



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**ESCUELA DE POSGRADO “ING. JACOBO BUCARAM
ORTIZ, PHD”**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGROECOLOGÍA Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN AGROECOLOGÍA Y
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**REVISIÓN INTEGRAL DE LOS ASPECTOS MÁS
IMPORTANTES CAUSADOS POR *Ralstonia solanacearum*
EN MUSÁCEAS**

ING. WENDY MARIUXI DELGADO VEINTIMILLA

GUAYAQUIL, ECUADOR

2025

ESCUELA DE POSGRADO “ING. JACOBO BUCARAM ORTIZ, PHD”

CERTIFICACIÓN

El suscrito, Docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de director **CERTIFICO QUE:** he revisado el Trabajo de Titulación, denominada: **Revisión integral de los aspectos más importantes causados por *Ralstonia solanacearum* en musáceas**, el mismo que ha sido elaborado y presentado por la estudiante, **Ing. Wendy Mariuxi Delgado Veintimilla**; quien cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador para este tipo de estudios.

Atentamente,



Ing. Arnaldo Barreto Macías, Mgs.

Guayaquil, 17 de junio de 2025

**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
ESCUELA DE POSGRADO “ING. JACOBO BUCARAM
ORTIZ, PHD”**

TEMA

**REVISIÓN INTEGRAL DE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES
CAUSADOS POR *Ralstonia solanacearum* EN MUSÁCEAS**

AUTOR

ING. WENDY MARIUXI DELGADO VEINTIMILLA

TRABAJO DE TITULACIÓN

**APROBADA Y PRESENTADA AL CONSEJO DE POSTGRADO
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN AGROECOLOGIA Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**Ing. César Morán Castro, PhD.
PRESIDENTE**

**Ing. Mariela Carrera Maridueña, PhD.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Tany Burgos Herrería, Mgs.
EXAMINADOR PRINCIPAL**



**Arnaldo Oton
Barreto Macías**
Time Stamping
Security Data

**Ing. Arnaldo Barreto Macías, Mgs.
EXAMINADOR SUPLENTE**

AGRADECIMIENTO

A Dios Padre Todopoderoso, por haberme dado la vida, la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar este objetivo. Por guiar cada uno de mis pasos y brindarme consuelo en los momentos de dificultad. Sin Su gracia y misericordia, este logro no habría sido posible.

A mi familia, pilar fundamental en mi vida, por su amor incondicional, apoyo constante y palabras de aliento en cada etapa de este camino. A mis padres, por sus sacrificios, enseñanzas y fe en mí; y a cada uno de mis seres queridos, por estar siempre presentes, incluso en silencio, con su compañía y oración.

Gracias a ustedes, este sueño hoy es una realidad.

DEDICATORIA

A mis abuelitos, quienes con su ejemplo y cariño me inculcaron el amor por el campo, enseñándome a valorar la tierra, el trabajo honesto y la sabiduría que brota de la naturaleza. Este logro también es fruto de sus raíces profundas en mi vida.

A mi esposo, por su amor, paciencia y constante apoyo en cada etapa de este camino. Gracias por creer en mí y sostenerme cuando más lo necesité.

A mis hijos, fuente de inspiración y motivo de cada uno de mis esfuerzos. Este logro es también para ustedes, como ejemplo de que los sueños se alcanzan con dedicación y fe.

Con todo mi amor, para ustedes.

RESPONSABILIDAD

La responsabilidad, derecho de la investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones que aparecen en el presente Trabajo de Titulación corresponden exclusivamente al Autor y los derechos académicos otorgados a la Universidad Agraria del Ecuador.



Ing. Wendy Mariuxi Delgado Veintimilla
C.I. 0924351026

REVISIÓN INTEGRAL DE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES CAUSADOS POR *Ralstonia solanacearum* EN MUSÁCEAS

Delgado Veintimilla Wendy Mariuxi
**INVESTIGADOR ESTUDIANTE DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD AGRARIA
DEL ECUADOR**

Barreto Macías Arnaldo Oton
INVESTIGADOR UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

Resumen

La enfermedad del moko es causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2, que afecta principalmente al cultivo de musáceas como el plátano y la banana. Ha sido observada en diferentes partes del mundo, incluyendo Colombia, Ecuador, entre otros, donde se ha registrado desde 1954. Diversos estudios han mostrado un alto nivel de variación, en países sudamericanos, especialmente en la región bananera de Ecuador. Para el estudio de dicha enfermedad ha sido empleado técnicas de laboratorio como es el uso de marcadores moleculares como AFLP's y RAPD's, que han revelado altos índices de diversidad genética en la población de *R. solanacearum*. La distribución de los diferentes fenotipos de *R. solanacearum* en Martinica también está relacionada con la especie de planta hospedera. Sin embargo, en estudios de inoculación realizados en plátanos Cavendish y plátano no se observó la enfermedad del moko, ni ningún síntoma externo, después de ser inoculadas con diferentes cepas de *R. solanacearum*. Estos resultados sugieren que algunas variedades de musáceas pueden ser tolerantes a la bacteria causante de la enfermedad. El genoma de *R. solanacearum* raza 2 responsable del Moko ha sido secuenciado y se han realizado estudios genómicos para comprender mejor las características moleculares de esta bacteria.

