



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

**EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL USO POTENCIAL DE BACTERIÓFAGOS
PARA COMBATIR EL AGENTE CAUSAL DE MOKO BACTERIANO (*RALSTONIA
SOLANACEARUM*) EN EL CULTIVO DE BANANO**

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

AUTORES:

FIGURELLA MAITE LAPREA VÁSQUEZ

NICOLE STEFFANY SALTOS LUJANO

TUTOR:

MSC. NELLY PULGAR OLEAS

GUAYAQUIL - ECUADOR

2024-2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Fiorella Maite Laprea Vásconez** con documento de identificación N° 0925256224 y **Nicole Steffany Saltos Lujano** con documento de identificación N° 1726987553; manifestamos que:

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

Guayaquil, 29 de enero del año 2025

Atentamente,



Fiorella Maite Laprea Vásconez

C.I.: 0925256224



Nicole Steffany Saltos Lujano

C.I.: 1726987553

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

Nosotros, **Fiorella Maite Laprea Vásconez** con documento de identificación No. 0925256224 y **Nicole Steffany Saltos Lujano** con documento de identificación No. 1726987553, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental: **EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL USO POTENCIAL DE BACTERIÓFAGOS PARA COMBATIR EL AGENTE CAUSAL DE MOKO BACTERIANO (*RALSTONIA SOLANACEARUM*) EN EL CULTIVO DE BANANO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero/a en Biotecnología*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 29 de enero del año 2025

Atentamente,



Fiorella Maite Laprea Vásconez

C.I.: 0925256224



Nicole Steffany Saltos Lujano

C.I.: 1726987553

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Nelly Lorena Pulgar Oleas** con documento de identificación N° 0602420911, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **EXPLORACIÓN BIBLIOGRÁFICA DEL USO POTENCIAL DE BACTERIÓFAGOS PARA COMBATIR EL AGENTE CAUSAL DE MOKO BACTERIANO (*RALSTONIA SOLANACEARUM*) EN EL CULTIVO DE BANANO**, realizado por **Fiorella Maite Laprea Vásconez** con documento de identificación N° 0925256224 y por **Nicole Steffany Saltos Lujano** con documento de identificación N° 1726987553, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 29 de enero del año 2025

Atentamente,



Nelly Lorena Pulgar Oleas

C.I.: 0602420911

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a mi familia, el pilar más importante en mi vida. A mi mami, mi papi y mi hermano, quienes siempre han estado para mí motivándome cada día a crecer como persona. Gracias por nunca dejarme sola y darme fuerza para seguir adelante en los momentos difíciles y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo.

A mis tías, por ser un gran apoyo durante esta etapa académica. Gracias por estar para mí cuando lo necesitaba, por sus consejos valiosos y por ayudarme a crecer profesionalmente. Su cariño y guía han sido fundamentales para que pudiera superar cada desafío.

A mis amigas y amigos, por las risas que aligeraron los días más pesados y siempre mostrar preocupación cuando me veían estresada. Quiero agradecerles por brindarme su amistad incondicional, por creer en mí cuando yo dudaba y por ser un recordatorio constante de que nunca estoy sola.

Dedico este trabajo a todas y cada una de estas personas que han estado junto a mí en este viaje académico, quienes, con sus palabras de aliento, su apoyo constante y su amor me han ayudado a llegar hasta aquí. Sus actos, aunque parezcan sencillos, fueron fundamentales para mantenerme firme y enfocada en mis metas. Este logro no sería posible sin ustedes, y por ello, les estaré eternamente agradecida.

Fiorella Maite Laprea Vásquez

Dedico este trabajo a mi mamá, mi pilar y mi guía en la vida. Gracias por estar siempre ahí, en cada momento, con tu amor incondicional y tu apoyo. Este logro es tanto tuyo como mío, porque sin tu fuerza, sabiduría y cariño, nada de esto habría sido posible. Te lo dedico con todo mi corazón, porque eres mi inspiración y mi razón para seguir adelante.

A mi papá, gracias por tu apoyo constante durante todos estos años y por las mañanas que te levantaste temprano, sin falta, para asegurarte de que llegara bien a la universidad. Tu esfuerzo ha sido fundamental para que hoy pueda disfrutar este logro. Valoro profundamente todo lo que has hecho por mí.

A Sasha, Kiara, y Ciro, mis compañeros de siempre. Gracias por estar ahí en los momentos de estrés, por sus cariños y ocurrencias que siempre me sacaban una sonrisa, incluso cuando todo parecía complicarse. No saben cuánto ayudaron sus ronroneos, ladridos y travesuras a hacer más llevaderos los días largos y difíciles.

Y, finalmente, a todos los que han estado a mi lado, incluso en los momentos más oscuros. A pesar de que en muchas ocasiones sucumbí a malos pensamientos o a la depresión, siempre hubo alguien que me recordó que no estaba sola. En muchas ocasiones me sentí sin rumbo e incapaz, pero ustedes fueron mi luz y mi impulso para no rendirme. Este momento es también gracias a su amor y apoyo incondicional. Gracias por ser parte de este camino.

Nicole Steffany Saltos Lujano

Agradecimientos

Queremos iniciar dándoles gracias a nuestros padres, por ser nuestra mayor inspiración y enseñarnos que con esfuerzo y dedicación todo es posible. Gracias por estar siempre para nosotras, alentándonos a seguir adelante y brindándonos su amor en cada etapa de este camino.

A nuestros hermanos, quienes con su cariño hicieron más llevaderos los momentos difíciles. Su apoyo ha sido fundamental para llegar hasta aquí.

De igual manera, agradecemos a nuestros profesores. Su compromiso y su dedicación nos motivaron a dar siempre lo mejor de nosotras. Gracias por guiarnos y compartir su conocimiento de manera tan generosa.

Finalmente. Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por la formación académica que hemos recibido, que ha sido clave en nuestro desarrollo profesional.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro y de este importante capítulo de nuestras vidas.

Resumen

Ecuador se destaca por ser uno de los mayores productores de banano a nivel mundial, siendo un pilar fundamental en la economía del país. No obstante, este cultivo enfrenta grandes desafíos debido a la presencia del moko bacteriano, una enfermedad causada por *Ralstonia solanacearum*, que afecta las raíces y el sistema vascular de las plantas, resultando en marchitez y posteriormente la muerte del hospedante. Esta enfermedad reduce los rendimientos de producción y pone en peligro las exportaciones. Los métodos tradicionales de control presentan limitaciones como el desarrollo de resistencia bacteriana y efectos negativos en el medio ambiente. Por esta razón, este estudio se centró en investigar el uso de los bacteriófagos como agentes de biocontrol para afrontar esta enfermedad en cultivos de banano. La investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque documental, recopilando literatura científica publicada en los últimos cinco años a través de base de datos como Scopus, PubMed, Scielo, Web of Science. Además, se realizaron encuestas dirigidas a expertos en el área para tener una perspectiva más amplia del uso de fagos en la agricultura. Los resultados destacan la eficacia de fagos pertenecientes a las familias *podoviridae*, *myoviridae* e *inoviridae*, que demostraron alta especificidad hacia la enfermedad del moko bacteriano y efectividad en condiciones de laboratorio e invernadero. Se identificaron mecanismos de acción como la lisis bacteriana, la inhibición de la multiplicación y la modificación de la virulencia, siendo esta última una característica destacada de los fagos lisogénicos. Además, se propusieron estrategias para mejorar el uso de fagos, incluyendo la formulación de cócteles para aumentar su estabilidad en prácticas agrícolas. Estos fagos no solo ofrecen un control directo del patógeno, sino que también presentan ventajas ambientales al reducir la dependencia de agroquímicos.

Palabras clave: *Ralstonia solanacearum*, bacteriófagos, moko bacteriano, fagoterapia

Abstract

Ecuador stands out as one of the world largest banana producers, serving as a fundamental pillar of the country's economy. However, this crop faces significant challenges due to the presence of bacterial wilt, a disease caused by *Ralstonia solanacearum*, which affects the roots and vascular system of plants, leading to wilting and subsequent death of the host. This disease reduces production yields and jeopardizes exports. Traditional control methods have limitations, such as the development of bacterial resistance and negative environmental impacts. For this reason, this study focused on investigating the use of bacteriophages as biocontrol agents to address the disease in banana crops. The research was conducted using a documentary approach, compiling scientific literature published in the last five years from database such as Scopus, PubMed, Scielo, and Web of Science. Additionally, surveys were conducted with experts in the field to gain a broader perspective on the use of phages in agriculture. The results highlight the effectiveness of phage belonging to the *podoviridae*, *myoviridae* and *inoviridae* families, which demonstrated high specific against bacterial wilt and effectiveness under laboratory and greenhouse conditions. Mechanisms of action such as bacterial lysis, inhibition of multiplication, and virulence modification were identified, with the latter being a prominent characteristic of lysogenic phages. Additionally, strategies to enhance a phage usage were proposed, including cocktail formulation to improve their stability in agricultural practices. These phages not only provide direct control of the pathogen but also offer environmental advantages by reducing dependence on agrochemicals.

Keywords: *Ralstonia solanacearum*, bacteriophages, bacterial wilt, phage therapy.

INDICE DE CONTENIDO

Capítulo I	1
1. Antecedentes.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.5. Hipótesis.....	4
Capítulo II	5
2. Marco teórico.....	5
2.1. Origen Del Banano.....	5
2.1.1. Clasificación taxonómica del banano	5
2.2. Producción del banano en el Ecuador	6
2.2.1. Importancia económica y comercial	6
2.2.2. Principales zonas de cultivo.....	6
2.2.3. Factores que afectan la producción y exportación.....	7
2.2.4. Principales enfermedades bacterianas en el cultivo de banano	7
2.2.5. Moko bacteriano: impacto y relevancia agrícola	9
2.2.6. Desafíos en el control de <i>Ralstonia solanacearum</i>	10
2.2.7. Estrategias de control de <i>Ralstonia solanacearum</i>	11
2.3. Biología y Patogenicidad de <i>Ralstonia solanacearum</i>	12
2.3.1. Taxonomía del patógeno.....	12
2.3.2. Mecanismos de infección y patogenicidad	12
2.4. Papel de los bacteriófagos en el biocontrol agrícola	14
2.4.1. Características de los bacteriófagos	14
2.4.2. Ciclo de vida de los bacteriófagos	15
2.4.3. Ventajas del uso de bacteriófagos en sistemas agrícolas	15
2.5. Uso de bacteriófagos en el control de <i>Ralstonia solanacearum</i>	15
2.5.1. Investigaciones sobre la aplicación de bacteriófagos	15
2.5.2. Adaptabilidad y retos de los bacteriófagos en agricultura	17
Capítulo III.....	19

3. Metodología.....	19
3.1. Diseño experimental.....	19
3.2. Muestra.....	19
3.3. Criterios de inclusión	19
3.4. Criterios de exclusión.....	19
3.5. Instrumentos	19
3.6. Procedimientos de análisis	20
3.6.1. Clasificación y organización.....	20
3.6.2. Análisis de contenido:.....	20
3.6.3. Integración y síntesis:	20
3.6.4. Interpretación de resultados:	21
Capítulo IV.....	22
4. Resultados.....	22
4.1. Identificación de bacteriófagos que infectan a <i>Ralstonia solanacearum</i>	22
4.2. Análisis de los mecanismos de acción de los bacteriófagos	27
4.3. Estrategias propuestas para la optimización del uso de bacteriófagos.....	29
5. Discusiones.....	37
6. Conclusiones.....	38
7. Recomendaciones	39
8. Referencias	40
9. Anexos.....	47

