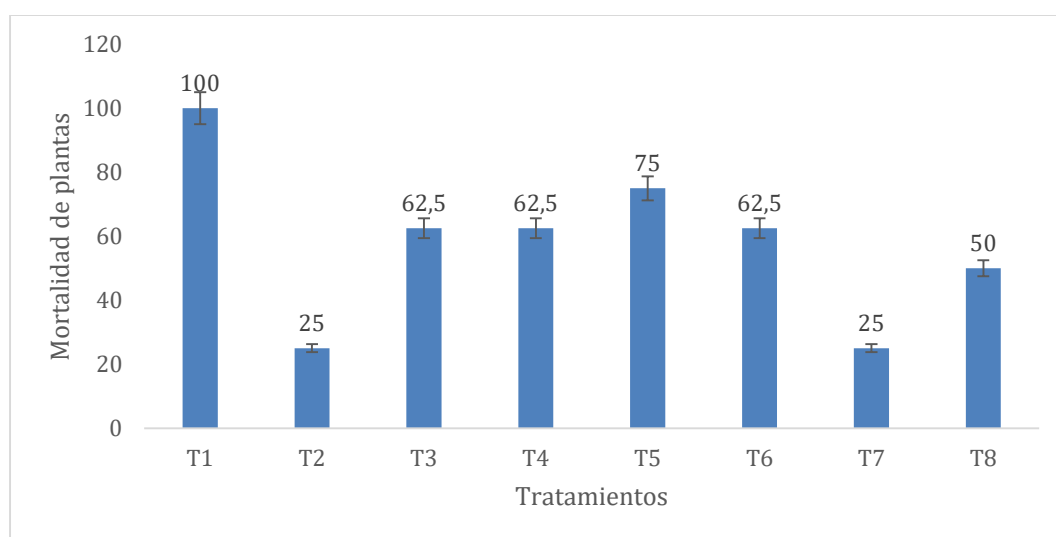
La evaluación de la efectividad de los tratamientos curativos aplicados en plantas de banano afectadas por *R. solanacearum* raza 2, reveló diferencias en la mortalidad observada entre los tratamientos.

El T2 demostró ser más eficiente en la supervivencia de las plantas con a menor tasa de mortalidad, con aproximadamente un 25%. En contraste, los tratamientos T1 y T3 registraron una mortalidad del 100%. Por otro lado, los tratamientos T4 y T5 mostraron una mortalidad intermedia, cercana al 75%. Esta cifra sugiere una eficacia parcial en la contención del patógeno, los tratamientos T6, T7 y T8 presentaron niveles de mortalidad similares, estimados en torno al 50%.

En la figura 4. Se muestra el efecto de los bactericidas utilizados para el manejo de *Ralstonia solanacearum* R2. aplicados en plántulas de banano en condiciones de invernadero.

Figura 4

Promedio de la mortalidad mediante el efecto de bactericidas sobre Ralstonia solanacearum r2 en plantas de banano en condiciones de invernadero



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la presente gráfica se observa el efecto de ocho tratamientos (T1 a T8) sobre la mortalidad de plantas. Los resultados indican variaciones significativas entre los tratamientos, evidenciando diferencias en la eficacia de cada uno frente al control de la mortalidad vegetal.

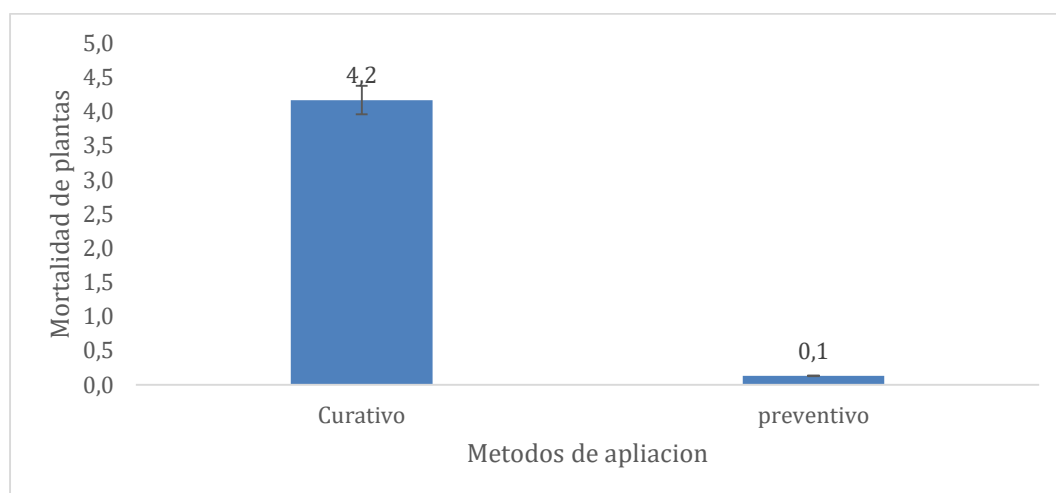
El tratamiento T1 presentó la mayor mortalidad, con un valor del 100%, lo que sugiere una ausencia total de control o un efecto adverso sobre las plantas. En contraste, los tratamientos T2 y T7 mostraron los valores más bajos de mortalidad, ambos con un 25%, lo que evidencia su potencial como alternativas eficaces en la reducción de pérdidas por mortalidad.

Los tratamientos T3, T4 y T6 registraron una mortalidad intermedia, cada uno con un 62,5%, mientras que el tratamiento T5 alcanzó un 75%, posicionándose como uno de los menos eficaces después de T1. Por otro lado, el tratamiento T8 presentó una mortalidad del 50%, situándose en una categoría intermedia-baja.

En la figura 5 presenta el efecto del manejo preventivo y curativo de los bactericidas utilizados para el control de *Ralstonia solanacearum* raza 2, aplicados en plántulas de banano cultivadas en condiciones de invernadero.

Figura 5

Efecto de manejo preventivo o curativo sobre la mortalidad de plantas infestadas con R. solanacearum R2



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

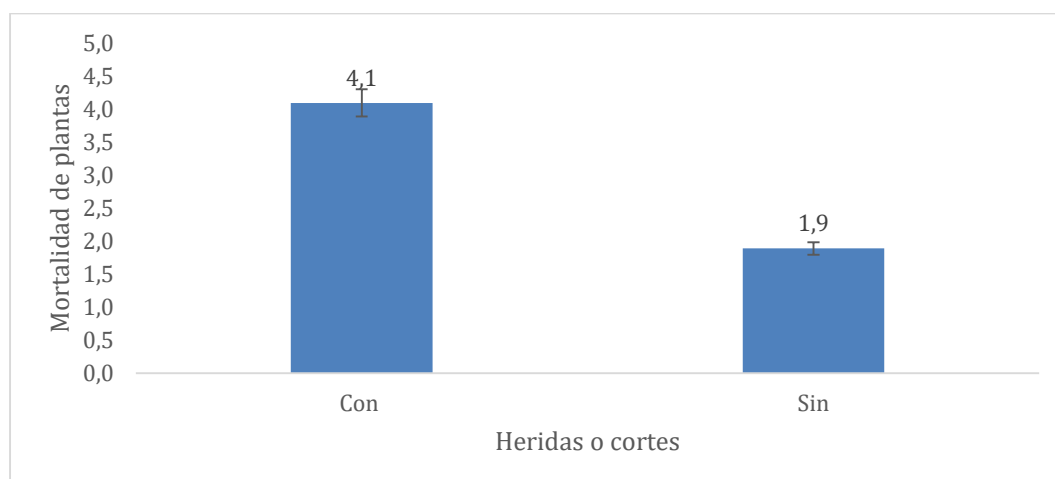
El método preventivo mostró una mortalidad sustancialmente menor (0,1 unidades) en comparación con el método curativo (4.2 unidades). Esta reducción representa una disminución del 98.6% en la mortalidad, lo que destaca la superior eficacia de las estrategias preventivas.

La Figura 6. Se presenta el efecto de la heridas o cortes en las raíces sobre los bactericidas utilizados para el control de *Ralstonia solanacearum* raza 2, aplicados en plántulas de banano cultivadas en condiciones de invernadero.