Enfermedad, Marcadores moleculares, Bacteria, Patógeno, Ralstonia.

Abstract

Moko disease is a bacterial disease caused by the bacterium *Ralstonia solanacearum* race 2, which mainly affects the cultivation of musaceae such as banana and. This disease has been observed in different parts of the world, including Colombia, Ecuador, among others, where it has been recorded since 1954. Several studies have shown a high level of variation of this bacterium in South American countries, especially in the banana-growing region of Ecuador. For the study of this disease, laboratory techniques such as the use of molecular markers like AFLP's and RAPD's have been employed, which have revealed high rates of genetic diversity in the population of *R. solanacearum* associated with Moko disease. The distribution of the different phytotypes of *Ralstonia solanacearum* in Martinique is also related to the host plant species. However, in inoculation studies conducted on Cavendish and plantain bananas, neither Moko disease nor any external symptoms of the disease were observed after inoculation with different strains of *R. solanacearum*. These results suggest that some varieties of musaceae may be resistant to the disease-causing bacterium. The genome of *Ralstonia solanacearum* race 2 responsible for Moko disease has been sequenced and genomic studies have been conducted to better understand the molecular characteristics of this bacterium.

Keywords: Disease, Molecular markers, Bacteria, Pathogen, *Ralstonia*.

INTRODUCCIÓN

La bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2, afecta gravemente la producción de musáceas como el plátano y la banana, las plantas afectadas muestran síntomas como amarillamiento y marchitez de las hojas más antiguas, necrosis y colapso de las plantas, la pulpa de las frutas se descolora, lo que ocasiona pérdidas comerciales significativas (Ramírez, 2020).

La historia de la enfermedad del moko provocada por *R. Solanacearum*, se remonta en el descubrimiento en los cultivos de plátano en Asia a finales del siglo XIX. Desde entonces, ha causado estragos en las plantaciones de musáceas en varias regiones del mundo, lo que ha llevado a importantes esfuerzos de investigación y control (Yan *et al.*, 2022). Para un control efectivo ha sido un desafío continuo para la industria agrícola, a lo largo de la historia, se han implementado diversas estrategias, como la esterilización del suelo, el uso de variedades tolerantes y la mejora de prácticas de bioseguridad. A pesar de estos esfuerzos, la enfermedad sigue siendo una amenaza significativa para la producción agrícola (Saquicela *et al.*, 2023).

Enfermedad tiene un impacto significativo en la agricultura, particularmente en las plantaciones de banano y heliconia, las plantas se marchitan, lo que conduce a su muerte, esto afecta al rendimiento y la calidad de los frutos. Dando lugar, que estos cultivos agrícolas presenten importantes pérdidas económicas para los países productores de banano, agravando más esta situación, es su rápida propagación en las plantaciones (Wagar *et al.*, 2022), con implicaciones negativas para el comercio agrícola, muchos países imponen restricciones a la importación de productos agrícolas procedentes de regiones afectadas por esta afectación fitosanitaria. A su vez, tiene repercusiones en la economía de los países productores de banana y plátanos, limitando la disponibilidad de estos productos en el mercado internacional (Yousefvand *et al.*, 2023). La prevención y el control son esenciales para minimizar el impacto en la agricultura, lo que incluye prácticas de gestión adecuadas, como la selección de variedades resistentes, el control de malas hierbas y plagas que puedan debilitar las plantas y facilitar la entrada de la bacteria, la aplicación de medidas de bioseguridad, como la desinfección de herramientas y equipos agrícolas para evitar la propagación de la misma, de un lugar a otro (Chen *et al.*, 2022). Por otra parte, es necesario concienciar y educar a los agricultores y trabajadores agrícolas sobre los síntomas que presenta este patógeno y las mejores prácticas dentro de las parcelas

de producción para su efectiva prevención. La detección precoz y la respuesta rápida a los casos sospechosos pueden ayudar a contener la propagación de la enfermedad y minimizar su impacto en las plantaciones (Saquicela *et al.*, 2023).

En las últimas décadas, la colaboración entre científicos, agricultores y organismos gubernamentales ha sido fundamental para desarrollar enfoques integrados de manejo de enfermedades. La comprensión de la epidemiología y la biología de la bacteria *R. Solanacearum* causante del moko ha allanado el camino para la implementación de medidas preventivas más efectivas y el desarrollo de variedades de cultivos más resistentes (Tahir *et al.*, 2023). La conciencia pública sobre la importancia de la bioseguridad y la gestión integrada de plagas ha aumentado, lo que ha llevado a una mayor adopción de prácticas sostenibles en las plantaciones. A medida que la historia del patógeno que provoca esta enfermedad agresiva en los cultivos de musáceas continúa evolucionando, el compromiso con la investigación, la educación y la implementación efectiva de estrategias de control sigue siendo crucial para proteger la agricultura y garantizar la seguridad alimentaria a nivel mundial (Torrealba *et al.*, 2023).