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales zonas de cultivo de banano en Ecuador	7
Figura 2. Distribución global de <i>Ralstonia solanacearum</i>	9
Figura 3. Diagrama de proceso de infección de <i>Ralstonia solanacearum</i>	13
Figura 4. Estructura de un bacteriófago	14
Figura 5. Mecanismos utilizados en la terapia con fagos para reducir y controlar el marchitamiento bacteriano.....	16
Figura 6. Evaluación en invernadero de la eficacia de los fagos M5, M8 y su combinación (M5M8) para controlar la enfermedad del Moko en plantas de banano.....	17
Figura 7. Estrategia experimental	21
Figura 8. Análisis bibliométrico por autores o coautoría.....	22
Figura 9. Análisis bibliométrico por palabras clave	23
Figura 10. Análisis bibliométrico por países con mayor número de publicación.....	23
Figura 11. Experiencia de profesionales con <i>Ralstonia solanacearum</i>	31
Figura 12. Experiencia de profesionales con bacteriófagos que infecten a <i>Ralstonia solanacearum</i>	31
Figura 13. Eficacia del uso de bacteriófagos para controlar <i>Ralstonia solanacearum</i> en condiciones in vitro.....	32
Figura 14. Eficacia del uso de bacteriófagos para controlar <i>Ralstonia solanacearum</i> en condiciones in vivo	32
Figura 15. Resistencia de bacteriófagos en <i>Ralstonia solanacearum</i>	33
Figura 16. Uso combinado de bacteriófagos con otras prácticas de control.....	34
Figura 17. Prácticas recomendadas para combinar el uso de bacteriófagos	34
Figura 18. Viabilidad de la implementación de bacteriófagos en cultivos de banano.....	35
Figura 19. Limitaciones del uso de bacteriófagos en el campo	35
Figura 20. Uso de bacteriófagos como alternativa ambientalmente amigable	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del banano.....	5
Tabla 2. Infecciones bacterianas que afectan al banano	8
Tabla 3. Resistencia de variedades de Banano a <i>Ralstonia solanacearum</i>	10
Tabla 4. Estrategias de control y manejo de <i>Ralstonia solanacearum</i> en agricultura	11
Tabla 5. Taxonomía de <i>Ralstonia solanacearum</i>	12
Tabla 6. Evaluación de la eficiencia de Bacteriófagos en el manejo de <i>Ralstonia solanacearum</i>	24
Tabla 7. Mecanismo de acción de los bacteriófagos.....	28

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Información por año de base de datos	47
Anexo 2. Selección de documentos por área	47
Anexo 3. Tipo de documento.....	48
Anexo 4. Documento por país	48

Capítulo I

1. Antecedentes

1.1. Introducción

La producción de banano es altamente rentable en regiones tropicales. India lidera la producción mundial, seguida por China, que se destaca no solo por la cantidad, sino también por la extensión de tierras dedicadas a este cultivo (Evans et al., 2020). Brasil, Indonesia y Ecuador completan la lista de principales productores, destacando Ecuador por su alta productividad en relación con su población (Banana Production by Country 2024., 2024).

Según (Drenth y Kema, 2021) la variedad Cavendish es la más cultivada a nivel global. Su cultivo abarca casi el 40% de la producción mundial y juega un papel importante en el comercio internacional. Sin embargo, su dependencia del monocultivo la hace especialmente vulnerable a enfermedades, lo que representa un desafío para la industria bananera.

Uno de los principales problemas es el Moko bacteriano, una enfermedad causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* que se propaga rápidamente y su manejo es difícil debido a la falta de productos específicos. La bacteria coloniza y obstruye el sistema vascular de las plantas, provocando marchitez y eventualmente la muerte del hospedante (Ramírez et al., 2020).

Es una enfermedad devastadora que afecta cultivos de banano en todo el mundo. La infección se caracteriza por un color marrón en el pseudotallo y rizoma, además de exudado bacteriano que aparece cuando se cortan los tejidos infectados (De Souza-Pollo & De Goes, 2020).

(De Souza-Pollo & De Goes, 2020) explican que, para prevenir esta enfermedad, se recomiendan medidas como la desbotonadura temprana, el embolsado de inflorescencias, la desinfección de herramientas de campo, la destrucción de matas infectadas y la rotación de cultivos. No obstante, estas estrategias no han sido suficientes para erradicar la enfermedad, lo que ha llevado a la búsqueda de enfoques alternativos.

El control del moko enfrenta desafíos por la falta de tecnologías eficaces y variedades de banano resistentes. Como respuesta, se ha recurrido a la aplicación de productos químicos

sintéticos para proteger los cultivos. Siendo durante años la principal herramienta para combatir enfermedades en plantaciones (Haq et al., 2020).

Sin embargo, su uso prolongado no solo puede afectar la salud humana y contaminar el suelo, sino que también puede contribuir a que los patógenos se vuelven resistentes, dificultando aún más su control (Haq et al., 2020).

Ante este problema, han surgido alternativas biológicas que buscan reducir la dependencia de los agroquímicos y minimizar su impacto ambiental. Una de las alternativas más prometedoras es el uso de bacteriófagos, virus capaces de infectar y combatir cepas multirresistentes (Buitrago et al., 2021)

Según (Buitrago et al., 2021), los fagos atacan bacterias específicas en el lugar de la infección, promoviendo su lisis y previniendo la proliferación de patógenos. Esta especificidad difiere de los antibióticos, que pueden afectar un rango más amplio de microorganismos y generar resistencia en algunas bacterias.

Además de su aplicación en infecciones humanas, los fagos también se encuentran en el ambiente y se estudian para proteger cultivos. Dado que los fagos están presentes en el entorno, los humanos están expuestos a ellos constantemente sin sufrir daño. En la agricultura, su uso como agentes de control biológico (BCA) ha ganado interés, ya que pueden combatir fitopatógenos específicos sin dejar residuos en el suelo (Nawaz et al., 2023).

El uso de fagos líticos para controlar *R. solanacearum* ha sido eficaz en pruebas de laboratorio e invernaderos. Destacándose su especificidad y compatibilidad con otras prácticas de manejo agrícola. Diversas familias de fagos, como *Podoviridae*, *Myoviridae* e *Inoviridae*, han mostrado potencial contra *R. solanacearum*, lo que abre la posibilidad de su implementación en sistemas agrícolas (Ramírez et al., 2020).

1.2. Planteamiento del Problema

En el primer semestre de 2024, el sector bananero generó aproximadamente USD 1.932,200 millones, consolidando a Ecuador como uno de los principales productores y exportadores a nivel mundial (Banco Central del Ecuador, 2024). Sin embargo, su producción enfrenta diversas amenazas fitosanitarias como el moko bacteriano que afecta su rendimiento y estabilidad en el mercado.

El moko bacteriano, causado por *Ralstonia solanacearum*, puede reducir el rendimiento del cultivo hasta en un 90 % (Dey & Sen, 2023). Su rápida propagación y difícil manejo aumentan los costos de producción y ponen en riesgo su exportación.

El control del moko bacteriano ha dependido del uso de agroquímicos. No obstante, estos métodos son insuficientes. Los patógenos desarrollan resistencia, persisten en el suelo, afectan microorganismos beneficiosos y su diseminación secundaria a través de agua de riego dificulta su erradicación (Akhtar et al., 2024). Esto resalta la necesidad de estrategias más sostenibles

1.3. Justificación

El moko, causado por *Ralstonia solanacearum* filotipo II raza 2, afecta la producción de banano al provocar marchitez y deterioro. Sus síntomas aparecen cuando la bacteria ya se ha propagado, infectando plantas cercanas (Pardo et al., 2019)

Este patógeno puede provocar pérdidas graves en la producción agrícola, ya que, al afectar principalmente las raíces y el sistema vascular de la planta, resulta en marchitez y muerte, impactando tanto la calidad como el rendimiento del cultivo (Ramírez et al., 2020).

Los métodos tradicionales de control, como los pesticidas químicos, presentan diversos inconvenientes, incluyendo el desarrollo de resistencia bacteriana, efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana (Haq et al., 2020).

Por ello, esta investigación se justifica por la necesidad de explorar alternativas de control más sostenible y eficiente para el moko bacteriano. Los bacteriófagos ofrecen una posible solución

innovadora y respetuosa con el medio ambiente frente a los métodos tradicionales de control. Evaluar y recopilar la evidencia disponible sobre la efectividad de los bacteriófagos podría abrir nuevas vías para la gestión de enfermedades en el cultivo de banano, promoviendo prácticas agrícolas más seguras y eficaces

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar el potencial de los bacteriófagos como agentes de biocontrol para el manejo de la enfermedad del moko bacteriano, causada por *Ralstonia solanacearum*, en cultivos de banano.

1.4.2. Objetivos Específicos:

1. Identificar los bacteriófagos reportados que infectan a *Ralstonia solanacearum*, con énfasis en aquellos que presentan mayor especificidad y eficacia en condiciones *in vitro* e *in vivo*.
2. Analizar los mecanismos de acción de los bacteriófagos contra *Ralstonia solanacearum*, incluyendo la lisis bacteriana, la inhibición de la multiplicación bacteriana y la modificación de la virulencia.
3. Proponer estrategias para optimizar el uso de bacteriófagos en el manejo integrado de la enfermedad del moko bacteriano, incluyendo la combinación con otras prácticas de control, complementando con información obtenida a través de encuestas en el tema.

1.5. Hipótesis

Según la evidencia disponible en la literatura, los bacteriófagos representan una alternativa potencialmente eficaz y sostenible para el control del moko bacteriano (*Ralstonia solanacearum*) en cultivos de banano.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Origen Del Banano

El banano es una planta tropical de la familia Musaceae, cultivada por sus frutos comestibles y de alto valor nutricional, ampliamente consumidos a nivel mundial. (Probojati et al., 2021).

Es originaria del sudeste asiático, donde se cultiva desde hace aproximadamente 10 000 años. Inicialmente era una especie silvestre que se reproducía por semillas (LASSOUDIÈRE A., 2010).

2.1.1. Clasificación taxonómica del banano

Taxonomía de Musa x paradisiaca.

Tabla 1. Taxonomía del banano

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>M. paradisiaca</i> L.

Fuente: (Saúco, 1992).

Elaborado por: Los autores, 2025

Las variedades más relevantes del género Musa para el comercio pertenecen al subgrupo Cavendish, con especies triploides AAA. Entre ellas destacan “Grande Naine”, “Williams”, “Valery”, “Robusta”, “Poyo” y “Dwarf Cavendish”. Estas variedades representan el 95 % del comercio mundial de exportación de banano (Oecd, 2010).

2.2. Producción del banano en el Ecuador

2.2.1. Importancia económica y comercial

Ecuador es el principal productor y exportador de banano en el mundo, con ventas anuales superiores a los seis millones de toneladas. Este cultivo es la segunda fuente de ingresos del país, después del petróleo. Más de 200 000 hectáreas están dedicadas al banano, representando aproximadamente el 20 % del PIB nacional (Serrano et al., 2020).

Miles de familias dependen de esta actividad para su sustento. Ecuador, reconocido por su liderazgo en la exportación mundial de banano, ha logrado establecer una industria sólida y competitiva, lo que ha contribuido de manera notable al desarrollo social y económico del país (Bencomo & Suazo, 2021). Aunque la producción ha enfrentado desafíos debido a fenómenos naturales, el banano mantiene altos estándares de calidad y características distintivas, consolidándose en muchos países como una de las frutas de mayor consumo y un alimento esencial en la dieta diaria (León-Serrano et al., 2020).

2.2.2. Principales zonas de cultivo

Según (Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2020), en 2019 la superficie total dedicada al cultivo de banano en todo el país alcanzó las 190,381 hectáreas. Las principales provincias productoras fueron Los Ríos, con un 33.56% del total, Guayas con el 25.83% y El Oro con un 24.06%.

Figura 1. Principales zonas de cultivo de banano en Ecuador



Nota: Ilustración creada por paintmaps.com por los autores (2025)

2.2.3. Factores que afectan la producción y exportación

La humedad, la precipitación y la temperatura son factores cruciales para el cultivo de banano. Las raíces fibrosas superficiales del banano son sensibles tanto a la sequía como al exceso de lluvia, lo que puede perjudicar a la planta y provocar enfermedades, además humedades altas provocan el incremento de enfermedades causadas por hongos (INTAGRI, 2018). El crecimiento se detiene cuando la temperatura está por debajo de los 18°C, y sufre daños si baja de los 13°C o supera los 45°C (Mendez, 2015).

Las plagas y enfermedades son las principales limitaciones para la productividad del banano, sin importar donde se cultiven o cómo se produzcan. Entre las más preocupante están las enfermedades fúngicas como la Sigatoka negra y el marchitamiento por Fusarium. No obstante, las enfermedades bacterianas también tienen un impacto en el rendimiento de producción de banano (Blomme et al., 2017).