Figura 6

Efecto de heridas o cortes sobre la mortalidad de plantas infestadas con R. solanacearum

R2



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

La figura 6 muestra el efecto de la presencia de heridas o cortes en la mortalidad de plantas, evidenciándose que las plantas que presentaron heridas tuvieron una mortalidad significativamente mayor (4,1) en comparación con aquellas que no mostraron daño físico (1,9).

4.3 Identificar el efecto de los bactericidas mediante la reducción de la incidencia y severidad de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de banano en condiciones de invernadero.

En la tabla 10. Se muestra la evolución de la incidencia de la enfermedad provocada por *R. solanacearum* R2. En plántulas de banano.

Tabla 10

Evolución de la incidencia de Moko durante el periodo de semanal

Tratamientos	Incidencia/ semana						Promedio
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta	
T1	4.7	12.5	12.5	14.1	6.3	14.1	10.7
T2	4.7	6.3	6.3	7.8	4.7	10.9	6.8
T3	6.3	10.9	9.4	10.9	6.3	12.5	9.4
T4	9.4	9.4	9.4	9.4	7.8	9.4	9.1
T5	6.3	7.8	10.9	10.9	6.3	10.9	8.9
T6	4.7	6.3	9.4	10.9	4.7	9.4	7.6
T7	1.6	6.3	6.3	4.7	1.6	9.4	4.9
T8	6.3	6.3	6.3	7.8	6.3	9.4	7.0

T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

En esta tabla 10 se muestra que el análisis descriptivo de los promedios revelando diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

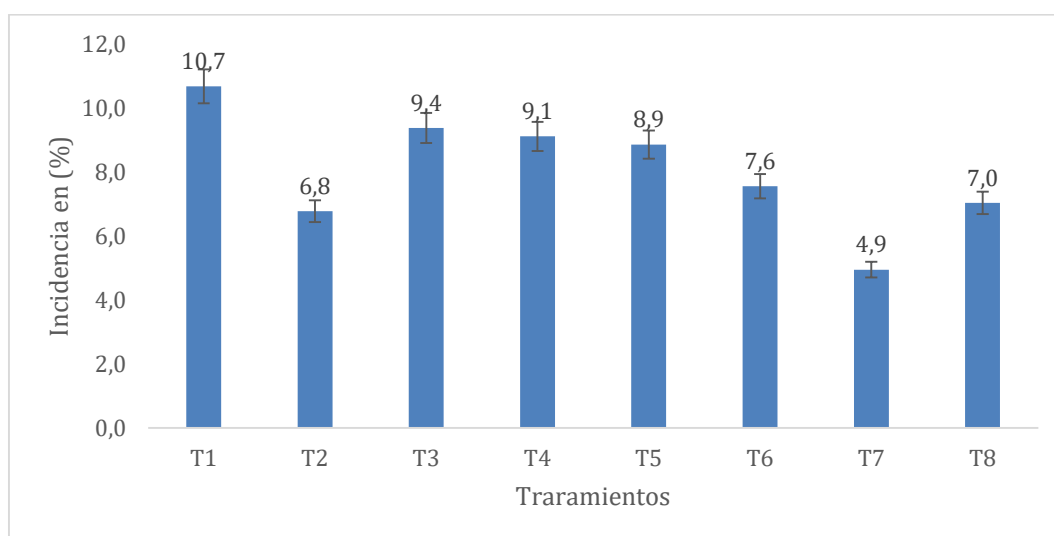
La incidencia de la enfermedad Moko, la cual se evaluó por seis semanas de la enfermedad varió significativamente según el tratamiento y la semana. El T1 mostró la mayor incidencia promedio (10.7%), con picos del 14.1% en las semanas 4 y 6, en contraste, T7 registró la menor incidencia (4.9% promedio), con mínimos históricos del 1.6% en las semanas 1 y 5.

Los tratamientos T3, T4 y T5 tuvieron incidencias intermedias-altas (8.9-9.4%), mientras que T2, T6 y T8 mantuvieron niveles moderados (6.8-7.6%). Temporalmente, se observó un patrón claro: un aumento hasta la semana 4, una disminución en la semana 5 (5.5% promedio global) y un repunte en la semana 6 (10.8% promedio global).

En la figura 7. Se muestra la incidencia de la enfermedad provocada por *R. solanacearum* R2 en el periodo de varias semanas de evaluación.

Figura 7

Incidencia de la enfermedad de Moko provocada por R. solanacearum R2 en plantas de banano en invernadero



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

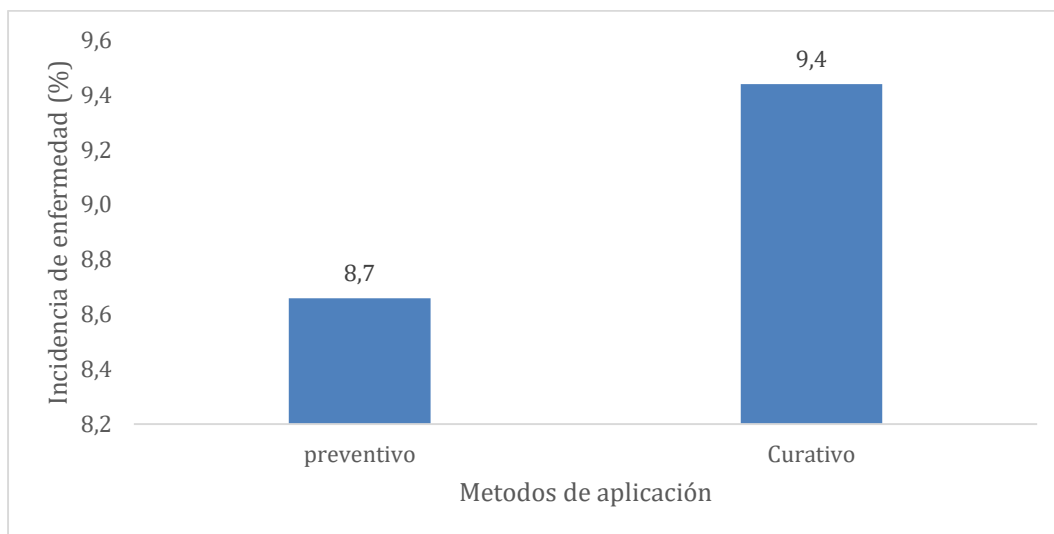
Fuente: Elaboración propia (2025).

En esta figura 7 se observa que el T1, T3, T4, T5 y T8 mostraron el mayor porcentaje de la incidencia de la enfermedad a diferencia de T7 y T2 que presentaron la menor incidencia 4,9 y 6,8 % respectivamente.

En la figura 8. Se muestra la incidencia de la enfermedad en los métodos de manejo preventivo y curativo de *R. solanacearum* R2 en el periodo de varias semanas de evaluación.

Figura 8

*Incidencia de la enfermedad de Moko en dos métodos de manejo de *R. solanacearum* R2 en plantas de banano en invernadero*



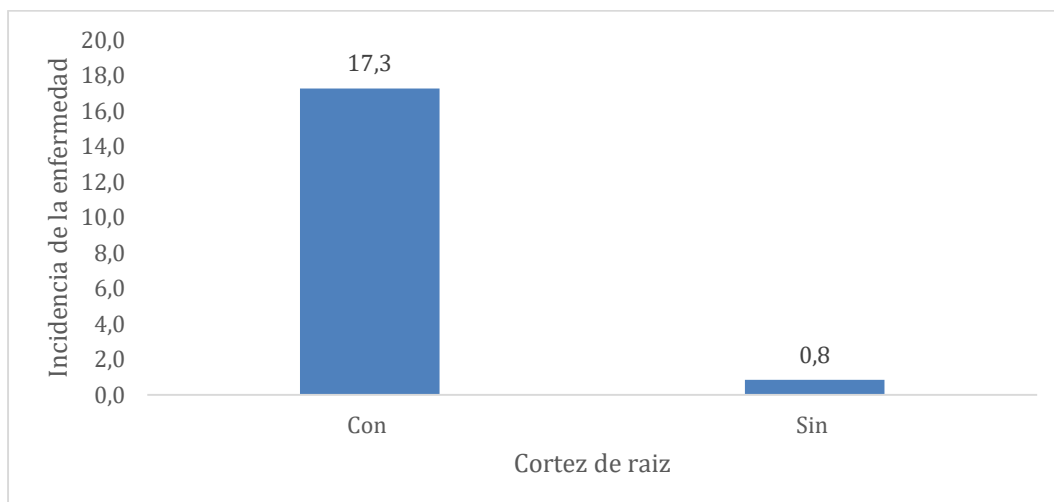
Fuente: Elaboración propia (2025).