En el Ecuador *R. Solanacearum* ha sido detectada en varias regiones productoras de banano, concentraciones particulares en ciertas zonas (Ramos, 2023). Entre ellas se pueden mencionar según su afectación; Los Ríos, El Oro, Guayas y Manabí, donde se ha observado una alta incidencia de la enfermedad. Así también, otras provincias en las que se ha detectado, como: Esmeraldas, Cotopaxi, Santo Domingo, Sucumbíos y Bolívar. La identificación y mapeo de estas regiones afectadas se ha tomado como prioridad para comprender la distribución de la enfermedad y orientar las acciones correspondientes a un control más sistematizado para mitigar el problema fitosanitario, dado que el sector productivo ha enfrentado problemas severos, por causas de las condiciones ambientales, cambios en el comportamiento climático, otro de los factores agravantes es la densidad de los cultivos, indebidas prácticas de manejo cultural y mal uso de sistemas de riego que ayuda a la movilidad de la bacteria (Malek *et al.*, 2023). Como medida de prevención, se da mediante la implementación de prácticas de bioseguridad hasta la focalización de programas de capacitación hacia los pequeños y medianos productores bananeros que son los más afectados por esta enfermedad. La pérdida de plantas afectadas por la enfermedad, junto con el costo asociado a las medidas de control, representa un desafío económico para los

productores de banano (Vera *et al.*, 2024).

En respuesta a estos desafíos, se ha promovido la adopción de enfoques integrados para el manejo de la enfermedad. Esto incluyen la combinación de estrategias de resistencia genética, prácticas de manejo del suelo, capacitación de agricultores y la implementación de políticas centradas en la bioseguridad (Montero, 2020). La resistencia genética sigue siendo una de las herramientas más efectivas para reducir la vulnerabilidad de las plantas de banano frente al problema que ocasiona *R. Solanacearum* (Valencia *et al.*, 2014). Las continuas investigaciones y desarrollo de variedades de banano tolerantes al patógeno son fundamentales para fortalecer la capacidad de las plantaciones y mitigar los daños de esta enfermedad. Así también, las prácticas de manejo del suelo, como la adecuada gestión de la humedad y la implementación de sistemas de rotación de cultivos, ayudan a reducir la presencia de la bacteria en el entorno de cultivo, contribuyendo a la prevención de la propagación de la enfermedad.

Como objetivos de la presente investigación se estima realizar una recopilación de los datos obtenidos por un sinnúmero de investigaciones respecto a los efectos causados por la bacteria *R. solanacearum* raza 2 sobre musáceas, así como datos de mecanismo de investigación, control de los signos y síntomas causados por la enfermedad, entre otros.

DESARROLLO

Identificación

El agente causal de la enfermedad del moko fue descrito por primera vez por Edwin F. Smith en 1896, dando a conocer al patógeno como *Ralstonia Solanacearum* raza 2 Smith o su sinonimia como *Pseudonomas solanacearum* (Smith 1896) Smith 1914 (Álvarez, 2013).

Enfoques de gestión de la enfermedad

Según lo descrito por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad) (2023), en el Ecuador la superficie sembrada del cultivo de banano está en 172.653 ha (ESPAC,2022), esta actividad bananera representa el 18.1 % de las exportaciones no petroleras (Banco Central del Ecuador, 2021). Se asienta, que el sector bananero representa 2% PIB total y 35% PIB agrícola con 7 millones de toneladas exportadas a 95 países, (Banco Central del Ecuador, 2022).

R. solanacearum es considerado un patógeno bacteriano devastador responsable de

causar la enfermedad conocida como marchitez bacteriana en una amplia gama de cultivos de importancia económica, entre los que se incluyen plantas solanáceas como el tomate, la patata, el pimiento, berenjena entre otras (González *et al.*, 2009). La infección provocada por *SR. solanacearum raza 2 en musáceas* puede presentar diversos síntomas en la planta, decoloración vascular se vuelve marrón o negro (Arévalo, 2020). Otro síntoma notable es la presencia de exudado bacteriano, viscoso de color marrón blanquecino, que puede observarse en los tallos infectados o en las superficies cortadas a medida que la enfermedad progresa (Hernández, 2020).

Saquicel *et al.* (2023) lograron observar una alta relación entre la temperatura y el patógeno, las poblaciones bacterianas disminuyen, en temperaturas menores a 4°C, en cambio en temperaturas de 20°C ya aumenta el crecimiento bacteriano, pero la temperatura óptima para el desarrollo del patógeno oscila entre los 30°C y 35°C con un rango de pH de 6,5 a 8,5.

Es importante que los agricultores y cultivadores estén atentos a estos síntomas, la detección precoz y las estrategias de gestión adecuadas son cruciales para minimizar la propagación del agente causal de la enfermedad en entornos agrícolas. Una vez identificada la infección por *R. solanacearum* en las plantas, es crucial aplicar estrategias de manejo para evitar una mayor propagación y minimizar las pérdidas de cosechas (Sánchez *et al.*, 2021).

Síntomas de la enfermedad

Los síntomas de *R. solanacearum raza 2*, en cultivos de banano y plátano son diversos, afectando todos los órganos de la planta. Ramírez (2020) describe que los signos y síntomas son más evidentes en la hoja bandera para posteriormente distribuirse por toda la planta ocasionando amarillamiento en los tejidos y necrosis en los bordes de las hojas. Las hojas se doblan y permanecen adheridas a la planta, estas lesiones contaminan al hijuelo quienes presentan los mismos síntomas (Ramírez, 2020; Urango, 2021; Ojea, 2023; Morales *et al.*, 2020).