2.2.4. Principales enfermedades bacterianas en el cultivo de banano

Las infecciones que afectan al banano se agrupan en:

Tabla 2. Infecciones bacterianas que afectan al banano

Enfermedad	Agente causal	Síntomas principales	Distribución geográfica
Enfermedad de moko	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Marchitez rápida, amarillamiento de hojas, necrosis foliar, deformación de frutos.	América Latina y el Caribe
Marchitez bacteriana del banano	<i>Xanthomas campestris</i> pv. <i>musacearum</i>	Marchitez de hojas, amarillamiento, pudrición del fruto y muerte de la planta	África Oriental y central
Enfermedad de la sangre del banano	<i>Ralstonia syzygii</i> subs. <i>celebesensis</i>	Marchitez y decoloración vascular	Sudoeste asiático
Podredumbre bacteriana de la cabeza	<i>Erwomia carotovora</i> ssp. <i>carotovora</i>	Colapso de tejidos, emisión de olor fétido y pudrición húmeda.	América Latina, Asia y África
Podredumbre húmeda del rizoma y pseudotallo	<i>Dickeya paradisiaca</i>	Decoloración y pudrición del pseudotallo, emisión de olor fétido, colapso de tejidos internos.	Regiones tropicales y subtropicales Sudeste asiático

Fuente: (Blomme et al., 2017)
Elaborado por: Los autores, 2025

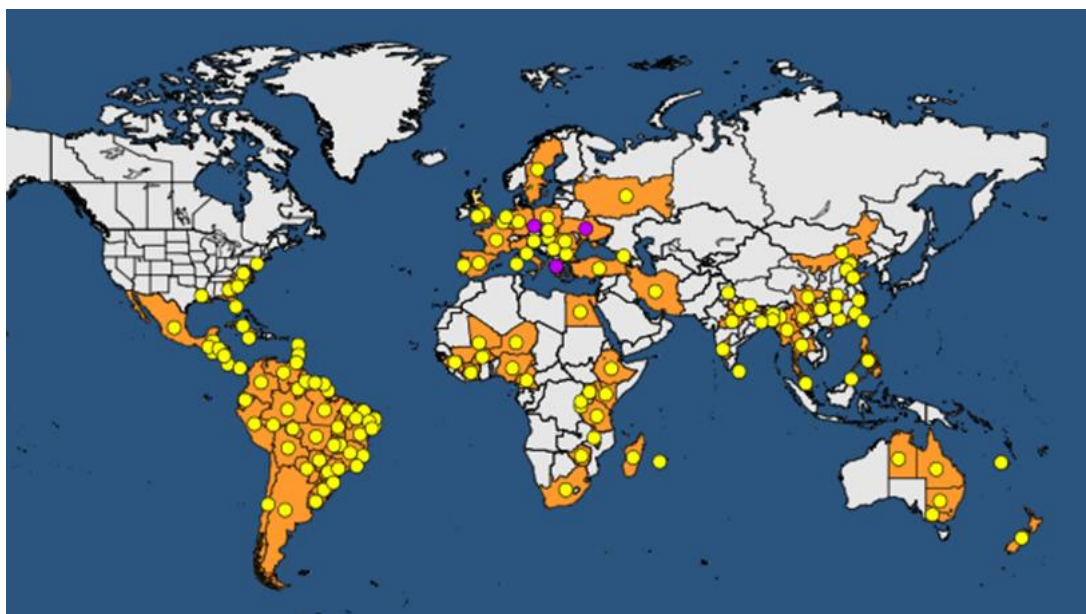
2.2.5. Moko bacteriano: impacto y relevancia agrícola

Esta enfermedad limita significativamente la producción de banano, ya que no solo afecta a las plantas infectadas, sino que también puede inutilizar las áreas donde se encuentran. Los costos de control son elevados, ya que es necesario eliminar los focos infecciosos y dejar los terrenos afectados improductivos por un tiempo considerable (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2016).

Se encuentra entre los agentes más devastadores a nivel mundial, caracterizándose por su capacidad de infectar una amplia variedad de plantas, abarcando más de 200 especies pertenecientes a más de 50 familias botánicas (Mansfield et al., 2012).

Debido a su relevancia tanto económica como científica, esta bacteria ocupa el segundo lugar en la lista de la diez principales fitopatógenas a nivel mundial (Jose et al., 2023).

Figura 2. Distribución global de *Ralstonia solanacearum*



Fuente: (*Ralstonia solanacearum* (RALSSL)[World Distribution]| EPPO Global Database)

Tabla 3. Resistencia de variedades de Banano a *Ralstonia solanacearum*

Variedad de Banano	Resistencia
Cavendish Giant	Susceptible
Igitsiri (Intintu)	Susceptibilidad intermedia
Cavendish Williams	Susceptible
FHIA-17	Resistencia intermedia
FHIA-18	Susceptible
FHIA-03	Susceptible
FHIA-01	Susceptible
Cavendish Gran Enano	Susceptible
Gross Michel	Susceptible
Pisang Mas (Sedita)	Susceptible
Primitivo	Susceptible
Nakitengwa	Susceptible
Sedita	Resistente
Yangambi Km5	Resistente
Guíneo	Susceptible

Fuente: (Mariuxi y Oton, 2024)

Elaborado por: Los autores, 2025

La detección temprana de la enfermedad del moko y la notificación a las autoridades competentes son fundamentales para evitar su propagación en los cultivos de banano y plátano. Según el plan de acción para el control de *Ralstonia solanacearum* raza 2, las principales estrategias de control incluyen el uso de material de siembra sano, prospecciones regulares y la erradicación de plantas infectadas (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario., 2015).

2.2.6. Desafíos en el control de *Ralstonia solanacearum*

La infección por *Ralstonia solanacearum* presenta desafíos significativos debido a diversos factores que facilitan su severidad. Se propaga de forma más efectiva en climas cálidos y húmedos (Mariuxi y Oton, 2024).

Aunque se utilizan ciertos químicos, como fungicidas, bactericidas y nematicidas para controlar esta enfermedad, no son eficaces y pueden eliminar organismos beneficiosos del suelo, lo que hace que no sea recomendable su aplicación (INSAI, 2018).

2.2.7. Estrategias de control de *Ralstonia solanacearum*

Entre los métodos más efectivos destacan:

Tabla 4. Estrategias de control y manejo de *Ralstonia solanacearum* en agricultura

Control genético	• Desarrollo de cultivares resistentes. • Uso de plantas <i>in vitro</i>.
Control Biológico	• Se ha explorado el uso de antagonistas microbianos y bacteriófagos para disminuir la población de <i>Ralstonia solanacearum</i> en el suelo.
Control cultural	• Evitar el uso de agua contaminada en áreas con brotes de la enfermedad para proteger el suelo y las plantas. • Desinfección de las herramientas de uso en el cultivo. Utilizar material de propagación proveniente de fincas certificada. • Control de malezas. • Manejo Integrado de Plagas (MIP) • Cultivares resistentes. • Rotación de cultivos.
Control químico	• Uso de desinfectantes para el suelo • Uso de insecticidas para el control de la plaga. • Desinfección con soluciones de yodo agrícola o de hipoclorito de sodio.
Control legal	• Informar a AGROCALIDAD sobre cualquier planta que podría mostrar signos de la enfermedad.

Fuente: (Acuña et al., 2022); (AGROCALIDAD, 2022); (Mariuxi y Oton, 2024)

2.3. Biología y Patogenicidad de *Ralstonia solanacearum*

2.3.1. Taxonomía del patógeno

La información sobre la taxonomía de *Ralstonia solanacearum* fue tomada de Yabuuchi et al. (1995), citados en (Rueda-Puente et al., 2014).

Tabla 5. Taxonomía de *Ralstonia solanacearum*.

Filo	Gracillicutes
Clase	Bacteria
Orden	Bacteriales
Familia	Bacteriaceae
Género	<i>Ralstonia</i>
Especie	<i>Ralstonia solanacearum</i>

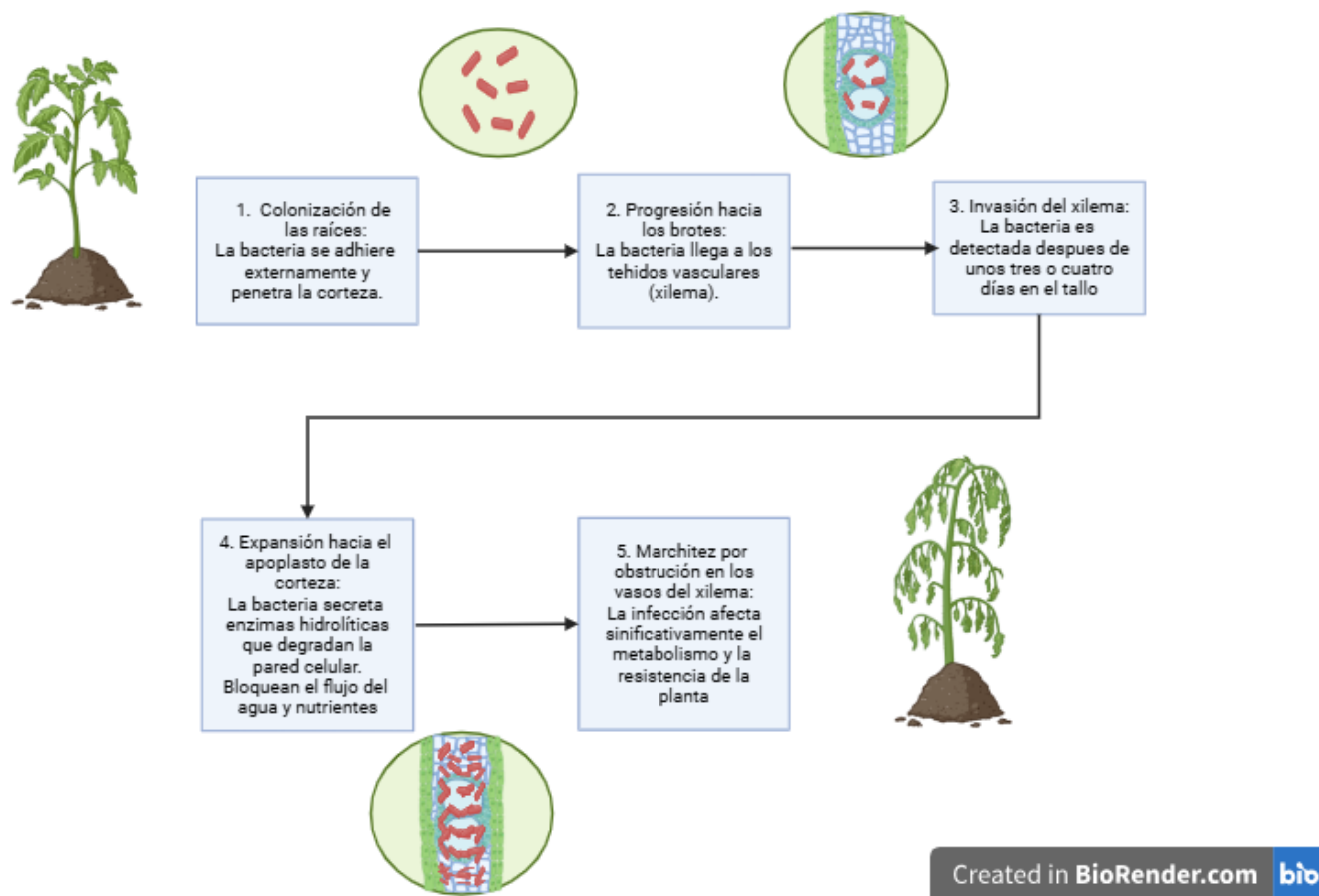
Elaborado por: Los autores, 2025

2.3.2. Mecanismos de infección y patogenicidad

El proceso de infección por *Ralstonia solanacearum* en las plantas se puede dividir en cuatro etapas clave: la colonización de las raíces, su ascenso hacia los brotes, la invasión del xilema y la expansión hacia el apoplasto de la corteza. (Jose et al., 2023). La bacteria secreta enzimas hidrolíticas, como celulasas y pectinasas, que degradan la pared celular de las plantas, permitiendo su colonización y el bloque del flujo de agua y nutrientes (Obrador-Sánchez et al., 2017).

Los brotes pueden marchitarse sin mostrar cambios de color evidentes. Esta enfermedad también causa la decoloración de los tejidos vasculares y la exudación de una baba bacteriana de color amarillo a marrón rojizo. En plantas con frutos, la decoloración se concentra en el tallo y la base de las hojas, afectando el desarrollo de los frutos (Eden-Green, 2018).

Figura 3. Diagrama de proceso de infección de *Ralstonia solanacearum*



Fuente: (Eden-Green, 2018); (Jose et al., 2023); (Obrador-Sánchez et al., 2017)

Nota: Ilustración creada por BioRender por los autores (2025)

A pesar de la vulnerabilidad de las plantas ante patógenos, poseen mecanismos de defensa estructurales y químicos. La pared celular actúa como la primera barrera protectora, con compuestos como la lignina, la celulosa y la pectina, fundamentales para la integridad del tejido vegetal (Ninkuu et al., 2022). En el xilema y el esclerénquima, la lignina cumple un rol crucial en la respuesta al estrés biótico, regulando su biosíntesis y polimerización según el tipo de tejido afectado (Wang et al., 2013). Sin embargo, *Ralstonia solanacearum* puede superar estas barreras mediante la secreción de enzimas degradantes y toxinas que facilitan su diseminación en los tejidos vasculares.