En la figura 8, se observa que, el método preventivo presentó el menor porcentaje con 8,7 % de la enfermedad a diferencia del manejo curativo que exhibió el 9,4 %

En la figura 9. Se muestra la incidencia de la enfermedad mediante el uso de heridas o cortes en las plantas para medir el efecto de *R. solanacearum* R2 en el periodo de varias semanas de evaluación.

Figura 9

*Incidencia de la enfermedad de Moko con heridas o cortes y el efecto de *R. solanacearum* R2 en plantas de banano en invernadero*



Fuente: Elaboración propia (2025).

En la figura 9, se observa que, las heridas causadas en el sistema radical tienen un efecto directo en la incidencia de la enfermedad con el 17.3 % a diferencia donde no se realizó ningún corte con el 0.8 %

En la tabla 11. Se muestra las medias de la severidad durante seis semanas, en la que se observa su evolución.

Tabla 11

Severidad de la enfermedad del Moko ocasionada por Ralstonia solanacearum R2

Tratamientos	Severidad/ semana						
	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta	Promedio
T1	1.9	8.2	17.9	28.3	40.6	50.0	24.47
T2	1.9	7.9	10.0	20.9	35.6	27.3	17.25
T3	2.5	7.5	15.6	23.5	35.6	36.0	20.10
T4	3.8	9.4	18.8	26.6	35.9	36.0	21.74
T5	2.5	6.9	16.3	26.6	38.1	37.5	21.32
T6	1.9	5.3	12.3	23.2	31.4	31.9	17.66
T7	0.6	3.4	5.9	14.1	25.1	14.1	10.54
T8	6.3	12.5	18.8	19.6	28.1	28.3	18.92

T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

La severidad de la enfermedad en estudio evidenció una marcada progresión temporal entre los tratamientos aplicados. El tratamiento T1 registró la severidad promedio más elevada, alcanzando un 24.47%, y su punto álgido absoluto se manifestó en la sexta semana con un 50.0%, revelando un patrón de crecimiento acelerado de la enfermedad.

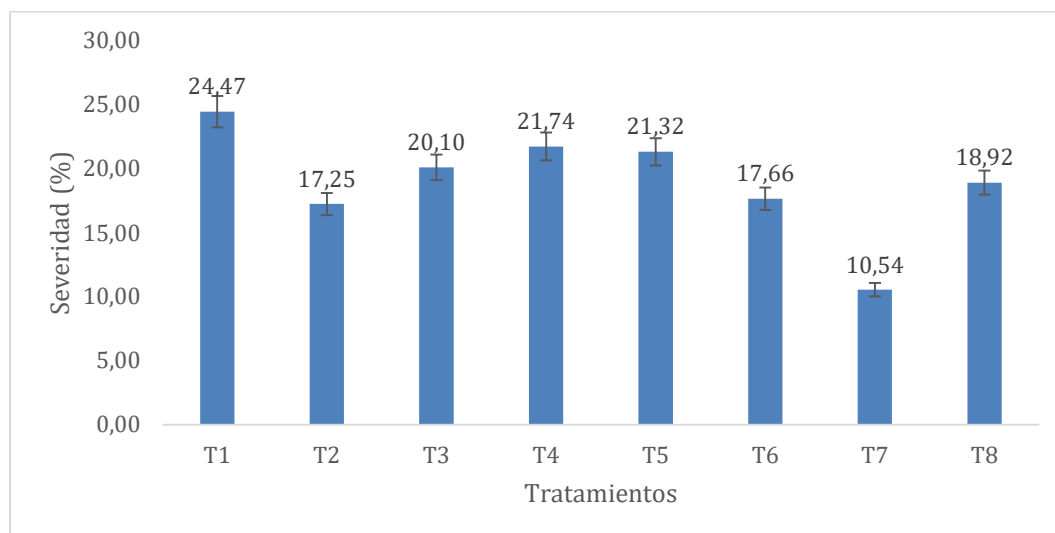
En contraposición, el tratamiento T7 se distinguió por presentar la menor severidad global, con un promedio de 10.54%. Este tratamiento mostró la reducción en la severidad durante la sexta semana, descendiendo a un 14.1%. Por su parte, los tratamientos T2, T6 y T8 mantuvieron niveles de severidad moderados, oscilando entre 17.25% y 18.92%. En

contraste, los tratamientos T3, T4 y T5 se situaron en un rango de severidad alto, con valores que variaron entre 20.10% y 21.74%.

En la figura 10. Se muestra la severidad de la enfermedad provocada por *R. solanacearum* R2 en el periodo de varias semanas de evaluación.

Figura 10

Severidad de la enfermedad de Moko provocada por R. solanacearum R2 en plantas de banano en invernadero



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

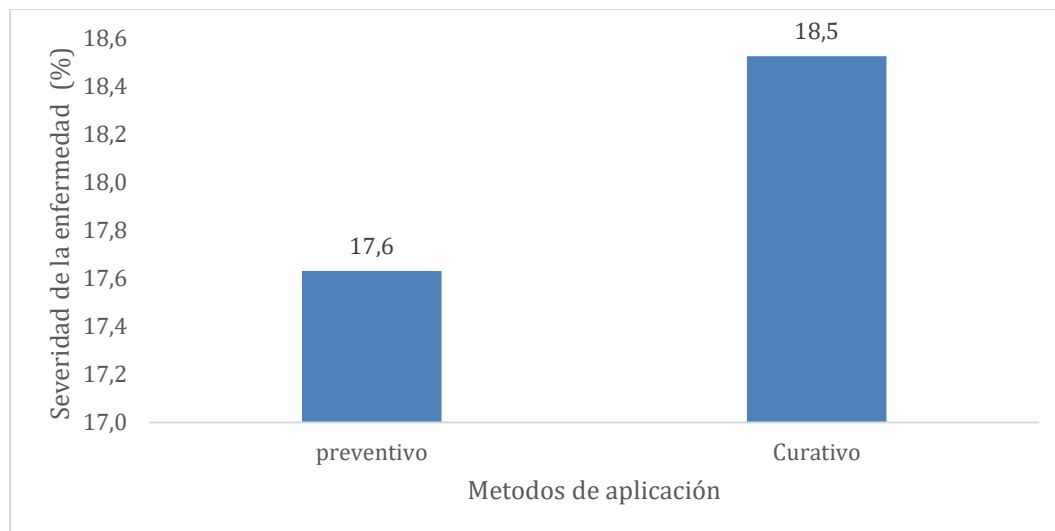
Fuente: Elaboración propia (2025).

En esta figura se observa que el T1 (24.47 %), T3 (20.10 %), T4 (21.74 %), T5 (21.32 %) y T8 (18.92 %) mostraron, la mayor severidad de la enfermedad a diferencia de T7 y T2 que presentaron la menor incidencia 10.54 y 17.25 % respectivamente.

La Figura 11, ilustra claramente la severidad de la enfermedad R2, causada por *R. solanacearum*, a lo largo de varias semanas de evaluación, diferenciando entre los métodos de manejo preventivo y curativo.

Figura 11

Severidad de la enfermedad en los métodos de aplicación preventivo y curativo.