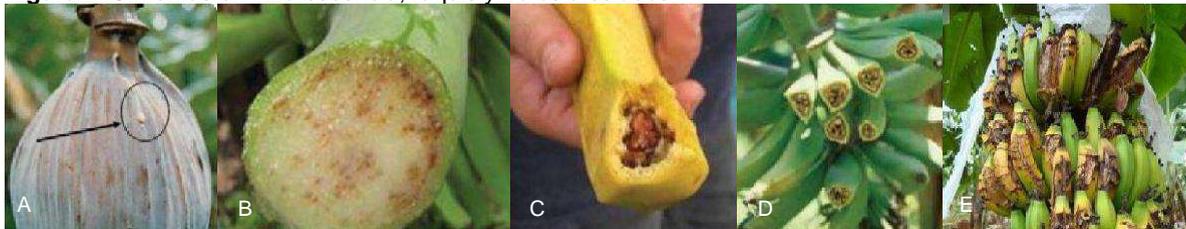
Figura 1: Efectos de *Ralstonia solanacearum* en hojas.



Fuente: SENASICA, 2019. A) Clorosis y necrosis de hoja bandera (Unillanos, 2016); B) Necrosis en margen de las hojas; C) Hijuelos infectados primero adquieren una tonalidad amarillenta y posteriormente se caen (Liberato *et al.*, 2006); D) Hojas dobladas que permanecen adheridas a la planta, marchitez gradual del follaje. (Liberato *et al.*, 2006).

Otros síntomas característicos que presenta, son los exudados bacterianos tanto en la inflorescencia como en el raquis. Por otro lado, los frutos se tornan deformes con cascarras agrietadas y maduración prematura. En la parte interna, se destruyen los tejidos finalizando con pudrición seca de la pulpa (Mejía, 2021; Armas, 2021; Constante, 2022).

Figura 2: Síntomas en inflorescencia, raquis y frutos afectados.



Fuente: SENASICA, 2019. A) Exudados bacterianos en brácteas (Vázquez, 2012); B) Corte transversal del raquis con puntos marrones (Álvarez *et al.*, 2013); C) necrosis interna de la fruta; D) Frutos necrosados con moko; E) Madurez prematura de los frutos (Alcaldía de Pereira, 2016).

El pseudotallo presenta oscurecimiento, necrosis y obstrucción vascular (Liberato *et al.*, 2006; Álvarez *et al.*, 2023; Martínez, 2014; Unillanos, 2016).

Figura 3: Síntomas en el pseudotallo.



Fuente: SENASICA, 2019. A), B), C), D) Corte transversal del pseudotallo, oscurecimiento vascular (Álvarez *et al.*, 2013; Liberato *et al.*, 2006)

Manejo clave fitosanitario:

Una vez detectadas las plantas infectadas, es esencial poner en cuarentena las zonas afectadas para evitar la propagación de la enfermedad. Arias (2021) manifiesta que las plantas infectadas deben retirarse y destruirse cuidadosamente para evitar contaminar los cultivos sanos. Caiza (2021) explica que *R. solanacearum* raza 2

puede persistir en el suelo y el agua. Es importante prácticas adecuadas de riego, teniendo en consideración que el patógeno prospera en condiciones de encharcamiento, también, el saneamiento del suelo para que esté libre del agente patógeno y poder reactivar los lotes con nuevos trasplantes con el uso de variedades tolerantes como estrategia eficaz a largo plazo para reducir el riesgo de futuras infecciones.

Valencia *et al.* (2014) realizaron investigaciones en diferentes variedades de plátanos y banano sobre la resistencia del agente causal de la enfermedad del moko, tabla 1.

Tabla 1: Resistencia de distintas variedades de Plátano a *Ralstonia solanacearum* raza 2

No	Genoma	Genotipos	Resistencia
1	AAB	África 1	Susceptible
2	AABAB	FHIA-21	Susceptible
3	ABB	Fougamou	Resistencia Intermedia
4	ABB	Cachaco	Resistencia Intermedia
5	AAB	Dominico Hartón	Susceptible
6	ABB	Cole Mula	Susceptible
7	AAB	Cubano Blanco	Susceptible
8	AAB	Dominico 500	Susceptible
9	AAB	Dominico Común	Susceptible
10	AAB	Kelong	Susceptible
11	AAB	Hartón Enano	Susceptible
12	AAB	Maqueño	Resistencia Intermedia
13	AAB	Mareño	Resistencia Intermedia
14	ABB	Pelipita	Resistente
15	AAB	Pisang Ceylan	Resistencia Intermedia
16	AAB	Maritú	Resistencia Intermedia
17	AAB	Red Yade	Susceptible
18	ABB	Saba	Resistencia Intermedia
19	AAB	Manzano	Susceptible

Así mismo evaluaron diferentes variedades genotípicas en banano obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2: Resistencia de distintas variedades de Banano a *R. solanacearum* raza 2 Smith