2.4. Papel de los bacteriófagos en el biocontrol agrícola

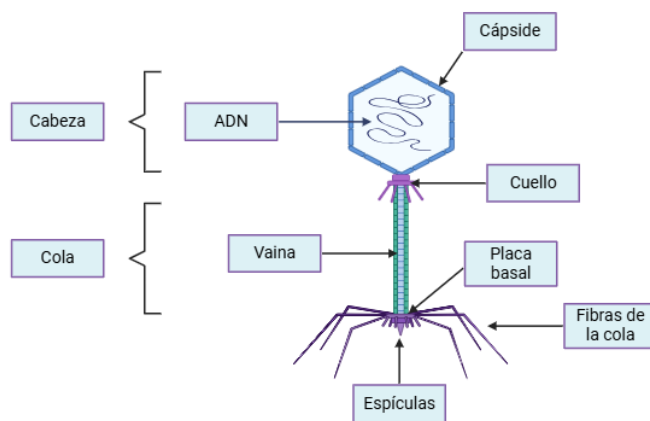
2.4.1. Características de los bacteriófagos

Los fagos son virus que infectan cepas bacterianas específicas mediante interacciones con receptores en su superficie. Algunos tienen alta especificidad por su hospedador, mientras que otros infectan un rango limitado de bacterias (Siyanbola et al., 2024).

Su estructura varía desde formas simples hasta complejas. Su genoma puede ser ADN o ARN, lineal o circular, monocatenario o bicatenario, protegido por una cápside proteica. Algunos presentan con las o envolturas lipídico-proteicas que facilitan su infección y propagación en el ambiente (Siyanbola et al., 2024).

Algunos fagos presentan cabeza, cuello, cola, fibras y espículas, aunque otros carecen de cola. Los caudovirales, con colas "virulentas", facilitan la inyección de material genético y destacan en terapias. Incluyen *myoviridae*, *siphoviridae* y *podoviridae*, diferenciados por tamaño y estructura (Velasco et al., 2024).

Figura 4. Estructura de un bacteriófago



Created in BioRender.com bio

Nota: Ilustración creada por BioRender por los autores (2025)

2.4.2. Ciclo de vida de los bacteriófagos

Los fagos siguen dos ciclos de vida: lítico y lisogénico. En el lítico, destruyen la bacteria al liberar nuevas partículas virales, otorgándoles propiedades antimicrobianas. En el lisogénico, integran su genoma en la bacteria, sin destruir al hospedador. Sin embargo, pueden cambiar al ciclo lítico ante señales ambientales, eliminando solo una pequeña parte de la población infectada (Jiménez y Gallego, 2022).

2.4.3. Ventajas del uso de bacteriófagos en sistemas agrícolas

Los bacteriófagos representan una alternativa sostenible a los antibióticos en la agricultura. Su especificidad reduce el impacto ambiental, evitando la resistencia bacteriana. Además, pueden mejorar la rentabilidad agrícola al minimizar pérdidas en cultivos sin afectar microorganismos benéficos ni dejar residuos nocivos (Svircev et al., 2018).

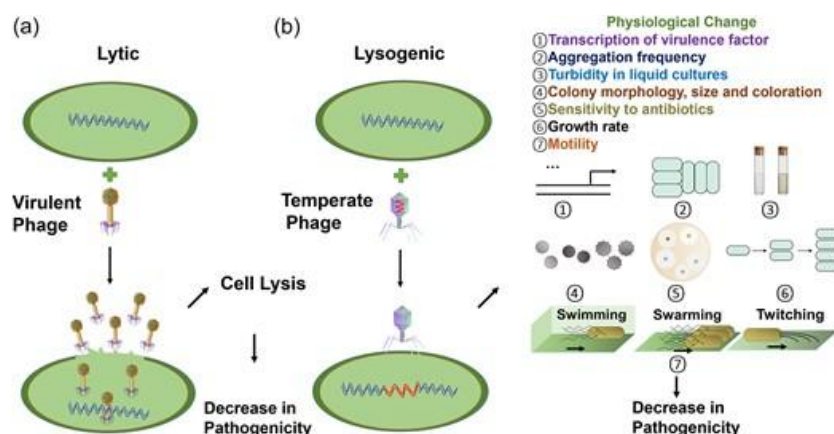
Ante los desafíos del cambio climático, los bacteriófagos favorecen sistemas agrícolas sostenibles y rentables. Protegen cultivos como el banano, reduciendo pérdidas. Aunque su desarrollo inicial es costoso, requieren menos aplicaciones que los pesticidas, ofreciendo una alternativa eficaz y económica a largo plazo (Siyanbola et al., 2024).

2.5. Uso de bacteriófagos en el control de *Ralstonia solanacearum*

2.5.1. Investigaciones sobre la aplicación de bacteriófagos

En estrategias de biocontrol, se prefieren los bacteriófagos líticos debido a su rápida replicación y capacidad para destruir bacterias específicas, evitando la transferencia de genes que pueden aumentar la resistencia a antibióticos (Schulz et al., 2022). No obstante, (Tang et al., 2024) reporta que algunos fagos lisogénicos han mostrado efectividad en el control del marchitamiento bacteriano, lo que sugiere que ambos tipos podrían desempeñar un papel importante en el manejo de *Ralstonia solanacearum*, dependiendo de las condiciones específicas del sistema agrícola.

Figura 5. Mecanismos utilizados en la terapia con fagos para reducir y controlar el marchitamiento bacteriano



Fuente: (Tang et al., 2024).

Según (Álvarez et al., 2019), investigaciones sobre tres bacteriófagos líticos, aislados de agua ambiental de distintas regiones de España, son altamente eficaces para controlar *Ralstonia solanacearum* y especies relacionadas, sin afectar bacterias no objetivo. Estos fagos pueden lisar poblaciones de patógenos en varias condiciones ambientales y permanecer activos durante meses, siendo ideales para aplicaciones en sistemas de riego.

En estudios con más de 300 plantas, se logró disminuir las poblaciones de patógeno en agua mediante el uso individual o combinado de los tres fagos pertenecientes a la familia *podoviridae* y al género T7likevirus (Álvarez et al., 2019).

En varias investigaciones se habla que la efectividad de los bacteriófagos depende del momento en el que apliquen, siendo el amanecer y el anochecer los más adecuados debido a la menor radiación UV. Seleccionar adecuadamente los fagos que se vayan a utilizar es esencial para controlar efectivamente los patógenos en condiciones específicas (Nawaz et al., 2023).

(Ramírez et al., 2020), demostraron que los fagos M5 y M8 son efectivos para controlar *Ralstonia solanacearum* en 24 horas, sin resistencia durante 8 días. En el invernadero, el cóctel

M5M8 protegió al 100% de las plantas de banano durante 90 días, mientras que los tratamientos individuales no evitaron completamente los síntomas de la enfermedad.

Figura 6. Evaluación en invernadero de la eficacia de los fagos M5, M8 y su combinación (M5M8) para controlar la enfermedad del Moko en plantas de banano.



Fuente: (Ramírez et al., 2020).

Otros estudios explican el mecanismo de acción de fago RSM3 como biocontrol en el marchitamiento bacteriano causado por *R. solanacearum*. El fago RSM3, a diferencia de otros, no induce la lisis de las células bacterianas, sino que establece una asociación persistente con el hospedador, reprimiendo genes clave relacionados con la virulencia. En plantas de tomate, la infección con RSM3 inhibe el sistema de secreción del patógeno y confiere una resistencia duradera a cepas virulentas (Addy et al., 2012).

(Umrao et al., 2021), habla sobre la eficacia del bacteriófago sp1 contra *R. solanacearum* en plántulas de tomate y tubérculos de papa. Este fago se establece en un rango de pH (3,0-9,0) y temperaturas de hasta 55°C. Elimina el 94,73% de biopelículas preformadas de *R. solanacearum* e inhibe la formación de nuevas biopelículas en un 73,68%.

2.5.2. Adaptabilidad y retos de los bacteriófagos en agricultura

Una gran ventaja de los fagos es su capacidad de adaptación, una característica que los métodos convencionales, como los pesticidas químicos o los antibióticos, no poseen. Gracias a su rápida tasa de reproducción, los fagos acumulan mutaciones en poco tiempo, lo que les permite modificar su estructura y comportamiento de manera constante. Durante su ciclo de replicación, algunos fagos combinan su material genético con el de la bacteria que infectan. En este proceso, es común que se integren fragmentos de ADN bacteriano en el genoma del fago, lo que da lugar a nuevas generaciones de fagos con características diferentes. Esto significa que, aunque una bacteria desarrolle resistencia a un tipo de fago, un fago modificado puede superar esta resistencia rápidamente. Este proceso de coevolución entre bacterias y fagos no solo asegura una mejora continua en la fagoterapia, sino que también proporciona una estrategia natural y adaptable para combatir fitopatógenos (Terrones et al., 2024).

Su aislamiento se realiza de manera rápida, sencilla y con costos accesibles. Además, la resistencia bacteriana a los fagos surge más lentamente, ya que estos virus tienen la capacidad de evolucionar y adaptarse para atacar nuevamente a las bacterias. Su resistencia en condiciones ambientales adversas y su capacidad de replicación hasta reducir la población bacteriana hacen que estos tratamientos sean altamente efectivos, requiriendo menos aplicaciones para lograr resultados comparables o superiores a los métodos convencionales (Schulz et al., 2022).

En el campo de la agricultura, la fagoterapia enfrenta varios desafíos que deben ser superados para lograr aplicaciones efectivas a gran escala. Uno de los problemas principales es la reducción significativa de la viabilidad de los bacteriófagos cuando se exponen a la radiación UV. Entre las posibles soluciones se incluyen la aplicación de los fagos al atardecer o durante la noche, cuando la radiación UV es menor, lo que permite que los fagos tengan mayor tiempo para interactuar con las bacterias sin que su viabilidad se vea comprometida. Además, los fagos pueden ser formulados con componentes protectores para aumentar su resistencia a la radiación UV, lo que permitiría su uso más eficiente en el campo, incluso bajo condiciones de alta exposición solar (Terrones et al., 2024).

Capítulo III

3. Metodología

3.1. Diseño experimental

La investigación se desarrollará mediante un enfoque documental, basado en la revisión bibliográfica sistemática de estudios relacionados con el uso de bacteriófagos como agentes de biocontrol para *Ralstonia solanacearum*. El diseño es descriptivo y exploratorio, orientados a evaluar la viabilidad de los bacteriófagos en el manejo de la enfermedad del moko bacteriano en el banano.

3.2. Muestra

La muestra estará compuesta en su mayoría por literatura científica publicada en los últimos 5 años, incluyendo artículos de investigación, revisiones y reportes técnicos relevantes para el tema. Las fuentes de información se obtendrán de bases de datos académicas como Science Direct, PubMed, Web of Science y Scopus.

3.3. Criterios de inclusión

Estudios que reporten bacteriófagos exclusivos para *Ralstonia solanacearum*. Investigaciones que evalúen la eficiencia de los bacteriófagos en condiciones *in vitro* e *in vivo*. Documentos que analicen los mecanismos de acción de los bacteriófagos y su integración en el manejo de enfermedades agrícolas.

3.4. Criterios de exclusión

1. Estudios no centrados en *Ralstonia solanacearum*.
2. Publicaciones sin acceso a texto completo o revisiones de calidad dudosa.
3. Artículos que no presente datos empíricos o aplicaciones prácticas.

3.5. Instrumentos

Para la recolección y análisis de la información se utilizarán los siguientes instrumentos:

1. Bases de datos académicas para identificar y seleccionar literatura relevante.

2. Software de gestión bibliográfica como Zotero o Mendeley para organiza y citar las fuentes.
3. Herramientas de análisis bibliométrico como Vosviewer para detectar patrones y tendencias en la investigación de bacteriófagos y su aplicación en cultivos de banano.
4. Encuestas de Google dirigidas a expertos para recopilar opiniones sobre el uso de bacteriófagos contra *Ralstonia solanacearum*.

3.6. Procedimientos de análisis

Búsqueda y recopilación de información:

- Se realizarán búsquedas en base de datos utilizando términos clave como “bacteriófagos”, “*Ralstonia solanacearum*”, “moko bacteriano”, “biocontrol” y “cultivo de banano”
- Se seleccionarán estudios relevantes según criterios de inclusión y exclusión establecidos.

3.6.1. Clasificación y organización

Los documentos serán clasificados por tipo de estudio, año de publicación, y la región de aplicación para facilitar su análisis.

3.6.2. Análisis de contenido:

- Se extraerán datos sobre los bacteriófagos identificados, sus mecanismos de acción, y su efectividad en diferentes condiciones experimentales.
- Se recopilarán y analizarán las respuestas de las encuestas de Google para obtener perspectivas adicionales de expertos en el campo.