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

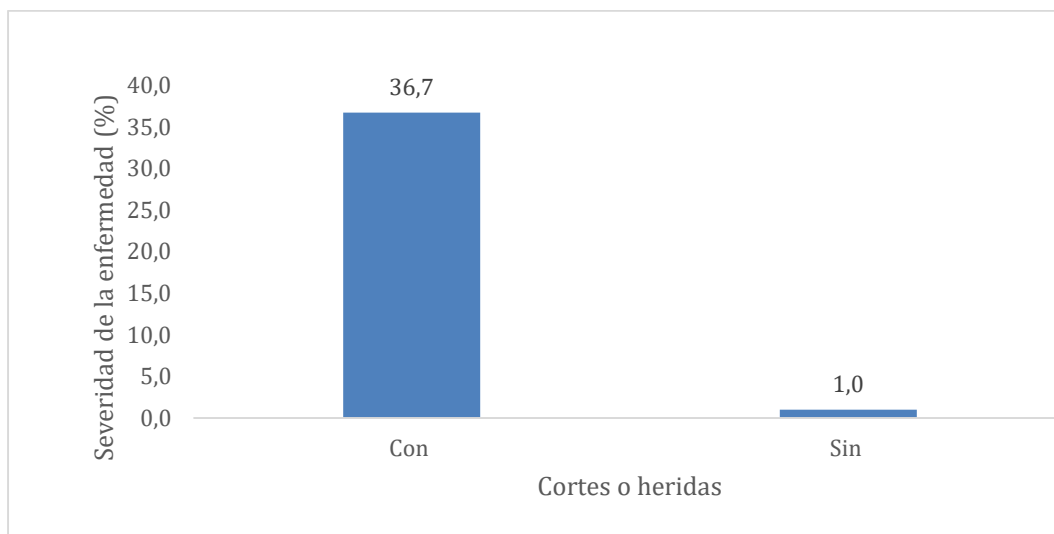
Fuente: Elaboración propia (2025).

En la figura 11, se observa que, el método preventivo presentó el menor porcentaje con 17.6 % de la enfermedad a diferencia del manejo curativo que exhibió el 18.5 %. siendo iguales entre sí.

En la figura 12. Se muestra la severidad de la enfermedad mediante el uso de heridas o cortes en las plantas para medir el efecto de *R. solanacearum* R2 en el periodo de seis semanas de evaluación.

Figura 12

*Severidad de la enfermedad de Moko con heridas o cortes y el efecto de *R. solanacearum* R2 en plantas de banano en invernadero*



T1= *Bacillus methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%; T2= *B. methylotrophicus* + Zhogshenmycin 2% + kasugamicina 2%; T3= *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp.; T4= *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus*; T5= *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus*; T6= *Streptomyces* + *Streptomyces*; T7= *Streptomyces* + Zhogshenmycin 2% + Kasugamicina 2%; T8 = Testigo

Fuente: Elaboración propia (2025).

En la figura 12, se evidencia que, las heridas causadas en el sistema radical tienen un efecto directo en la severidad de la enfermedad con el 36.7 % a diferencia donde no se realizó ningún corte con el 1.0 %.

5. Discusión

En base a los resultados demuestran que la eficacia de los tratamientos bactericidas contra *R. solanacearum* en banano varía significativamente según su composición, destacando el papel crucial de las combinaciones sinérgicas entre agentes biológicos y químicos.

Los tratamientos con doble aplicación de *B. methylotrophicus* y *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus* mostraron la mayor eficacia ($4,60\text{E}+05$ – $5,13\text{E}+05$ UFC), coincidiendo con mecanismos reportados en banano. *B. methylotrophicus* produce lipopéptidos antimicrobianos (surfactinas, iturinas) degradan la membrana celular de *R. solanacearum* y forman biopelículas protectoras en raíces (da Silva et al., 2020).

La sinergia entre *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus* demuestra la complementariedad metabólica: *Streptomyces* sp. sintetiza actinomicinas que inhiben la división bacteriana, mientras *Bacillus* coloniza la rizósfera, reduciendo el espacio para el patógenos (Wang et al., 2009). Esto es crítico en suelos tropicales, donde *R. solanacearum* persiste >6 meses (Ayana & Fininsa, 2017).

Por otro lado, *B. methylotrophicus* + Zhongshengmycin/kasugamicina y *Streptomyces* + Zhongshengmycin/kasugamicina presentaron altas concentraciones de UFC ($5,48\text{E}+05$ – $6,13\text{E}+05$), evidenciando una tolerancia adaptativa de *R. solanacearum*. Zhongshengmycin (derivado de *Streptomyces*) bloquea la síntesis proteica en bacterias, pero varias cepas de *R. solanacearum* en banano pueden desarrollar mutaciones en el gen *rpsL* que confieren resistencia a aminoglucósidos (Dadrasnia et al., 2020).

Además, los antibióticos suprimen poblaciones de *Bacillus* benéfico, como lo verificó Sanchez-Cid et al. (2021) en suelos de Colombia, donde gentamicina redujo un 60% la viabilidad de PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*).

La combinación *B. methylotrophicus* + *Streptomyces* sp. mostró eficacia intermedia ($1,06\text{E}+06$ UFC) por competencia extrínsecos: ambas bacterias compiten por exudados de raíces (ácidos orgánicos C4–C6), limitando su establecimiento simultáneo (Yi et al., 2017). *Streptomyces* sp. dual tuvo menor efecto ($6,68\text{E}+05$ UFC) debido a baja movilidad rizosférica; *Streptomyces* sp. depende de hifas para colonizar, siendo superado por flagelos de *Bacillus* en suelos arcillosos (Chowdhury et al., 2015). En tomate, formulaciones duales de *Streptomyces* requieren co-inoculación con hongos micorrízicos para mejorar persistencia (Revolution, 2019).

Aunque *B. methylotrophicus* + gentamicina + oxitetraciclina, su composición plantea preocupaciones. *R. solanacearum* porta plásmidos con genes *tet(M)* que inactivan a la tetraciclina (Miller, 2022). En plantaciones de Costa Rica, los residuos de oxitetraciclina persistieron 90 días en frutos, incumpliendo normativas UE (Haynes et al., 2020).

La eficacia de *B. methylotrophicus* + *B. methylotrophicus* y *Streptomyces* sp. + *B. methylotrophicus* valida estrategias "todo biológico" en banano. En Ecuador, aplicaciones foliares de *B. methylotrophicus* cada 15 días redujeron incidencia de Moko un 80% sin químicos y *Streptomyces*, se recomienda encapsulación en nanopartículas de quitina para mejorar adhesión a raíces (Nandhini et al., 2025).

El uso de *Streptomyces* + Zhongshengmycin 2% + Kasugamicina 2% mostró el menor promedio de plantas muertas (3.125 ± 8.54) y mortalidad del 0 – 25%, evidenciando su rol como barrera biológica preventiva, demostró que, la sinergia antibiótica: Zhongshengmycin (derivado de *Streptomyces griseus*) inhibe la síntesis proteica en *R. solanacearum*, mientras kasugamicina inhibe los procesos ribosomáticos, actuando en fases complementarias del ciclo bacteriano (Zhao et al., 2025).

Mientras que la inducción de resistencia sistémica provocada por cepas de *Streptomyces* sp. Activan los genes de defensa en la planta de banano (PR-proteínas y quitinasas) que refuerzan paredes celulares ante invasión vascular (Kaari et al., 2022). En estudios con *Musa* AAA, aplicaciones preventivas redujeron infección por *R. solanacearum* en 95% al formar biofilms rizosféricos protectores (Sowndarya et al., 2020; Domínguez-González et al., 2022).

Aunque *B. methylotrophicus* (dual) y *Streptomyces* + *B. methylotrophicus* redujeron la UFC (49.31-51.44), mostraron mortalidad intermedia-alta (62.5-75%). Esta discrepancia revela, las limitaciones en control vascular: *Bacillus* spp. actúa principalmente en rizósfera, pero no coloniza eficientemente xilema, permitiendo que *R. solanacearum* avance tras infección inicial (Genin, & Boucher. 2002). La efectividad es mayor en aplicaciones tempranas (preventivas). En curación, la velocidad de colonización de *Ralstonia* (4-48 h post-infección) supera la respuesta de biocontroladores (da Silva et al., 2020).

El tratamiento a base de *Bacillus* + Gentamicina 10% + Oxitetraciclina 30% registró 100% de mortalidad y máximo promedio de plantas muertas (12.50 ± 12.91), debido a la fitotoxicidad provocada por gentamicina en dosis >5% causa necrosis radical en banano, facilitando entrada bacteriana (Sanchez-Cid et al., 2021). *R. solanacearum* R2 porta

plásmidos RP4 con genes *aac(3)-II* (resistencia a aminoglucósidos) y *tet(B)* (inactivación de tetraciclinas), documentados en cepas de Costa Rica (Haynes et al., 2020).