No	Genoma	Genotipos	Resistencia
1	AAA	Cavendish Giant	Susceptible
2	AAAaa	Igitsiri (Intintu)	Susceptibilidad intermedia
3	AAA	Cavendish Williams	Susceptible
4	AAAA	FHIA-17	Resistencia Intermedia
5	AAAB	FHIA-18	Susceptible
6	AABB	FHIA-03	Susceptible
7	AAAB	FHIA-01	Susceptible
8	AAA	Cavendish Gran Enano	Susceptible

9	AAA	Gross Michel	Susceptible
10	AA	Pisang Mas (Sedita)	Susceptible
11	AAA	Primitivo	Susceptible
12	AAAaa	Nakitengwa	Susceptible
13	AA	Sedita	Resistente
14	AAA	Yangambi Km 5	Resistente
15	AAAaa	Guíneo	Susceptible

Agentes de control biológico

El uso de agentes de control biológico puede antagonizar con el patógeno, estos organismos beneficiosos ayudan a reducir la propagación de *R. solanacearum* y contribuir a un microbioma del suelo más saludable. Ceballos *et al.* (2014), establecen que el uso o empleo de antagonistas biológicos como es el caso del género *Trichoderma* son alternativas viables para el control del moko en musáceas, controlando hasta en un 60%. Así también, describe Bedor (2023), que los microorganismos pertenecientes a los géneros *Bacillus spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Actinomicetos spp.*, *Beauveria spp.*, *Penicillium spp.*, *Metarhizium spp.* y *Trichoderma spp.* logran una disminución de la enfermedad de hasta un 50% a un plazo promedio mínimo de 1 año.

Saneamiento e higiene

Las prácticas de medidas de saneamiento estrictas en el campo durante la manipulación de los cultivos ayudan a minimizar el potencial de propagación de la enfermedad. Las herramientas y el equipo deben limpiarse y desinfectarse con regularidad (Marin *et al.*, 2024; Delgado *et al.*, 2016). Además de diferentes tipos de actividades para el manejo de *R. solanacearum* mediante el muestreo cuya finalidad es determinar los focos de infección, la toma de muestras y aislamiento del área afectada.

Figura 4: Estrategias de manejo de la enfermedad en cultivos de plátano



Fuente: Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias (INIAP), 2016. A) Demarcación de zonas en cuarentena en fincas afectadas por Moko; B) Eliminación de hijuelo mediante la inyección de glifosato 480 (izq.); desinfección de calzado en Lavapiés con desinfectante (der.); C) Trampa para control de picudo negro.

Rotación de cultivos

La aplicación de un plan de rotación de cultivos puede ayudar a romper el ciclo de la enfermedad y reducir la acumulación de poblaciones de patógenos en el suelo o alternando con cultivos de plantas no hospedantes, con estas estrategias los agricultores pueden interrumpir la continuidad de *R. solanacearum* y minimizar su impacto en las plantaciones posteriores (Tariq *et al.*, 2022).

Gestión de nutrientes

Mantener una fertilidad equilibrada del suelo y unos niveles adecuados de nutrientes es esencial para promover la salud de las plantas y potenciar sus mecanismos naturales de defensa. Una nutrición adecuada puede mejorar la resistencia general de los cultivos frente a las infecciones bacterianas, incluidas las causadas por *R. solanacearum* (Lozano *et al.*, 2024).

Gestión integrada de plagas

La adopción de un enfoque de gestión integrada de plagas que combine diversas tácticas de control, como métodos culturales, biológicos y químicos, puede contribuir a una estrategia global para mitigar el impacto de esta enfermedad fitopatógena y, al mismo tiempo, minimizar los efectos adversos sobre el medio ambiente y los organismos no objetivo (Torres *et al.*, 2013).

Tecnologías de detección precoz

Invertir en herramientas y tecnologías de diagnóstico avanzadas para la detección de la enfermedad, proporciona la información para una intervención rápida y una gestión específica (Agudelo *et al.*, 2019).

Investigación y colaboración

La participación en actividades de investigación en curso y en asociaciones de colaboración con instituciones y expertos agrícolas puede conducir al desarrollo de nuevos métodos de investigación.

Aspectos importantes para considerar

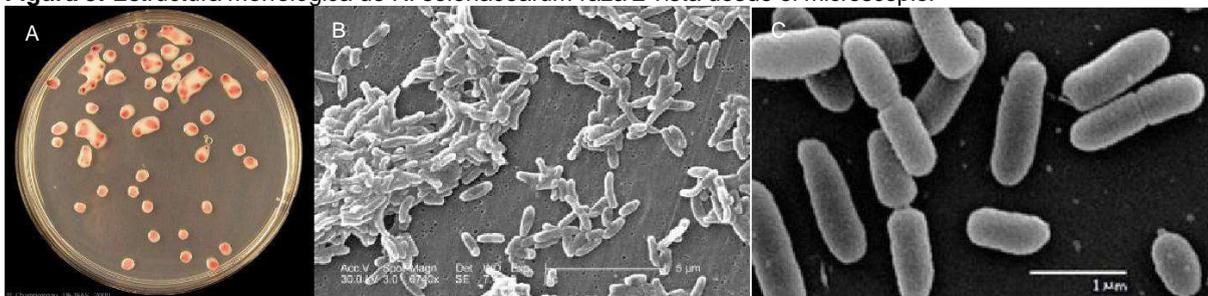
Aguirre *et al.* (2023) establecen que en su estructura *R. solanacearum* raza 2 presenta forma de bastoncillos con tamaños que oscilan entre 0.5 a 0.7 micrones, constituidos por 4 flagelos polares, convirtiéndose en una de las bacterias gram negativas de mayor importancia económica para el sector bananero, siendo que estas infectan el sistema vascular de las plantas por medio de lesiones en el sistema radicular causadas por vectores. Según García (2019), *R. solanacearum*, presenta dos tipos de colonias entre las cuales es posible mencionar una de color blanco que es virulenta y color rojo