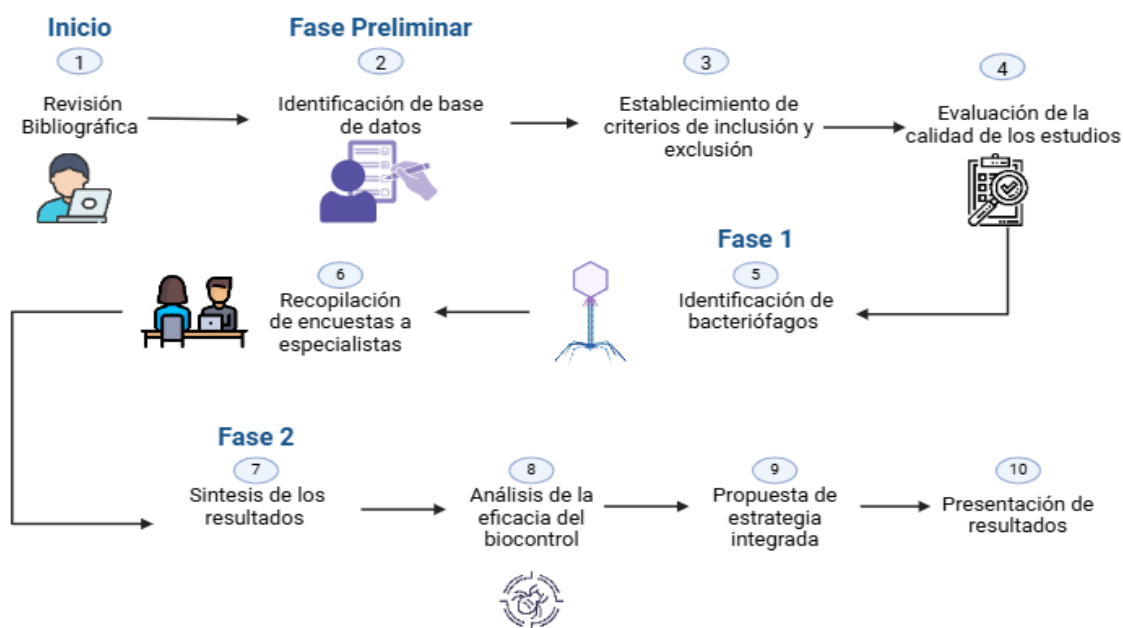
3.6.3. Integración y síntesis:

- Se integrarán los hallazgos de la literatura con los resultados de las encuestas mediante un proceso de triangulación de la información, asegurando una perspectiva más completa y robusta sobre el uso de bacteriófagos en el biocontrol de *Ralstonia solanacearum*.
- Se propondrán estrategias de biocontrol que combinen el uso de bacteriófagos con otras prácticas agrícolas sostenibles.

3.6.4. Interpretación de resultados:

Se discutirá la viabilidad del uso de bacteriófagos en el contexto del manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de banano, considerando las limitaciones y oportunidades detectadas, complementando con las opiniones recopiladas en las encuestas.

Figura 7. Estrategia experimental



Created in BioRender.com

Nota. Ilustración creada por BioRender por los autores (2025)

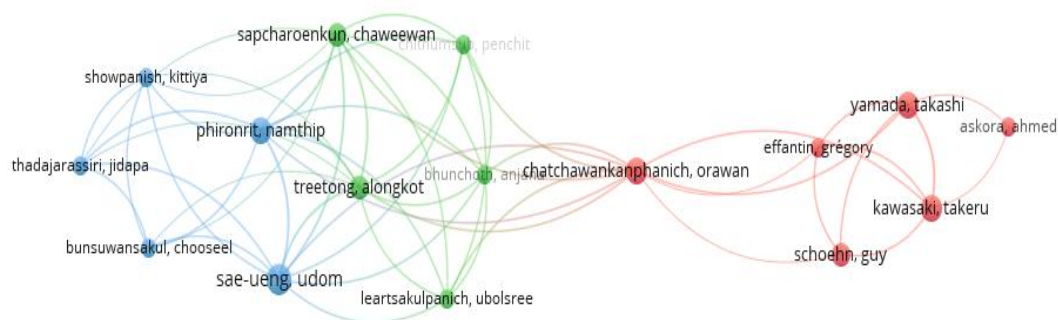
Capítulo IV

4. Resultados

4.1. Identificación de bacteriófagos que infectan a *Ralstonia solanacearum*

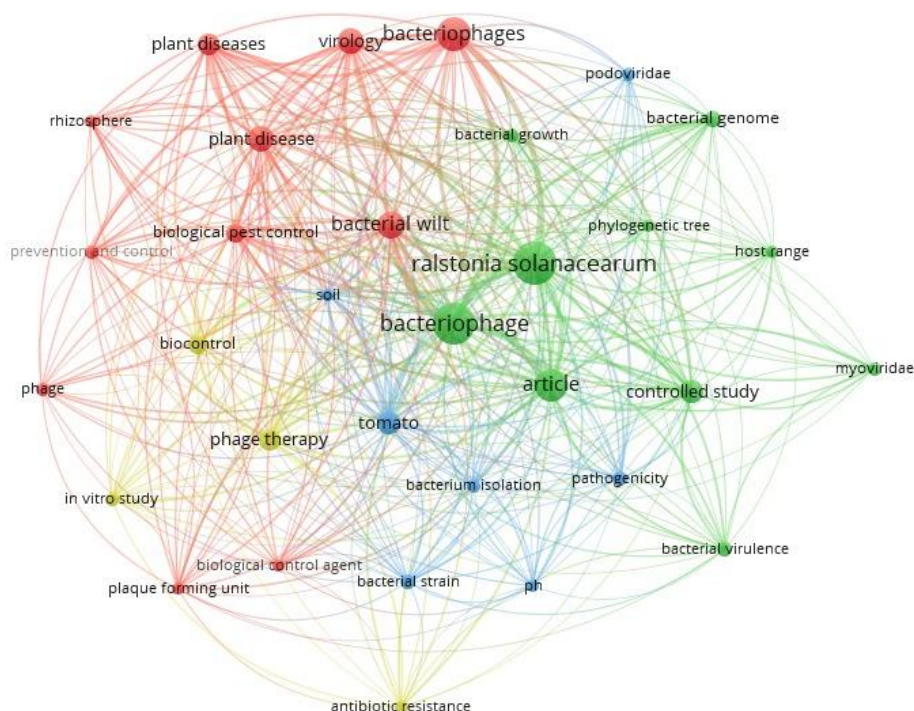
Para cumplir con el objetivo planteado, se seleccionaron los principales artículos disponibles en la base de datos Scopus, utilizando términos clave como “bacteriófagos”, “*Ralstonia solanacearum*”, “moko bacteriano”, “biocontrol” y “cultivos de banano”. Se filtraron los resultados dentro de la categoría “Agricultural and Biological Sciences”, lo que arrojó una base inicial de 210 documentos. Estos trabajos incluyeron 185 autores conectados a través de redes bibliométricas. Tras aplicar los filtros de selección, la base de datos final se redujo a 63 documentos.

Figura 8. Análisis bibliométrico por autores o coautoría



Nota. Ilustración creada por VOSviewer por los autores (2025)

Figura 9. Análisis bibliométrico por palabras clave



Nota. Ilustración creada por VOSviewer por los autores (2025)

Por último, se evaluó la distribución de publicaciones por países, destacándose Estados Unidos, China y España como los principales productores de investigación en el área de estudio, con más de 10 publicaciones en los últimos cinco años. Ecuador, aunque con menos publicaciones,

Figura 10. Análisis bibliométrico por países con mayor número de publicación



Nota. Ilustración creada por VOSviewer por los autores (2025)

A continuación, se presentará un resumen de los resultados obtenidos a partir de las bases de datos analizadas, destacando las características y efectividad de los fagos en el control del moko bacteriano.

Tabla 6. Evaluación de la eficiencia de Bacteriófagos en el manejo de *Ralstonia solanacearum*

Bacteriófagos		Efectividad de los bacteriófagos como biocontrol				
Nombre	Taxonomía	Eficacia <i>in vitro</i>	Eficacia <i>in vivo</i>	Cultivo objetivo	% de reducción	Referencia
M5	<i>Podoviridae</i>	Inhibición completa en las primeras 24 horas, pero resistencia presentada después de 48 horas.	Alta reducción de las poblaciones en microcosmos de suelo y en plantas de banano en invernadero	Banano	31%	(Ramírez et al., 2020)
M8	<i>Podoviridae</i>	Inhibición durante 24 horas, pero resistencia después de 48 horas.	Eficacia en microcosmos de suelo y protección efectiva en invernadero.	Banano	19%	(Ramírez et al., 2020)
RSL1	<i>Myoviridae</i>	Resistente a temperaturas elevadas (37°C-50°C).	Previene el marchitamiento de plantas de tomate, inhibiendo el crecimiento bacteriano.	Tomate	100%	(Nawaz et al., 2023)

RSP	<i>Myoviridae</i>	Inhíbe el crecimiento bacteriano en cultivos líquidos. Erradica biopelículas bajo condiciones similares a recubrimientos bacterianos.	Estable en soluciones salinas y rango de pH (4,0-11,0). Permanece viable en condiciones de campo.	Tomate	94.73%	(Hernández-Romano et al., 2019)
RSM3	<i>Inoviridae</i>	Reduce significativamente el crecimiento bacteriano en plantas de tomate.	No se presenta marchitamiento hasta al menos 4 semanas después de la inoculación.	Tomate	100%	(Addy y otros, 2012)
sp1	<i>Myoviridae</i>	Elimina el 94,73% de las biopelículas preformadas del patógeno. Inhíbe la formación de	Reducción del 81,39% y 87,75% en recuentos de patógenos en tubérculos de papa y plántulas de tomate.	Tomate Papa	87.75%	(Umrao et al., 2021)

		biopelículas en un 74%.				
vRsoP-WF2 vRsoP-WM2 vRsoP-WR2	<i>Podoviridae</i>	Reducción de bacterias en agua ambiental en menos de 24 horas. Lisis efectiva en un rango de pH (6,5-9,0) y a 14-31°C.	Efectivo en agua de riego y plantas hospedantes. Alta reducción de la marchitez bacteriana.	No aplica	85%	(Álvarez et al., 2019)
RP13	<i>Myoviridae</i>	Alta capacidad para infectar y lisar el patógeno. Utilizado en ensayos de lisis en medios sólidos o líquidos.	Disminución de la población bacteriana. La eficacia puede verse afectada en ambientes con alta competencia microbiana.	Tomate	75%	(Kawasaki et al., 2021)
RPZH3	<i>Myoviridae</i>	Se observó una efectividad significativa en la formación de halos de lisis alrededor de las colonias	Reducción moderada de los síntomas. La persistencia en el suelo fue un desafío. Resiste a temperaturas	Tabaco Papa Tomate	60%	(Lin et al., 2023)

		bacterianas, en ensayos de placas de doble capa de agar.	entre 45-60°C en un rango de ph de 7,0.			
--	--	--	---	--	--	--

Elaborado por: Los autores, 2025.

Los resultados presentados muestran la eficacia de diferentes bacteriófagos en el control de *Ralstonia solanacearum* bajo diversas condiciones experimentales. Fagos como M5 y M8 inhibieron completamente el crecimiento bacteriano en las primeras 24 horas y, cuando se combinaron (cóctel M5M8), protegieron al 100% las plantas de banano durante 90 días en invernadero. Otros fagos, como RSL1 y sp1, destacan por su especificidad hacia el patógeno y su capacidad de adaptación a condiciones ambientales adversas, como altas temperaturas o variaciones de pH.

Los fagos analizados también presentan características complementarias en su eficacia contra el moko bacteriano. En términos de temperatura, RSL1 y sp1 destacan por su capacidad de operar bajo condiciones adversas, resistiendo hasta 50-55°C, mientras que RSM3, aunque es menos tolerante a estos niveles de temperatura, sobresale por su capacidad de inducir respuestas defensivas sostenidas en plantas mediante la supresión de genes de virulencia del patógeno.

Los fagos vRsoP-WF2, vRsoP-WM2 y vRsoP-WR2 mostraron una lisis efectiva de bacteria en condiciones de agua ambiental, estos fagos demostraron eficacia en sistemas de riego al reducir significativamente la población bacteriana en menos de 24 horas.

La mayoría de los fagos fueron aislados de diversas fuentes ambientales, lo que refleja su amplia distribución en ecosistemas agrícolas. Entre las principales fuentes de aislamiento se encuentran suelos de plantaciones de banano, tabaco y tomate, agua de río, entre otros. Estas fuentes ofrecen ser ideal para encontrar fagos específicos para *Ralstonia solanacearum*, ya que albergan bacterias que facilitan la proliferación de fagos.