Las heridas aumentan 115% la mortalidad (1.9 vs. 4.1), coincidiendo con estudios en *Solanum lycopersicum*, donde cortes en raíces redujeron tiempo de infección por *R. solanacearum* de 7 a 2 días (Tans-Kersten et al., 2001). Mientras que el método de prevención vs curación, la aplicación preventiva redujo mortalidad en 98,6%, ya que bloquea la adhesión bacteriana a receptores de pared celular (proteína RSc1801), proceso irreversible post-invasión (Carter et al., 2023).

La combinación de *B. methylotrophicus* + Zhongshengmycin 2% + kasugamicina 2% mostró baja mortalidad (20 – 25%) pero moderadas cantidades de UFC (54.13), debido a que *B. methylotrophicus* secreta sideróforos (bacillibactinas) que secuestran hierro, limitando crecimiento de *R. solanacearum*, pero sin erradicarla (Yi et al., 2017).

En relación a la incidencia *Streptomyces* sp. + Zhongshenmycin 2% + Kasugamicina 2% mostró la mayor eficacia con un promedio de 4.9% y severidad de 10.54%. Esta efectividad supera incluso a combinaciones que incluyen *Bacillus methylotrophicus* (T1-T5), indicando que *Streptomyces* sp. posee un antagonismo más robusto contra *R. solanacearum*.

Estudios en tomate y papa confirman que cepas de *Streptomyces* inhiben este patógeno mediante antibiosis por ejemplo producción de ácido actinotricina y competencia por nichos radiculares (Saputra, et al., 2020).

La adición de Zhongshenmycin (derivado de *Streptomyces zaomyceticus*) y Kasugamicina potencia este efecto, ya que ambos interrumpen la síntesis proteica bacteriana (Jiang et al., 2003), una sinergia también observada en el control de *Xanthomonas* en arroz (Li et al., 2021).

Por el contrario *B. methylotrophicus* + Gentamicina + Oxitetraciclina registró la menor eficacia (incidencia: 10.7%; severidad: 24.47%). Aunque *B. methylotrophicus* induce resistencia sistémica en banano contra hongos (Zhao et al., 2025), su efecto contra bacterias fitopatógenas es limitado. Además, la combinación con bactericidas químicos de amplio espectro podría suprimir la colonización rizosférica, reduciendo su biocontrol (Daval et al., 2021). La gentamicina y oxitetraciclina, aunque efectivas *in vitro*, tienen baja movilidad en tejidos vasculares del banano, limitando su acción *in planta*.

Los tratamientos basados únicamente en biocontrol *B. methylotrophicus* y *Streptomyces* sp. mostraron eficacia intermedia (incidencia: 8.9 - 9.4%; severidad: 20.10 –

21.74%), corroborando estudios donde aplicaciones monoespecíficas de antagonistas en banano reducen Moko solo en 40 – 50% (Shaikh et al., 2014). La combinación *Streptomyces* + *B. methylotrophicus* no mejoró significativamente los resultados, indicando posibles antagonismos metabólicos o competencia por recursos, fenómeno documentado en mezclas de PGPR en solanáceas (Beneduzi et al., 2012).

La superioridad del manejo preventivo (8.7% incidencia) frente al curativo (9,4%) coincide con descubrimientos en papa, donde aplicaciones de *Streptomyces* pre-inóculo reducen *R. solanacearum* en 70% (Nazari et al., 2023). Esto resalta la importancia de la colonización temprana de raíces por antagonistas para bloquear sitios de infección (Kaari et al., 2022).

El impacto de las heridas radiculares (incidencia: 17.3% vs 0,8% sin heridas) recalca que *R. solanacearum* aprovecha lesiones para ingresar al xilema. Experimentos en plátano demuestran que cortes radiculares aumentan 20% la infección (Mariuxi & Oton. 2024), enfatizando la necesidad de evitar daños mecánicos durante el manejo del cultivo.

6. Conclusiones

La combinación *Streptomyces* sp. + Zhongshengmycin 2% + Kasugamicina 2% redujo la densidad poblacional bacteriana en raíces a 3.125 UFC/g. Este tratamiento mostró mayor efectividad en aplicación preventiva que en curativa, con un 10% menos de incidencia, lo que indica que la colonización temprana de la rizosfera es clave para limitar la proliferación de *R. solanacearum*.

En la mortalidad, esta misma combinación logró una reducción del 54% en comparación con el tratamiento *B. methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%, manteniendo los valores dentro de un rango bajo del 0 al 25%. Confirmando su potencial como estrategia eficaz para disminuir las pérdidas de plantas por la marchitez bacteriana.

Los tratamientos biológicos aplicados de forma individual (T4 y T6) mostraron un control limitado del patógeno, lo que evidencia la necesidad de emplear estrategias combinadas que integren agentes biológicos con bactericidas químicos específicos para obtener un control más estable y sostenible en el tiempo.

El tratamiento T7 registró la menor incidencia (4.9%) y severidad (10.54%) de la marchitez bacteriana, superando al tratamiento combinado de *B. methylotrophicus* + Sulfato de Gentamicina 10% + Clorhidrato de Oxitetraciclina 30%, que alcanzó valores de 10.7% y 24.47%, respectivamente, posiblemente a causa de efectos fitotóxicos, desarrollo de resistencia bacteriana y modificación de la microbiota benéfica. Posicionado al T7 como la alternativa más eficaz para el manejo de *R. solanacearum* bajo condiciones de invernadero.

7. Recomendaciones

Utilizar el tratamiento combinado biológico-antibiótico: Utilice la combinación de *Streptomyces* sp., Zhongshenmycin y Kasugamicina (T7), ya que esta mezcla demuestra ser la más efectiva. La sinergia entre los agentes biológicos y antibióticos específicos proporciona una protección superior en comparación con los tratamientos puramente biológicos o antibióticos problemáticos.

Aplicar el tratamiento de forma preventiva para lograr los mejores resultados, se recomienda aplicar el tratamiento antes de la siembra de las plántulas, de esta manera, los biocontroladores pueden establecer una barrera protectora en las raíces, reduciendo significativamente la incidencia y la mortalidad asociada con la enfermedad, en lugar de optar por enfoques curativos que son menos efectivos.

Evitar las heridas en las raíces, se debe de minimizar el daño mecánico a las raíces, ya que las raíces dañadas son una puerta de entrada para *Ralstonia solanacearum*.

Seleccionar cuidadosamente los agentes biológicos para que los tratamientos biológicos sean adecuados para el control vascular de la infección. Evite combinar microorganismos que puedan generar antagonismos, lo que podría disminuir la eficacia de los tratamientos.

Usar antibióticos con cautela y conocimiento: Seleccione antibióticos con un perfil de seguridad comprobado, como Zhongshenmycin y Kasugamicina, que tienen una acción sinérgica y un menor riesgo de efectos negativos.

Evite el uso de antibióticos como gentamicina y oxitetraciclina, ya que pueden causar fitotoxicidad, favorecer la resistencia bacteriana y suprimir el microbiota benéfico.

Es necesario realizar ensayos en campo abierto para estudiar la acción efectiva de los bactericidas que obtuvieron buenos resultado, considerando los factores agronómicos característicos de cada sistema de producción, como el clima, el tipo de suelo y el manejo del cultivo.