oscuro que son colonias no virulentas presentando un alto grado de afectación en cultivos de plátanos, a estos factores se suman el uso inadecuado de material de siembra causando fallas en la práctica de desinfección de tejidos y a su vez diseminando la enfermedad (Pardo *et al.*, 2019). Asimismo, ha quedado demostrado que muchas malezas pueden ser hospedantes alternativos de la bacteria, al actuar como un puente para el patógeno (Mosquera *et al.*, 2023). Otros vectores de transmisión señalados son los insectos y las herramientas de poda contaminadas. Se conoce que, ante las pruebas bioquímicas, las reacciones que experimenta cada organismo bacteriano son diferentes, por lo que se reconocen sus resultados como la “huella digital” de las bacterias, al basarse en la reacción de las enzimas (Jaimes, 2010).

Factores que afectan el crecimiento de la bacteria

Antes de observar los efectos que causan, un crecimiento o decrecimiento en los aislados de la bacteria en un cultivo *in vitro*, se debe tomar en cuenta otros factores que puede influir en la presencia o ausencia de este patógeno, tales como las propiedades químicas del suelo y/o las condiciones del medio ambiente en donde crece la bacteria (Dita, 2014).

Figura 5: Estructura morfológica de *R. solanacearum* raza 2 vista desde el microscopio.



Fuente: Plant Path, Pixio, ResearchGate. A) Colonias individuales virulentas (mucoides, de color rosa) de *R. solanacearum* en medio de cultivo de agar TZC (Champoiseau, 2008); B) Noble, 2006; C) Imágenes de la cepa UY031 de *Ralstonia solanacearum* obtenidas mediante microscopía de barrido (Guarisch *et al.*, 2016).

Toma de muestras

El tejido vegetal muestreado deberá presentar síntomas de marchitamiento, para el debido muestreo las partes estructurales del pseudotallo con presencia de haces vasculares de coloración café-rojiza se toman a una altura de 80 centímetros, extrayendo una porción rectangular de este con la ayuda de un cuchillo según lo descrito por Delgado *et al.* (2021). Las muestras de tejido recolectadas son depositadas en fundas plásticas, para posteriormente ser transportadas a un laboratorio y llevar a cabo el respectivo análisis. Para evaluar el suelo y determinar que

hay presencia del patógeno, se debe emplear la siguiente metodología: las muestras se toman alrededor de las plantas que presenten los síntomas típicos de la bacteria. Para ello es necesario eliminar la capa superficial del suelo (5 cm) y se toma un aproximado de 10 gramos de muestra de suelo en cuatro puntos diferentes, en un radio de 1 m, y se colocan todas estas muestras dentro de una sola funda plástica estéril etiquetada para ser identificada y trasladada al laboratorio (Vera *et al.*, 2021).

CONCLUSIONES

La revisión de los aspectos más importantes de *R. solanacearum* raza 2 en musáceas revela la complejidad y gravedad de esta enfermedad en la agricultura tropical, especialmente en cultivos de banano y plátano. Esta bacteria destaca por su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, su capacidad para sobrevivir en suelo, agua y en diferentes hospedantes durante largos periodos, convirtiéndose en un patógeno particularmente difícil de erradicar. Las estrategias de control deben integrarse con prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la dependencia de productos químicos, contribuyan a la preservación del medio ambiente y fortalezcan los ecosistemas locales.

R. solanacearum en musáceas requiere un enfoque multidimensional, que combine investigación avanzada, innovación en manejo agronómico, y cooperación internacional. Mediante el desarrollo de soluciones sostenibles y la implementación de estrategias de control efectivas, es posible que se reduzca significativamente el impacto de esta enfermedad.

Es crucial que las investigaciones científicas continúen en mejorar las estrategias de control y manejo, siendo este patógeno una enfermedad que amenaza la producción de musáceas a nivel mundial, que solo a través de un enfoque integral que combine el conocimiento biológico, ambiental y económico, podrá mitigar el impacto de esta devastadora enfermedad en el futuro cercano.

RECOMENDACIONES

A pesar de los avances en la comprensión de la enfermedad y las estrategias para su control, la lucha contra *R. solanacearum* está lejos de terminar. La capacidad de la bacteria para mutar y adaptarse a nuevas condiciones dificulta el desarrollo de soluciones definitivas. En este contexto, la investigación futura debe centrarse en:

El desarrollo de tecnologías de diagnóstico precoz que permitan detectar la presencia de la bacteria antes de que se propaguen los síntomas.