4.2. Análisis de los mecanismos de acción de los bacteriófagos

Los bacteriófagos utilizan una serie de mecanismos específicos para controlar bacterias como *Ralstonia solanacearum*. Estos mecanismos varían según el ciclo de vida que sigan (puede

ser lítico o lisogénico) y de las estrategias que emplean para interactuar con la bacteria que tienen como objetivo.

Los fagos presentados en la tabla 4 poseen características específicas que los hacen efectivos para el control de *Ralstonia solanacearum*. A continuación, se analiza cómo actúan cada uno de ellos:

Tabla 7. Mecanismo de acción de los bacteriófagos

Bacteriófagos	Ciclo de infección	Lisis bacteriana	Inhibición de la multiplicación bacteriana	Modificación de la virulencia
M5	Lítico	Si	Indirectamente	No
M8				
RSL1	Lítico	Si	Indirectamente	No
RSP	Lítico	Si	Si	No
RSM3	Lisogénico	No	Si	Si
sp1	Lítico	Si	Si	No
vRsoP-WF2	Lítico	Si	Indirectamente	No
vRsoP-WM2				
vRsoP-WR2				
RP13	Lítico	Si	Si	No
RPZH3	Lítico	Si	Si	No

Elaborado por: Los autores, 2025

La capacidad que poseen los fagos de inducir lisis bacteriana depende del ciclo de vida que sigue cada uno. La mayoría de fagos presentados en la tabla siguen un ciclo de vida lítico, lo que quiere decir que utilizan la maquinaria de la bacteria para producir nuevas partículas virales y romper la célula huésped, liberando nuevos fagos al ambiente. Por otro lado, el fago RSM3 no induce lisis porque sigue un ciclo de vida lisogénico.

La modificación de la virulencia está asociada a fagos lisogénicos, como RSM3. Este fago se integra al genoma bacteriano y suprime genes responsables de la virulencia. Ya que este fago solo integra en el cromosoma bacteriano sin destruir a la célula huésped, la bacteria puede seguir viva y funcional, pero con una capacidad reducida de infección debido a la alteración de genes.

La inhibición de la multiplicación bacteriana puede lograrse de forma directa o indirecta, dependiendo el enfoque del bacteriófago. Fagos como sp1 y RSP inhiben directamente la multiplicación bacteriana al atacar y descomponer biopelículas, dejando a las bacterias vulnerables y deteniendo su capacidad de reproducción. Por otro lado, los otros fagos inhiben la multiplicación bacteriana indirectamente al reducir poblaciones bacterianas a través de la lisis celular.

4.3. Estrategias propuestas para la optimización del uso de bacteriófagos

Los estudios revisados sugieren que la efectividad de los bacteriófagos puede potenciarse. A continuación, se presentan estrategias que pueden mejorar su desempeño en campo:

1. Optimización de la aplicación de bacteriófagos

Para garantizar su estabilidad y eficacia, es esencial considerar factores ambientales y métodos de conservación.

- Aplicar los bacteriófagos en horarios estratégicos, como al amanecer o al atardecer, para minimizar la degradación por radiación UV (Sabri et al., 2021).
- Emplear liofilización con trehalosa como conservante, lo que facilita su almacenamiento y transporte sin perder viabilidad (Álvarez et al., 2022).

2. Integración con otras estrategias de biocontrol

El uso de bacteriófagos en conjunto con otros agentes biológicos ha demostrado aumentar su efectividad:

- Interacción con microorganismos benéficos: la combinación con *Trichoderma spp.* y *Bacillus spp.* Ha mostrado mejorar la supresión de *R. solanacearum*, reduciendo la incidencia del moko en cultivos de banano (Ramos-Veintimilla et al., 2024)

3. Implementación dentro del manejo integrado de plagas (MIP)

- Es un enfoque que combina diversas estrategias como la rotación de cultivos (Mariuxi y Oton, 2024).

4. Aplicación a través de sistema de riego

- Facilita la distribución homogénea en el suelo y las raíces. Estudios con cultivos de tomate y banano indican que fagos como vRsoP-WF2, vRsoP-WM2 y vRsoP-WR2 reducen en un 85% la población de *R. solanacearum* en suelos irrigados con soluciones de fagos (Álvarez et al., 2019).

5. Monitoreo y prevención de resistencia bacteriana

Para mitigar el riesgo de resistencia a largo plazo de *R. solanacearum* a los fagos, se recomienda:

- Diseñar cócteles de fagos que ataquen distintos receptores bacterianos para reducir la probabilidad de resistencia (Ramírez et al., 2020).
- Evaluar la combinación de fagos líticos y lisogénicos para aplicar presiones selectivas diversificadas y disminuir la evolución de resistencia (Tang et al., 2024).

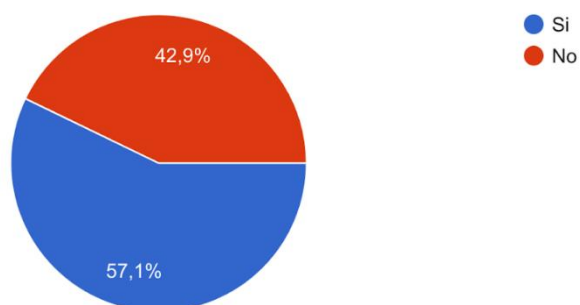
Con el objetivo de complementar las estrategias propuestas y obtener perspectivas profesionales sobre el uso de bacteriófagos como agentes de biocontrol, se realizaron encuestas dirigidas a ingenieros agrónomos y biotecnólogos con experiencia en fitopatología, abarcando un rango de 2 a 24 años en el campo. A continuación, se presenta un análisis de las respuestas obtenidas.

Según los resultados, el 57.1% de los encuestados indicó haber trabajado previamente con *Ralstonia solanacearum*, lo que demuestra conocimiento práctico sobre este patógeno. El 42.9% afirmó estar familiarizado con fagos efectivos contra este patógeno, siendo mencionadas cepas como M5, M8 y algunas pertenecientes a la familia *Myoviridae* y *Podoviridae*. Sin embargo, un porcentaje significativo no tenía información sobre bacteriófagos como biocontrol del moko bacteriano, lo que resalta la necesidad de mayor estudio en esta área.

Figura 11. Experiencia de profesionales con *Ralstonia solanacearum*

¿Ha trabajado específicamente con *Ralstonia solanacearum*?

21 respuestas

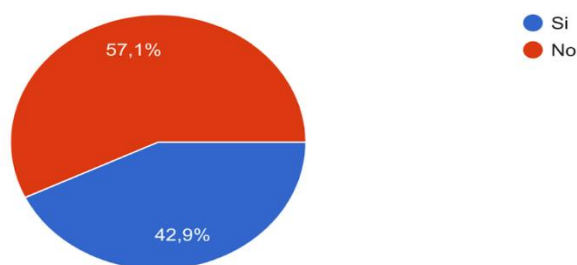


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Figura 12. Experiencia de profesionales con bacteriófagos que infecten a *Ralstonia solanacearum*

¿Conoce usted algún bacteriófago que infecte a *Ralstonia solanacearum*?

21 respuestas



Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

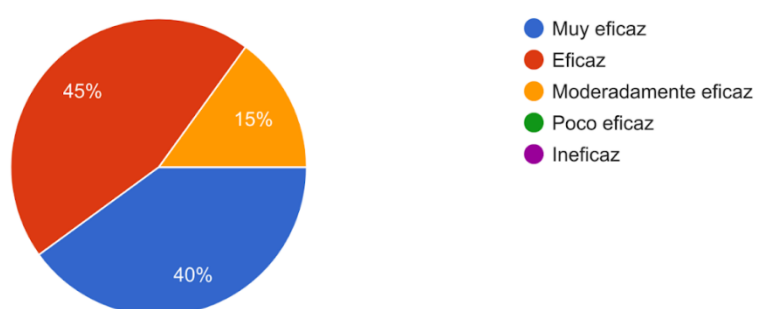
En términos de eficacia, el 85% de los encuestados consideró que los bacteriófagos son eficaces en condiciones *in vitro*, donde el ambiente controlado favorece su acción. Esta percepción

disminuyó en condiciones *in vivo*, donde factores ambientales como la radiación UV y la temperatura pueden limitar su efectividad.

Figura 13. Eficacia del uso de bacteriófagos para controlar *Ralstonia solanacearum* en condiciones *in vitro*

¿Qué tan eficaz considera el uso de bacteriófagos para controlar *Ralstonia solanacearum* en condiciones *in vitro*?

20 respuestas

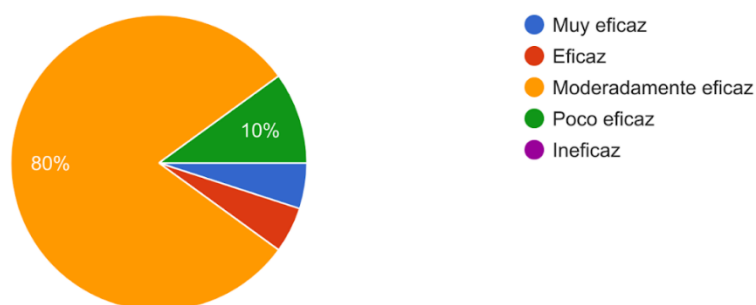


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Figura 14. Eficacia del uso de bacteriófagos para controlar *Ralstonia solanacearum* en condiciones *in vivo*

¿Y en condiciones *in vivo* (en campo)?

20 respuestas

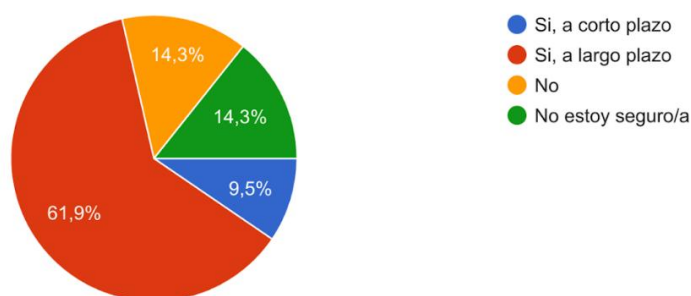


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Respecto a la posibilidad de generar resistencia contra *Ralstonia solanacearum*, el 61.9% opinó que esto podría ocurrir a largo plazo, destacando la importancia de combinarlos con otras prácticas, lo cual fue respaldado por el 100% de los encuestados. Las estrategias más mencionadas incluyen la mejora de prácticas de manejo agrícola (81%) y uso de agentes biocontroladores (52.4%).

Figura 15. Resistencia de bacteriófagos en *Ralstonia solanacearum*

¿Considera que los bacteriófagos podrían generar resistencia en *Ralstonia solanacearum*?
21 respuestas

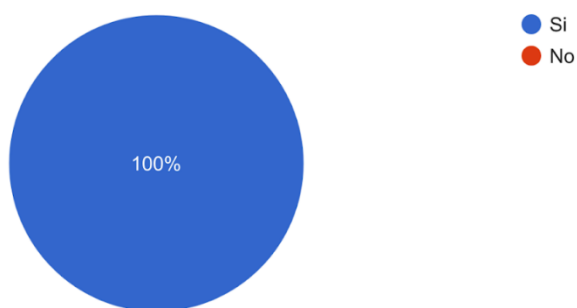


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Figura 16. *Uso combinado de bacteriófagos con otras prácticas de control*

¿Cree que el uso de bacteriófagos debería combinarse con otras prácticas de control del moko bacteriano?

21 respuestas

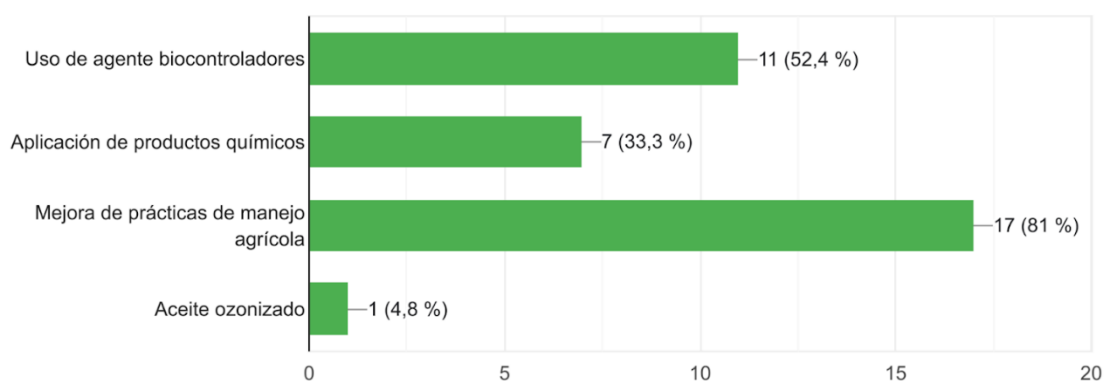


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Figura 17. *Prácticas recomendadas para combinar el uso de bacteriófagos*

Si respondió "Sí", ¿con qué prácticas recomendaría combinarlos?