8. Referencias Bibliográficas.

- Ababa, G. (2024). Pathogenic diversity, ecology, epidemiology, and management practices of the potato bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) disease. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2407953.
- Acosta, R., Villacrés, D., & Rivadeneira, H. (2020). Producción y exportación de banano ecuatoriano: Análisis del impacto económico en la región litoral. *Revista de Ciencias Económicas*, 39(2), 112–127. <https://doi.org/10.15517/rce.v39i2.41755>
- Aguirre, J. (2023). *Incidencia y medidas alternativas de control para el moko (Ralstonia solanacearum) del banano en el Ecuador* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2023).
- Ajila, J., Aguilar, M., Romero, H., & Campoverde, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7494-7507.
- Albuquerque, G., Silva, A., Silva, J., Melo, E., Mariano, R., Lemos, M., ... & Souza, E. (2021). Sequevar distribution of *Ralstonia* spp. in *Solanaceae* in the semiarid climate of the Pernambuco state, Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 159, 13-25.
- Alfaro, F., Sánchez, M., Carr, C., Picado, J y Araya, M. (2024). Eficacia biológica in vitro de Vapam® 51 GE-AMVAC sobre aislamientos de *Ralstonia solanacearum* raza 2, agente causal de Moko en musáceas. *Revista Científica LIFE-RID III* (E): 107-114
- Álvarez, B., López, M. M., & Biosca, E. G. (2008). *Ralstonia solanacearum* biovar 2A: Un patógeno emergente en Europa. *Molecular Plant Pathology*, 9(5), 619–631. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00483.x>
- Álvarez, B., López, M. M., & Biosca, E. G. (2010). Influence of plant development, temperature, and inoculum concentration on mortality of tomato plants caused by *Ralstonia solanacearum*. *Plant Pathology*, 59(4), 785–792. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02320.x>
- Álvarez, B., López, M., & Biosca, E. G. (2020). Biology of *Ralstonia solanacearum* species complex: Genetic diversity, epidemiology, and control. *Microorganisms*, 8(3), 436. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8030436>

- Ambang, A., Elie, K & Nyamjua, M. (2023). Antibacterial Activities of *Euphorbia hirta* and *Lantan camara* Extracts on the Growth of Some Bacteria that Causes Banana Plant Disease. *Journal of Experimental Agriculture International*, 45(12), 36-47.
- Araluce, R., Alcedo, C y Ramírez, G. (2016). Primer reporte de *Ralstonia solanacearum* en el cultivo del plátano (*Musa AAB*) en el estado Táchira – Venezuela. *Fitosanidad*, vol. 20, 97-100 pp.
- Arenas, A., López, D., Álvarez, E., Llano, G. & Loke, J. (2004). Efecto de prácticas ecológicas sobre la población de *Ralstonia solanacearum* Smith, causante de Moko de plátano. *Fitopatología Colombiana*. 28(2), 76-80.
- Ayana, G., & Fininsa, C. (2017). Effect of crop rotation on tomato bacterial wilt (*Ralstonia solanacearum*) and survival of the pathogen in the rhizospheres and roots of different crops in Ethiopia. *International Journal of Phytopathology*, 5(3), 81-88.
- Barrios, M., Gaviria, P., & Yepes, M. (2011). Supervivencia de *Ralstonia solanacearum* en suelo y tejido de plantas de banano en Urabá, Colombia. *Fitosanidad*, 15(2), 91-97.
- Beattie, G. (2006). Plant-associated bacteria: survey, molecular phylogeny, genomics and recent advances. *Plant-associated bacteria*, 1-56.
- Beneduzi, A., Ambrosini, A., & Passaglia, L. M. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): their potential as antagonists and biocontrol agents. *Genetics and molecular biology*, 35, 1044-1051.
- Blomme, G., Dita, M., Jacobsen, K, Pérez, V., Molina, A., Ocimati, W., Poussier, S & Prior, P. (2017). Bacterial diseases of bananas and Enset: current state of knowledge and integrated approaches toward sustainable management. *Frontiers in Plant Science* 8: 1290. doi: 10.3389/fpls.2017.01290
- Camino, K. (2018). *Respuesta de genotipos de banano y plátano procedentes de la colección de germoplasma del INIAP a MOKO (Ralstonia solanacearum) raza 2 en condiciones de invernadero*. Maestría en Agricultura y Agro negocios Sostenibles. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Matriz Sangolquí.
- Carter, M., Khokhani, D., & Allen, C. (2023). Cell density-regulated adhesins contribute to early disease development and adhesion in *Ralstonia solanacearum*. *Applied and environmental microbiology*, 89(2), e01565-22.
- Cellier, G y Prior, P. (2012). Deciphering *Ralstonia solanacearum*: A model bacterial plant pathogen. *Journal of Plant Pathology*, 94(2), 257-264.

- Cueva, P. (2024). *Aplicación in vitro de bacteriófagos como controladores biológicos para Ralstonia solanacearum en cultivos de banano de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas* (Doctoral dissertation, PUCE-Quito).
- Chowdhury, S., Hartmann, A., Gao, X., & Borriss, R. (2015). Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42—a review. *Frontiers in microbiology*, 6, 780.
- Da Silva Marques, I., Silva, D., Aires, E., Júnior, F., Vargens, F., dos Santos, V., ... & Rodrigues, J. (2024). Effect of pre-harvest application of *Bacillus subtilis* on the shelf life of tomato fruits. *Scientia Horticulturae*, 337, 113516.
- Dadrasnia, A., Usman, M. M., Omar, R., Ismail, S., & Abdullah, R. (2020). Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32(4), 2336-2342.
- Dadrasnia, A., Usman, M., Omar, R., Ismail, S., & Abdullah, R. (2020). Potential use of *Bacillus* genus to control of bananas diseases: Approaches toward high yield production and sustainable management. *Journal of King Saud University-Science*, 32(4), 2336-2342.
- Daval, S., Lebreton, L., Gazengel, K., Boutin, M., Guillerme -Erckelboudt, A., & Sarniguet, A. (2011). The biocontrol bacterium *Pseudomonas fluorescens* Pf29Arp strain affects the pathogenesis-related gene expression of the take-all fungus *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* on wheat roots. *Molecular plant pathology*, 12(9), 839-854.
- Delgado, J., Cedeño, A., & Zambrano, L. (2021). Brotes de moko en banano (*Musa* spp.) en la región Costa del Ecuador: Diagnóstico y manejo. *Agronomía Tropical*, 71(1), 85–94. <https://doi.org/10.22201/agrotrop.2021.71.1.008>
- Delgado, M., & Barreta, B. (2024). Revisión integral de los aspectos más importantes causados por *Ralstonia solanacearum* en musáceas. *Polo del Conocimiento*, 9(10), 570-630.
- Delgado, R., Morillo, E., Buitrón, J., Bustamante, A., & Sotomayor, I. (2014). First Report of Moko Disease Caused by *Ralstonia solanacearum* Race 2 in Plantain (*Musa* AAB) in Ecuador. *New Disease Reports*, 30,24.

- Denny, T. (2006). Plant pathogenic *Ralstonia* species. In N. R. Strom (Ed.), *Plant-associated bacteria* (pp. 573–644). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4538-7_16
- Domínguez-González, K., Robledo-Medrano, J., Valdez-Alarcón, J., Hernández-Cristobal, O., Martínez-Flores, H., Cerna-Cortés, J., Garnica-Romo, M., Cortés-Martínez, R. (2022). *Streptomyces* spp. Biofilmed Solid Inoculant Improves Microbial Survival and Plant-Growth Efficiency of *Triticum aestivum*. *Appl. Sci* 12, 11425. <https://doi.org/10.3390/app122211425>
- Elphinstone, J. (2005). The current bacterial wilt situation: A global overview. In *Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex*. *American Phytopathological Society* (APS Press).
- Elphinstone, J. G. (2005). The current bacterial wilt situation: A global overview. In C. Allen, P. Prior, & A. C. Hayward (Eds.), *Bacterial wilt disease and the *Ralstonia solanacearum* species complex* (pp. 9–28). APS Press.
- Evans, E., Ballen, F., & Siddiq, M. (2020). Banana production, global trade, consumption trends, postharvest handling, and processing. *Handbook of banana production, postharvest science, processing technology, and nutrition*, 1-18
- FAO. (2023). Banana market review: Preliminary results 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/publications>
- García-Bastidas, F., Quintero, A., & Kema, G. (2020). Banana production in the 21st century: Threats and opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 11, 485. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00485>
- Genin, S. (2010). Molecular traits controlling host range and adaptation to plants in *Ralstonia solanacearum*. *New Phytologist*, 187(4), 920–928. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03397.x>
- Genin, S., & Boucher, C. (2002). *Ralstonia solanacearum*: secrets of a major pathogen unveiled by analysis of its genome. *Molecular plant pathology*, 3(3).
- Genin, S., & Denny, T. P. (2012). Pathogenomics of the *Ralstonia solanacearum* species complex. *Annual Review of Phytopathology*, 50, 67–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-081211-173000>
- Gómez, L., Rondón, L., Jiménez-Arteaga, M., & Falcón-Rodríguez, A. (2023). Efecto de la Aplicación de Quitomax® en el cultivo del arroz (*Oryza sativa*, L), variedad IACUBA 41. *Chone, Ciencia y Tecnología*, 1(02).