La implementación de técnicas agrícolas sostenibles que disminuyan la dependencia de agroquímicos. La identificación de cepas bacterianas con mayor capacidad de biocontrol.

Seguir invirtiendo en investigaciones para desarrollar tecnologías más eficientes, como el diagnóstico temprano de la infección y la identificación de nuevas estrategias biológicas para combatir la bacteria.

Las organizaciones internacionales, gobiernos y centros de investigación deben coordinarse para implementar políticas comunes, compartir investigaciones y tecnologías, y apoyar a las regiones más afectadas por la enfermedad.

Desarrollar redes de monitoreo y respuesta rápida para que sea una herramienta eficaz para mitigar los efectos de *R. solanacearum* raza 2.

Durante la temporada de lluvias ante cualquier sospecha de moko, notificar inmediatamente a las autoridades fitosanitarias para activar el plan de acción, reforzar el monitoreo, que sea constante, para prevenir la propagación. Además, que se priorice el mantenimiento de canales de riego y drenaje, asegurando que estén libres de residuos vegetales y, control de las malezas hospedantes para reducir fuentes de inóculo.

Estas acciones están alineadas con las directrices establecidas por Agrocalidad en su "Plan de Acción para el Control de *Ralstonia solanacearum* Raza 2".

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (Agrocalidad) (2023). Acciones para prevenir el ingreso de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Raza 4 tropical (Foc R4T). Gob.ec. https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/Boletin-anual-FocR4T-2023.-AB-JUL_11.3-1-1.pdf
- Agudelo, J., y Florez, V. (2019). *El moko (Ralstonia solanacearum) en plátano y banano: incidencia y medidas alternativas de control en el contexto colombiano*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30207/vcflorezm.pdf?sequence=3>
- Aguirre, J., Gómez, L. M., Arteaga, R., Ireta-Moreno, J., y Ruvalcaba, J. (2023). Una mirada hacia las bacterias que promueven el crecimiento de las plantas. *Plantas*, 12(8). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37111891/>
- Álvarez, (2013). Ficha técnica *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Smith, 1896) Moko del plátano. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/746658/FICHA_T_CNICA_MOKO.pdf
- Álvarez, E., Pantoja, A., Gañan, L., y Ceballos, G. (2015). Estado del arte y opciones de manejo del Moko del plátano y Sigatoka negra en América Latina y el Caribe. (CGIAR, Productor) <https://alliancebioiversityciat.org/publications-data/estado-del-arte-y-opciones-de-manejo-del-moko-y-la-sigatoka-negra-en-america>
- Arévalo, J. (2020). Supervisión del manejo integrado del moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2. Smith) en la finca bananera “El Antojo”, Apartadó-Antioquía. Universidad de Cordova. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/c886149f-0bf4-4d18-b0c6-9911f28d0840>

- Armas, J. (2021). Acompañamiento en el manejo agronómico y la ejecución de labores culturales del cultivo de banano (*Musa AAA Simmonds*) del grupo. *Empresarial Banaexport*. Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/f4b71a3c-8e0c-407f-bac5-7062eab5623c>
- Bedor, C. (2023). Evaluación de microorganismos antagonistas para el control in vitro de *Ralstonia solanacearum*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- Caiza, C. (2021). Evaluación de la acción de biocontroladores de cepas de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma spp* e *Hidrolato de ciprés* frente a la *Ralstonia solanacearum* en plántulas de *Eucalyptus urograndis* en la Hacienda San Fernando, propiedad de NOVOPAN del Ecuador S. A. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/f3916d6b-3fa8-481d-aa6d-3203823953db>
- Ceballos, G., Alvarez, E., y Bolaños, M. (2014). Reducción de poblaciones de *Ralstonia solanacearum* raza 2 (Smith) en plátano (Musa AAB Simmonds), con aplicación de extractos de *Trichoderma sp.* (*Alexopoulus* y *Mims*) y bacterias antagonistas. *Acta Agronómica*, 63(1), 80-87. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122014000100011
- Chen, K., Zhuang, Y., Wang, L., Li, M., y Zhuang, W. (2022). Análisis exhaustivo de la secuencia del genoma del devastador fitopatógeno bacteriano del tabaco *Ralstonia solanacearum* cepa FJ1003. *Frontiers in Genetics*, 13(1). <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2022.966092/full>
- Constante, P. (2022). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para la detección temprana de moko (*Ralstonia solanacearum*) en cultivos de banano y plátano mediante el procesamiento de imágenes. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).