21 respuestas



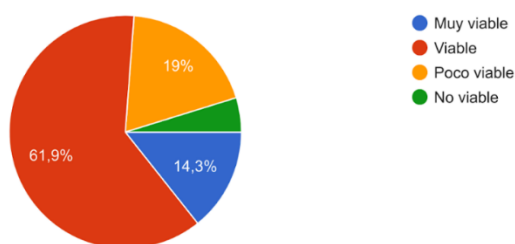
Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Desde una perspectiva económica, el 61.9% calificó la implementación de bacteriófagos como “viable” y el 9.5% como “poco viable”. Los factores limitantes más señalados fueron la

estabilidad de los fagos en el ambiente (76.2%), los costos de producción (52.4%) y la disponibilidad de cepas específicas (47.6%), además de regulaciones locales y la resistencia de productores a nuevas tecnologías.

Figura 18. Viabilidad de la implementación de bacteriófagos en cultivos de banano

¿Qué tan viable considera la implementación de bacteriófagos en cultivos comerciales de banano desde una perspectiva económica?
21 respuestas

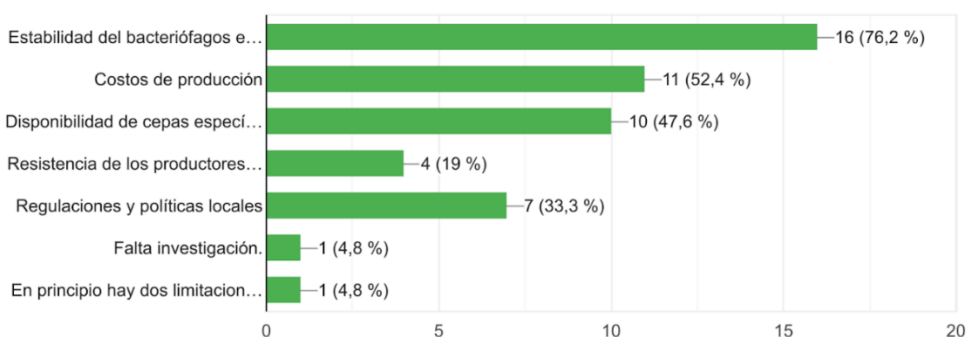


Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Figura 19. Limitaciones del uso de bacteriófagos en el campo

¿Qué factores considera que limitan el uso de bacteriófagos en el campo? (Seleccione todas las que apliquen)

21 respuestas



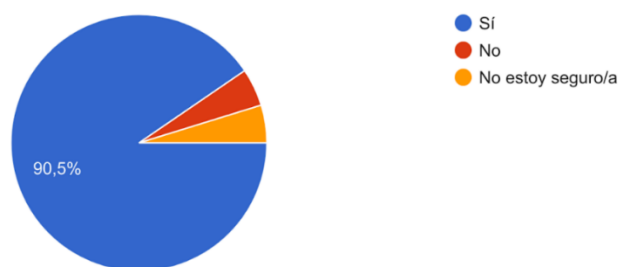
Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

Finalmente, el 90.5% coincidió en que los bacteriófagos son una alternativa ambientalmente amigable. Además de reducir la dependencia de agroquímicos, los encuestados destacaron su potencial para mejorar la estabilidad agrícola y beneficiar a las comunidades productoras de banano a reducir pérdidas.

Figura 20. *Uso de bacteriófagos como alternativa ambientalmente amigable*

¿Considera que el uso de bacteriófagos es una alternativa ambientalmente amigable para el control del moko bacteriano?

21 respuestas



Nota: Ilustración creada por encuestas de google por los autores, 2025

5. Discusiones

Los resultados obtenidos en este estudio destacan el potencial de bacteriófagos como agentes de biocontrol para *Ralstonia solanacearum* en cultivos de banano. Los fagos identificados demostraron una alta especificidad hacia el patógeno. Este enfoque es relevante para la agricultura sostenible, donde se busca minimizar el uso de agroquímicos tradicionales debido a su impacto ambiental y al desarrollo de resistencia bacteriana.

Según (Ramírez et al., 2020), las familias de bacteriófagos que más eficiencia han demostrado contra *R. solanacearum* son *Podoviridae*, *Myoviridae* e *Inoviridae*. Estas familias sobresalen debido a su especificidad, estabilidad ambiental y diversidad de mecanismos de acción que las convierte en herramientas prometedoras para el biocontrol de enfermedades bacterianas en cultivos agrícolas.

A pesar de los resultados que muestran la eficacia de los fagos son positivos, existen desafíos importantes. Uno de los principales es la sensibilidad de los fagos a factores ambientales como la radiación UV, las altas temperaturas y los cambios en el pH. Esto destaca la necesidad de desarrollar formulaciones que protejan a los fagos en condiciones adversos. La integración de bacteriófagos en enfoques como el Manejo Integrado de Plagas (MIP), combinando prácticas culturales y controles biológicos, pueden maximizar su eficacia y facilitar su adopción por parte de los agricultores (Terrones et al., 2024).

Finalmente, se ha evidenciado la necesidad de investigaciones a largo plazo que evalúen la eficacia de los bacteriófagos en condiciones de campo y su impacto económico en diferentes escalas de producción agrícola. Aunque el desarrollo inicial de esta tecnología implica costos elevados, su potencial para reducir la dependencia de agroquímicos y minimizar pérdidas por enfermedades sugiere que representan una solución sostenible a largo plazo (Siyanbola et al., 2024).

6. Conclusiones

El presente estudio ha permitido una recopilación detallada sobre el uso de bacteriófagos para el control de *Ralstonia solanacearum*. A través de un análisis de la literatura y la recopilación de opiniones de especialistas en el tema, se identificaron bacteriófagos que demostraron eficacia en la inhibición de la bacteria. Entre los más destacados, se encuentran fagos de las familias *Podoviridae*, *Myoviridae* e *Inoviridae*, que presentaron estabilidad en diferentes condiciones ambientales y una significativa reducción de la enfermedad en ensayos de laboratorio e invernadero.

La mayoría de los bacteriófagos reportados utilizados contra *Ralstonia solanacearum* siguieron un ciclo de infección lítico provocando lisis bacteriana a excepción de uno que siguió un ciclo lisogénico, modificando la virulencia del patógeno e inhibiendo la multiplicación bacteriana. Destacando que los fagos líticos son ideales para aplicaciones inmediatas y los fagos lisogénicos son más adecuados para estrategias a largo plazo.

Se evidenció que los fagos tienen ventajas importantes frente a los métodos de control tradicionales, como agroquímicos. Sin embargo, enfrentan desafíos a factores como la radiación UV, en este caso se habla de la sugerencia del uso de cócteles de fagos para que sean más estables a diferentes factores. También resalta la necesidad de combinarlo con estrategias que protejan la estabilidad de los fagos en condiciones de campo.

7. Recomendaciones

Es recomendable que las futuras investigaciones lleven a cabo ensayos a nivel de campo para evaluar la eficacia de los bacteriófagos en entornos agrícolas reales. Esto permitirá determinar la estabilidad de los fagos, su persistencia en la rizosfera y su compatibilidad con diversos factores ambientales.

Para maximizar su efectividad, se sugiere incluir el uso de bacteriófagos en un enfoque de manejo integrado de plagas (MIP), combinándolo con buenas prácticas de manejo agrícola.

A pesar de la evidencia sobre la eficacia de los bacteriófagos en el control del moko bacteriano, existe un vacío en la literatura sobre su impacto económico en la producción agrícola. Se recomienda realizar estudios de costo-beneficio que analicen la viabilidad económica de su implementación.

Se recomienda evaluar la combinación de diferentes fagos en cócteles para minimizar la aparición de resistencia bacteriana, esta estrategia resalta la importancia de enfoques integrados dentro del manejo sostenible de plagas.

Es importante que se establezcan normativas claras sobre la aplicación de bacteriófagos en cultivos agrícolas para garantizar su uso seguro y controlado. Se sugiere promover la difusión de información sobre el uso de bacteriófagos entre agricultores para facilitar su adopción y mejorar su efectividad en campo.

8. Referencias

Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2022). Enfermedades Papa - INIA. <https://enfermedadespapa.inia.cl/marchitezBacteriana.php>

Addy, H., Askora, A., Kawasaki, T., Fujie, M., & Yamada, T. (2012). Utilization of Filamentous Phage ϕ RSM3 to Control Bacterial Wilt Caused by *Ralstonia solanacearum*. *Plant Disease*, 96(8), 1204-1209. <https://doi.org/10.1094/pdis-12-11-1023-re>

Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario. (2015). Plan de acción para el control de *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Edición No.2). *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador*. <https://aportecivico.gobiernoelectronico.gob.ec/system/documents/attachments/000/000/067/original/8ef3c2a34a1e9ce32d61a0d5ab9a948768080335.pdf>

AGROCALIDAD. (2022). *Ralstonia solanacearum* race 2 (Smith 1896) Yabuuchi et al. 1996. *Agrocalidad*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/foc51.pdf>

AGROCALIDAD. (2022). Resolución 0105. Manual técnico de procedimientos para el registro y control de agentes de control biológico, extractos vegetales, preparados minerales y semioquímicos. *Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario*. <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2024/11/Resolucion-105-Procedimiento-para-la-emision-de-requisitos-fitosanitarios-especiales-para-la-importacion-de-material-vegetal-de-propagacion-con-fines-de-investigacion.pdf>

Akhtar, H., Usman, M., Binyamin, R., Hameed, A., Arshad, S. F., Khan, I. A., . . . Shahid, M. (2024). Traditional Strategies and Cutting-Edge Technologies Used for Plant Disease Management: A Comprehensive Overview. *Agronomy*, 14(9), 2175. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092175>

Álvarez, B., Gadea-Pallás, L., Rodríguez, A., Vicedo, B., Figás-Segura, Á., & Biosca, E. G. (2022). Viability, Stability and Biocontrol Activity in Planta of Specific *Ralstonia solanacearum* Bacteriophages after Their Conservation Prior to Commercialization and Use. *Viruses*, 14(2), 183. <https://doi.org/10.3390/v14020183>

Álvarez, B., López, M. M., & Biosca, E. G. (2019). Biocontrol of the Major Plant Pathogen *Ralstonia solanacearum* in Irrigation Water and Host Plants by Novel Waterborne Lytic Bacteriophages. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02813>

Banana Production by Country 2024. (16 de Diciembre de 2024). *World Population Review*. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/banana-production-by-country>

Banco Central del Ecuador. (2024). Reporte de exportaciones no petroleras de Ecuador – Primer semestre 2024. <https://www.bce.fin.ec>

Bencomo, O. B., & Suazo, V. G. (2021). Behaviour of quality indicators in banana cultivation, in El Oro province, Ecuador. *Deleted Journal*, 4, 202-209. <https://doi.org/10.62452/bmyd7q32>

Blomme, G., Dita, M., Jacobsen, K. S., Vicente, L. P., Molina, A., Ocimati, W., . . . Prior, P. (2017). Bacterial Diseases of Bananas and Enset: Current State of Knowledge and Integrated Approaches Toward Sustainable Management. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01290>

Buitrago, J. L., Penagos, D. C., & Arias, D. G. (2021). Fago-terapia: alternativa a la problemática de la multiresistencia microbiana. *Microciencia*, 10, 19-45.

De Souza-Pollo, A., & De Goes, A. (2020). Banana Pathology and Diseases. *Wiley*, 45-59.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2016). Enfermedades y plagas de plátano (*Musa paradisiaca*) y el banano (*Musa acuminata*) en Colombia. *Boletín Mensual Insumos Y Factores Asociados A La Producción Agropecuaria*(51). https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_sep_2016.pdf

Dey, P., & Sen, S. K. (2023). A review on solanaceous plant diseases caused by *Ralstonia Solanacearum* having serious economic impact. *Plant Archives*, 23(2). <https://doi.org/10.51470/plantarchives.2023.v23.no2.072>

Drenth, A., & Kema, G. (2021). The vulnerability of bananas to globally emerging disease threats. *Phytopathology*, 111(12), 2146-2161. <https://doi.org/10.1094/phyto-07-20-0311-rvw>

Ecuador. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2020). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-espac 2019. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf

Eden-Green, S. J. (2018). Moko Bacterial Wilt and Bugtok. *Handbook of Diseases of Banana, Abaca and Enset*, 314.