- Grajales-Amorocho M and Muñoz. (2021). A theoretical model for optimal control of banana Moko (*Musa* AAB Simmonds) [version 2; peer review: 2 approved]. *F1000Research* 2021, 9:1443 (<https://doi.org/10.12688/f1000research.27373.2>)
- Granada, G. (1997). Moko del plátano y banano en Colombia. *Rev. Bananos y Plátanos*, 19(1), 39-43.
- Guillermo, J., Benjamid, A., & Buriticá, P. (2014). Manejo de la pudrición acuosa del pseudo-tallo (*Dickeya* sp.) en banano (*Musa* sp.) bajo condiciones de invernadero. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 83-92.
- Haynes, E., Ramwell, C., Griffiths, T., Walker, D., & Smith, J. (2020). Review of antibiotic use in crops, associated risk of antimicrobial resistance and research gaps. *Report to Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) & The Food Standards Agency (FSA)*, 1-83.
- Hayward, A. C. (1991). Biology and epidemiology of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. *Annual Review of Phytopathology*, 29, 65–87. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.29.090191.000433>.
- Hayward, A. C. (2000). *Ralstonia solanacearum*. In J. C. Zadoks & R. D. Frederick (Eds.), *Manual of plant diseases* (Vol. 1, pp. 235–260). American Phytopathological Society Press.
- INIBAP. (2009). Bananas and plantains: A global perspective. International Network for the Improvement of Banana and Plantain.
- Jiang, X., Zhu, C., Ji, J., Sun, D., Wei, G., & Tian, Y. (2003). Mechanism of zhongshengmycin in control of *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Chinese Journal of Biological Control*, 19(2), 69.
- Kaari, M., Joseph, J., Manikkam, R., Sreenivasan, A., & Venugopal, G. (2022). Biological control of *Streptomyces* sp. UT4A49 to suppress tomato bacterial wilt disease and its metabolite profiling. *Journal of King Saud University-Science*, 34(1), 101688.
- Kaari, M., Joseph, J., Manikkam, R., Sreenivasan, A., Venugopal, G., Alexander, B., & Krishnan, S. (2022). Biocontrol *Streptomyces* induces resistance to bacterial wilt by increasing defense-related enzyme activity in *Solanum melongena* L. *Current Microbiology*, 79(5), 146.
- Kinyua, Z. M., Waceke, J. W., & Waudu, S. W. (2022). Synergistic effects of botanical and microbial bactericides in the control of *Ralstonia solanacearum*. *African Journal of Agricultural Research*, 17(1), 54–63.
- León, J., Espinosa, M., Carvajal R., & Quezada, J. (2023). Análisis de la producción y comercialización de banano en la provincia de El Oro en el periodo 2018-2022.

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7(1), 7494-7507.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4981

- López-Salazar, S. M., Hernández, L. C., & Pardo, C. A. (2023). Eficacia del fertirriego con bactericidas en el control de *Ralstonia solanacearum* en invernadero. *Revista Colombiana de Fitopatología*, 29(2), 77–86.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). (2023). Plan Nacional de Manejo Fitosanitario para Banano y Plátano. Gobierno del Ecuador.
- Marín-Ortiz, J., Botero-Fernández, V., Zapata-Henao, S & Hoyos-Carvajal, L. (2024). Early detection of bacterial wilt in bananas caused by *Ralstonia solanacearum* using reflectance spectroscopy. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 131(2), 523-531.
- Mariuxi, D., & Oton, B. (2024). Revisión integral de los aspectos más importantes causados por *Ralstonia solanacearum* en musáceas. *Polo del Conocimiento*, 9(10), 570-630.
- Martínez-Solórzano, G., & Rey-Brina, J. (2021). Bananos (*Musa* AAA): Importancia, producción y comercio en tiempos de Covid-19. *Agronomía Mesoamericana*, 1034-1046.
- Medina, N., Sagnay-Ramírez, B., & Leon-Reyes, A. (2024). Memorias del VI Simposio en Fitopatología, Control Biológico e Interacciones Planta-Patógeno. *Archivos Académicos USFQ*, (51).
- Messiaen, C. M., Carlier, J., & Fouré, E. (2022). Environmental influence on *Ralstonia solanacearum* spread in banana agroecosystems. *Plant Disease*, 106(8), 2200–2208. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-21-2760-RE>
- Mihai, R., Terán-Maza, V., Portilla-Benalcazar, K., Ramos-Guaytarilla, L., Vizuite-Cabezas, M., Melo-Heras, E., ... y Catana, R. (2024). Secondary Metabolites and Antioxidant Activity against Moko Disease as a Defense Mechanism of *Musa* spp. from the Ecuadorian Coast Area. *Metabolites*, 14(6), 307.
- Miller, S., Ferreira, J., y LeJeune, J. (2022). Uso de antimicrobianos y resistencia en la agricultura vegetal: una perspectiva de Una Sola Salud. *Agricultura*, 12 (2), 289.
- Moncada, R. (2014). *Evaluación de extractos de Bacillus amyloliquefaciens EA-CB0123 para la recuperación de suelos bananeros contaminados con Ralstonia solanacearum* (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).

- Mori, Y., Inoue, K., & Mori, M. (2016). Biofilm formation by *Ralstonia solanacearum* on tomato roots. *Microbes and Environments*, 31(3), 302–307. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME16014>
- Nandhini, R., Rajeswari, E., Harish, S., Sivakumar, V., & Gangai Selvi, R. (2025). Role of chitosan nanoparticles in sustainable plant disease management. *J. Nanopart. Res.*, 27, 13.
- Nazari, M., Schommer, V., Braun, J., dos Santos, L., Lopes, S., Simon, V., ... & Piccin, J. (2023). Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. *Rhizosphere*, 27, 100741.
- Nguyen, T, Tran, T., & Le, H. (2021). Biocontrol of *Ralstonia solanacearum* using indigenous *Bacillus subtilis* in greenhouse conditions. *Biological Control*, 160, 104716.
- Obregón, M., Rodríguez, P., Morales, J., & Salazar, M. (2008). Hospedantes de *Ralstonia solanacearum* en plantaciones de banano y plátano en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(2), 4518-4526.
- Ocimati, W., Blomme, G., & Turyagyenda, L. (2019). Risk of disease transmission through banana planting material: An overview. *Banana Pathology Journal*, 1(2), 25–36. <https://doi.org/10.1111/bpj.12004>
- Opondo, F., K'Owino, I., Chepkwony, S., Kosgei, V., & Pili, N. (2023). In vivo antibacterial activity of extracts of *Tithonia diversifolia* against *Ralstonia solanacearum* in tomato. *Scientific African*, 22, e01962.
- Ortiz, R., & Swennen, R. (2019). From crossbreeding to biotechnology-facilitated improvement of banana and plantain. *Biotechnology Advances*, 37(6), 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.05.002>
- Paredes, J., Flor, P & Javier, F. (2023). Evaluación de cinco productos comerciales para el control de *Ralstonia solanacearum* in vitro como alternativa de uso en la producción orgánica. (Bachelor dissertation, *ESPE- Santo Domingo*).
- Peeters, N., Guidot, A., Vailleau, F., & Valls, M. (2013). *Ralstonia solanacearum*, a widespread bacterial plant pathogen in the post-genomic era. *Molecular Plant Pathology*, 14(7), 651–662. <https://doi.org/10.1111/mpp.12038>