Evans, E. A., Ballen, F. H., & Siddiq, M. (2020). Banana production, global trade, consumption trends, postharvest handling, and processing. In *Handbook of Banana Production, Postharvest Science, Processing Technology, And Nutrition*, 1-18. <https://doi.org/10.1002/9781119528265.ch1>

Haq, I. U., Sarwar, M. K., Faraz, A., & Latif, M. Z. (2020). Synthetic Chemicals: Major Component of Plant Disease Management. *Sustainability in plant and crop protection*, 53-81. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35955-3_4

Hernández-Romano, J., Mastache-Estrada, L. A., Molina-Sánchez, D. A., Serrano-Plancarte, R., Peña-Barrera, C., Chávez-Bejar, M. I., . . . Lecona-Valera, A. N. (2019). Estabilidad y capacidad inhibitoria del bacteriófago ϕ RSP, agente potencial para el biocontrol de *Ralstonia solanacearum*. *Revista fitotecnica mexicana*, 42(1), 13-19.

INSAI. (2018). Programa de detección, prevención y control de la enfermedad "Marchitez bacteriana" causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* (Smith.) Yabuchi, para la República Bolivariana de Venezuela. *Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral/Dirección de Salud Vegetal Integral*. https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/ve3-2018-58ral-sol_es.pdf

INTAGRI. (2018). Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura. *Requerimientos de Clima y Suelos para el Cultivo de Banano*(Series Frutales Núm.33). <https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano>

Jiménez, J., & Gallego, M. (2022). Bacteriófagos más allá de la fagoterapia: Aplicaciones para el control bacteriano en la clínica, la industria y el ambiente. *Hechos Microbiológicos*, 13, 20-36. <https://doi.org/10.17533/udea.hm.v13n1a03>

Jose, J., Éva, C., Bozsó, Z., Hamow, K. Á., Fekete, Z., Fabián, A., . . . Sági, L. (2023). Global transcriptome and targeted metabolite analyses of roots reveal different defence mechanisms against *Ralstonia solanacearum* infection in two resistant potato cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1065419>

Kawasaki, T., Endo, H., Ogata, H., Chatchawankanphanich, O., & Yamada, T. (2021). The complete genomic sequence of the novel myovirus RP13 infecting *Ralstonia solanacearum*, the causative agent of bacterial wilt. *Archives of Virology*, 166(2), 651-654. <https://doi.org/10.1007/s00705-020-04893-z>

LASSOUDIERE A. (2010). L'histoire du bananier, Editions Quae, France.

León-Serrano, L. A., Matailo-Pinta, A. M., Romero-Ramón, A. A., & Portalanza-Chavarría, C. A. (2020). Ecuador: producción de banano, café y cacao por zonas y su impacto económico 2013-2016. *Revista Científica UISRAEL*, 7(3), 97-114. <https://doi.org/10.35290/rcui.v7n3.2020.324>

Lin, Z., Gu, G., Chen, C., Zhou, T., Hu, F., & Cai, X. (2023). Characterization and complete genome sequence analysis of the novel phage RPZH3 infecting *Ralstonia solanacearum*. *Archives of Virology*, 168(4). <https://doi.org/10.1007/s00705-023-05737-2>

Llagostera Casas, M. (2016). La encapsulación: una mejora en terapia fágica oral. *Divulga UAB - Revista de difusión de la investigación de la Universidad*. <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/la-encapsulacion-una-mejora-en-terapia-fagica-oral-1345680342040.html?noticiaid=1345702851125#:~:text=La%20terapia%20oral%20con%20bacteri%C3%B3fagos,causadas%20por%20diferentes%20pat%C3%B3genos%20bacterianos.>

Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., . . . Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614-629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>

Mariuxi, D. V., & Oton, B. M. (2024). Revisión integral de los aspectos más importantes causados por *Ralstonia solanacearum* en músaceas. *Polo del Conocimiento*, 9(10), 570-630.

Mendez, J. (2015). Infografo. *Departamento de Agricultura, Guayaquil*. https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

Nawaz, A., Zafar, S., Shahzadi, M., Bukhari, S. M., Khan, N., Shah, A. A., . . . Khan, S. (2023). Bacteriophages: an overview of the control strategies against phytopathogens. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-023-00751-7>

Ninkuu, V., Yan, J., Fu, Z., Yang, T., Ziemah, J., Ullrich, M. S., . . . Zeng, H. (2022). Lignin and Its Pathway-Associated Phytoalexins Modulate Plant Defense against Fungi. *Journal of Fungi*, 9(1), 52. <https://doi.org/10.3390/jof9010052>

Obrador-Sánchez, J. A., Tzec-Simá, M., Canto-Canché, B., & Higuera-Ciapara, I. (2017). Técnicas para el aislamiento, identificación y caracterización molecular de cepas de *Ralstonia solanacearum* relacionadas a Moko del plátano. *Revista mexicana de fitopatología(en línea)/Revista mexicana de fitopatología*, 35(3). <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1705-1>

Oecd. (2010). Section 2 - Bananas and plantains (*Musa* spp.). *Harmonisation of regulatory oversight in biotechnology*, 84-146. <https://doi.org/10.1787/9789264096158-6-en>

Pardo, J. M., López-Alvarez, D., Ceballos, G., Alvarez, E., & Cuellar, W. J. (2019). Detection of *Ralstonia solanacearum* phylotype II, Race 2 causing Moko disease and validation of genetic resistance observed in the hybrid plantain FHIA-21. *Tropical Plant Pathology*, 44(4), 371-379. <https://doi.org/10.1007/s40858-019-00282-3>

Probojati, R. T., Listyorini, D., Sulisetijono, S., & Wahyudi, D. (2021). Phylogeny and estimated genetic divergence times of banana cultivars (*Musa* spp.) from Java Island by maturase K (matK) genes. *Bulletin of the National Research Centre/Bulletin of the National Research Center*, 45(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00492-3>

Ralstonia solanacearum (RALSSL)[World Distribution]| EPPO Global Database. (s.f.). <https://gd.eppo.int/taxon/RALSSL/distribution>

Ramírez, M., Neuman, B. W., & Ramírez, C. A. (2020). Bacteriophages as promising agents for the biological control of Moko disease (*Ralstonia solanacearum*) of banana. *Biological Control*, 104238. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104238>

Ramos-Veintimilla, M., Zambrano-Gavilanes, F., Solís-Hidalgo, K., Garcés-Fiallos, F., Arce, V. Q., & Sánchez-Urdaneta, A. (2024). Biological control of *Ralstonia solanacearum* and its effect on the vegetative growth of organic banana. *Revista De La Facultad De Agronomía*, 41(2). [https://doi.org/10.47280/revfacagron\(luz\).v42.n2.06](https://doi.org/10.47280/revfacagron(luz).v42.n2.06)

Rueda-Puente, E. O., Hernández-Montiel, L. G., Holguín-Peña, R. J., Franciso, H., López, E. J., Huez Lopez, M. A., & Ortega-García, J. (2014). *Ralstonia solanacearum*: Una enfermedad bacteriana de importancia cuarentenaria en el cultivo de *Solanum tuberosum* L. *Rev. INVURNUS*, 9(1), 24-36.

Sabri, M., Benkirane, R., Habbadi, K., Sadik, S., Ou-Zine, M., Diouri, M., & Achbani, E. H. (2021). Phages as a potential biocontrol of phyto bacteria. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 54(17-18), 1277–1291. <https://doi.org/10.1080/03235408.2021.1902033>

Saúco, V. G. (1992). Los frutales tropicales en los subtrópicos: II. Plátano (banano). *Mundi-Prensa*.

Schulz, P., Pajdak-Czaus, J., & Siwicki, A. K. (2022). In Vivo Bacteriophages' Application for the Prevention and Therapy of Aquaculture Animals—Chosen Aspects. *Animals*, 12(10), 1233. <https://doi.org/10.3390/ani12101233>

Serrano, L. A., Sisalima, M. F., Velásquez, N. A., & Pineda, Y. L. (2020). Ecuador: Análisis comparativo de las exportaciones de banano orgánico y convencional e incidencia en la Balanza Comercial, 2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(2), 38-46. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i2.521>

Siyanbola, K. F., Ejiohuo, O., Ade-Adekunle, O. A., Adekunle, F., Onyeaka, H., Furr, C.-L., . . . Oladipo, E. K. (2024). Bacteriophages: Sustainable and effective solution for climate-resilient agriculture. *Deleted Journal*. <https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae025>

Svircev, A., Roach, D., & Castle, A. (2018). Framing the Future with Bacteriophages in Agriculture. *Viruses*, 10(5), 218. <https://doi.org/10.3390/v10050218>

Tang, Y., Zhou, M., Yang, C., Liu, R., Du, H., & Ma, M. (2024). Advances in isolated phages that affect *Ralstonia solanacearum* and their application in the biocontrol of bacterial wilt in plants. *Letters in Applied Microbiology*, 77(4). <https://doi.org/10.1093/lambio/ovae037>

Terrones, R. A., Aguilar, E. E., Solís, G. A., Sánchez, M. I., & Enríquez, G. R. (2024). El uso de bacteriófagos para el control de enfermedades en la agricultura: un caso de estudio para el desarrollo de un biobactericida. *Ciencia y Sociedad*, 2, 2.

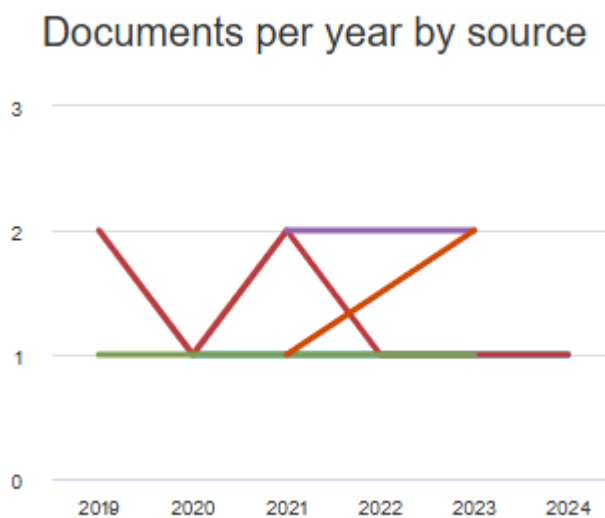
Umrao, P. D., Kumar, V., & Kaistha, S. D. (2021). Biocontrol potential of bacteriophage ϕ sp1 against bacterial wilt-causing *Ralstonia solanacearum* in Solanaceae crops. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00408-3>

Velasco, R. G., Garza-Manero, S. P., Pastelín-Palacios, R., & Moreno-Eutimio, M. A. (2024). Bacteriófagos: los virus que se emplearán como agentes terapéuticos de las infecciones ocasionadas por bacterias multirresistentes a los antimicrobianos. *Educación Química*, 35(3), 140-149. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.86725>

Wang, Y., Chantreau, M., Sibout, R., & Hawkins, S. (2013). Plant cell wall lignification and monolignol metabolism. *Frontiers in Plant Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00220>

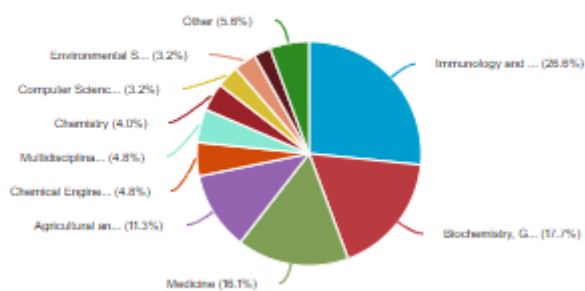
9. Anexos

Anexo 1. Información por año de base de datos.



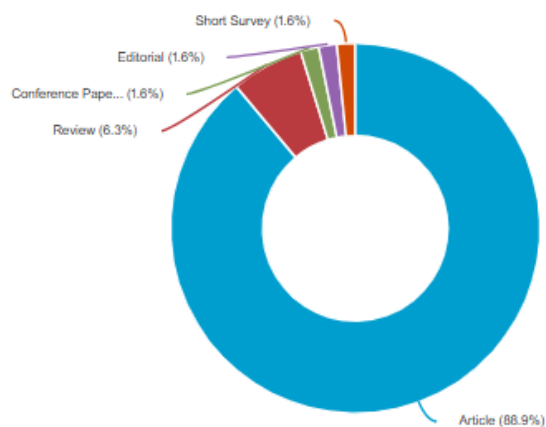
Anexo 2. Selección de documentos por área

Documents by subject area



Anexo 3. Tipo de documento

Documents by type



Anexo 4. Documento por país

Documents by country/territory