- Prior, P., & Fegan, M. (2005). Recent developments in the phylogeny and classification of *Ralstonia solanacearum*. *Acta Hortic.* 695, 127-136
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.695.14>
- PROEcuador. (2022). Informe anual del sector bananero ecuatoriano. Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones.
- Ramos, M., Zambrano, F., Solís, K., Garcés, F., Arce, V & Sánchez, A. (2024). Biological control of *Ralstonia solanacearum* and its effect on the vegetative growth of organic banana. *Rev. Fac. Agrón. (LUZ)*. 2024, 41(2): e244116
- Revolution, G. (2019). Microbe-based Inoculants: Role in Next. *Environmental Concerns and Sustainable Development: Volume 2: Biodiversity, Soil and Waste Management*, 191.
- Ricardo, F. (2021). Contribución al conocimiento de la problemática fitosanitaria cardinal del cultivo de banano y plátano. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(3), 4089-4114.
- Rodríguez, J., & Méndez, R. (2019). Evaluación de bactericidas en el manejo de la marchitez bacteriana en tomate y banano. *Agrociencia*, 53(3), 229–238.
- Rosado, J., Palacios, C., Cumbicus, J., Puga, E., Sabando, G & Olalla, L. (2024). In vitro evaluation of the inhibitory capacity of three *Trichoderma* isolates on *Ralstonia solanacearum*. *Bionatura* 10.21931/RB/2024.09.01.6
- Rueda-Puente, E., Juvera, J., Romo, I., & Holguín, R. (2018). Evaluación de la actividad antibacteriana in vitro de aceites esenciales de orégano y tomillo contra *Ralstonia solanacearum*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(SPE20), 4251-4261.
- Ruiz-Contreras, M., Rodríguez, F., & Redondo-Méndez, A. (2022). Competitividad del banano colombiano: una mirada desde el caso ecuatoriano. *I+ D Revista de Investigaciones*, 17(2), 89-101.
- Safni, I., Cleenwerck, I., De Vos, P., Fegan, M., Sly, L., & Kappler, U. (2014). Polyphasic taxonomic revision of the *Ralstonia solanacearum* species complex: Proposal to emend the descriptions of *R. solanacearum*, *R. syzygii* and *R. pseudosolanacearum*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(9), 3087–3103. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.066712-0>
- Sánchez, M. (2021). *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de plátano en el Ecuador (Bachelor's thesis, UTB, 2021).

- Sánchez, R., Zambrano, P., & Aguilar, M. (2022). Validación de técnicas moleculares para el diagnóstico de *Ralstonia solanacearum* en banano. *Revista de Fitopatología Ecuatoriana*, 9(1), 30–40.
- Sanchez-Cid, C., Guironnet, A., Wiest, L., Vulliet, E., Vogel, T. (2021) Gentamicin Adsorption onto Soil Particles Prevents Overall Short-Term Effects on the Soil Microbiome and Resistome. *Antibiotics* (Basel). 15;10(2):191. doi: 10.3390/antibiotics10020191. PMID: 33672037; PMCID: PMC7919497.
- Saputra, R., Arwiyanto, T., & Wibowo, A. (2020). Biological control of *Ralstonia solanacearum* causes of bacterial wilt disease with *Pseudomonas putida* and *Streptomyces* spp. on some tomato varieties. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 515, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Saquicela, P., Romanova, V., Guamán, N., Ulloa, M & Villavicencio, Á. (2023). Caracterización morfológica y bioquímica de *Ralstonia solanacearum* raza 2, bacteria patógena en cultivos de banano y plátano en El Carmen, Manabí, Ecuador. *Siembra*, 10(1).
- Shaikh, S., & Sayyed, R. (2014). Role of plant growth-promoting rhizobacteria and their formulation in biocontrol of plant diseases. In *Plant microbes symbiosis: applied facets* (pp. 337-351). New Delhi: Springer India.
- Singh, D., Sharma, J. P., & Sinha, S. (2021). Management of bacterial wilt of solanaceous crops: Current status and future prospects. *Journal of Plant Pathology*, 103(1), 1–12.
- Soto, R., Pérez, M., & Zamora, J. (2021). Diagnóstico y manejo integrado del moko del banano en Centroamérica. *Revista Fitopatológica Centroamericana*, 38(3), 223–237. <https://doi.org/10.18845/rfc.v38i3.1456>
- Sowndarya, J., Rubini, D., Sinsinwar, S., Senthilkumar, M., Nithyanand, P., & Vadivel, V. (2020). Gallic acid an agricultural byproduct modulates the biofilm matrix exopolysaccharides of the phytopathogen *Ralstonia solanacearum*. *Current Microbiology*, 77, 3339-3354.
- Tans-Kersten, J., Huang, H., & Allen, C. (2001). *Ralstonia solanacearum* needs motility for invasive virulence on tomato. *Journal of bacteriology*, 183(12), 3597-3605.
- Tinzaara, W., Mutambuka, M., Oyesigye, E., Blomme, G., Dita, M., Gold, C., ... & Karamura, E. (2024). Banana wilt diseases: Current status and future research strategies for their management. *International Journal of Pest Management*, 70(3), 290-309.
- Torres-González, C., Casas, M., & Díaz Ortiz, J. E. (2013). Manejo de *Ralstonia solanacearum* raza 2 a través de productos químicos y biológicos. *Iteckne*, 10(2), 217-223.

- Trejo Cuevas, K. (2024). Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos. *Rev. Bol. Quim*, 59-66.
- Uribe-Lorío, L., Uribe, L., Rodríguez, C., García, F., & Aráuz, L. F. (2024). Diversity and antibiotic resistance in bacteria associated with symptoms of bacterial infection in Costa Rican crops. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(2).
- Viera, W., Torres, C., Salinas, A., Navia, D., Rivera, L., Delgado, A., ... & Jackson, T. (2020). Control Biológico: Una herramienta para una agricultura sustentable, un punto de vista de sus beneficios en Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(2), 128-149.
- Wang, X., Li, G., Jiang, D., & Huang, H. C. (2009). Screening of plant epiphytic yeasts for biocontrol of bacterial fruit blotch (*Acidovorax avenae* subsp. *citrulli*) of hami melon. *Biological Control*, 50(2), 164-171.
- Wang, X., YU, J., Gao, R., Lan, H., Jiang, Y., QI, W., ... & JIANG, D. (2023). *Streptomyces* *zaomyceticus* Sz-11, a Potential Biocontrol Agent with the Functions of Preventing Plant Diseases and Promoting Plant Growth. *Chinese Journal OF Rice Science*, 37(2), 200.
- Wicker, E., Grassart, L., Coranson-Beaudu, R., Mian, D., Guilbaud, C., & Prior, P. (2007). *Ralstonia solanacearum* strains from Martinique (French West Indies) exhibiting a new pathogenic potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(22), 6790–6801. <https://doi.org/10.1128/AEM.00659-07>
- World Population Review. (2024). Banana Production by Country 2024. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/banana-production-by-country>
- Yao, J., & Allen, C. (2006). Chemotaxis is required for virulence and competitive fitness of the bacterial wilt pathogen *Ralstonia solanacearum*. *Journal of Bacteriology*, 188(10), 3697–3708. <https://doi.org/10.1128/JB.188.10.3697-3708.2006>
- Yi, Y., de Jong, A., Frenzel, E., & Kuipers, O. (2017). Comparative transcriptomics of *Bacillus mycoides* strains in response to potato-root exudates reveals different genetic adaptation of endophytic and soil isolates. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1487.
- Zhang, X., Xu, M., & Liu, Z. (2022). Nanoparticle-based delivery of antimicrobial compounds for plant disease management. *Frontiers in Plant Science*, 13, 846713.
- Zhao, J., Xiao, F., Gui, J., Guo, D., Yang, X., Lin, Y., ... & Wang, D. (2025). The Prospect and Challenge of Bacteriophages for Biocontrol in Food Industry. *Food Reviews International*, 1-15.

9. Anexos

Figura 13

Preparación de los tratamientos



Figura 14

Solución de los bactericidas



Figura 15

Identificación de los tratamientos preventivo



Figura 16

Identificación de los tratamientos curativos



Figura 17
Inoculo bacteriano



Figura 18
Inducción de daño en el corno



Figura 19
Escala de severidad de marchitez bacteriana en banano