<https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/33761>

Delgado, R., Lahuate, B., Delgado, J., Peñaherrera, L., y Arias, M. (2016). Plan de acción para el manejo, control y erradicación del moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en plátano. *Revista Técnica de INIAP*. https://www.researchgate.net/publication/343567596_Plan_de_Accion_para_el_Manejo_Control_y_Erradicacion_del_Moko_Ralstonia_solanacearum_raza_2_en_platano

Delgado, R., y Sanchez, M. (2021). *Ralstonia solanacearum* en el cultivo de plátano en el Ecuador. *Universidad Técnica de Babahoyo*. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10306>

Dita, M. (2014). La marchitez por Fusarium de las musáceas: Historia, síntomas, importancia económica, estado actual de la raza Tropical 4 y acciones regionales para la prevención de su entrada en las Américas. *INDIAP*, 1 - 30. https://www.fao.org/fileadmin/templates/banana/documents/02_M_Dita_Taller_Changuinola_2014_a.pdf

García, R. (2019). Complejo de especies de *Ralstonia solanacearum*: una guía de diagnóstico rápido. *Key Discoveres*, 2(1). <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHP-04-18-0015-DG>

González, I., Arias, Y., y Peteira, B. (2009). Interacción planta-bacterias fitopatógenas: caso de estudio *Ralstonia solanacearum*- plantas hospedantes. *Revista de protección vegetal*, 24(2), 69-80. http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1010-27522009000200001

Hernández, F. (2020). *Ralstonia solanacearum* en cultivos en invernaderos y a campo abierto. *Revista Técnica Agrícola*, 1. <https://www.agro-tecnologia-tropical.com/ralstonia.html>

INIAP. (2014). *Programa Nacional de Banano, Platano y otras Musáceas*. Retrieved 22

de julio de 2024.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3553/1/iniapeetp-PI410>.

Díaz, H. (2010). Desarrollo y validación in silico de un nuevo método para la identificación de bacterias a partir de su huella genómica. Méjico: Intituto Politecnico Nacional.
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7929/Jaimes%20D%C3%ADaz%2C%20Hueman_ENCB_Tesis.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Liberato, J., y Gasparotto, L. (2006). Moko disease of banana. Retrieved 10 de Julio de 2024.
https://www.researchgate.net/publication/305655388_Moko_disease_of_banana_Ralstonia_solanacearum

Lozano, M., y Ramírez, L. (2021). Manejo alternativo de moko (*Ralstonia solanacearum*) en plantación comercial de banano.
<https://www.sidalc.net/search/Record/dig-uearth-cr-UEARTH-232/Description>

Malek, A., Ali, M., Kadir, J., Vadamalai, G., y Saur, H. (2023). *Enterobacter tabaci* y *Bacillus cereus* como agentes de biocontrol contra *Ralstonia solanacearum* patógena de berenjena. Asian Journal of Biotechnology, 20(1).
<https://smujo.id/bbs/article/view/13419>

Marín, J., Botero, V., Zapata, S., y Hoyos, L. (2024). Detección precoz de marchitez bacteriana en banano causada por *Ralstonia solanacearum* mediante espectroscopia de reflectancia. Revista de enfermedades y protección de plantas, 131(1), 523-541.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s41348-023-00830-9>

Mejía, W. (2021). Caracterización de moko en banano causado por *Ralstonia solanacearum* mediante índices de vegetación y dos sensores de percepción remota. Universidad Earth. <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-uearth-cr-UEARTH-206/Description>

- Morales, L., Lidcay, F., y Folgera, M. (2020). Enfermedad bacteriana en plátanos (*Dickeya paradisiaca*): síntomas, epidemiología y elementos de manejo. *Agrisost*, 26(1), 1 - 8. <https://doaj.org/article/168170abb2484ca799ec59ca6369e513>
- Ojeda, A. (2023). Manejo integrado del moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en la finca bananera “Velero”, Carepa-Antioquía. Córdoba, Argentina: Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/219b4425-4cb1-477a-b31e-f864d1396c61>
- Pardo, J., Alvarez, D., Ceballos, G., Álvarez, E., y Cuellar, W. (2019). Detección del filotipo II de *Ralstonia solanacearum*, raza 2 causante de la enfermedad de Moko y validación de la resistencia genética observada en el plátano híbrido FHIA-21. *Tropical and plant pathology*, 44(1), 371-379.
- Pico, J., Suarez, C., Jimenez, J., Paredes, E., Sabando, G., y Andrade, L. (2024). In vitro evaluation of the inhibitory capacity of three *Trichoderma isolates* on *Ralstonia solanacearum*. *Bionatura*, 1. <https://revistabionatura.org/vol-9-no-1-2024-6/>
- Ramírez, A. (2020). Aplicación de buenas prácticas agrícolas en el cultivo de banano (*Musa AAA Cavendish*) en carepa – antioquia. Universidad de Córdoba. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/1c86876c-1518-4bed-b15f-eaa762bd08d2/content>
- Ramírez, P., Moncada, R., Villegas, V., Jackson, R., y Ramírez, C. (2019). Phylogenetic and pathogenic variability of strains of *Ralstonia solanacearum* causing moko disease in Colombia. *Plant Pathology*, 629(2), 360 - 369. <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ppa.13121>
- Ramos, L. (2023). Evaluación del estado nutricional, metabólico y biológico de plantas de *Musa acuminata Colla* (orito) sanas y afectadas por la enfermedad del Moko. *ESPE*. <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8450929a->

- Sánchez, M. (2021). *Ralstonia Solanacearum* en el cultivo de plátano en el Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo. <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/10306>
- Saquicela, P., Romanova, E., Ulloa, S., y Villavicencio, A. (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). http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2477-88502023000100010&lng=es&nrm=iso
- Tahir, Ali, Rajer, Shakeel, G., Binyamin, y Wu. (2023). Transcriptomic analysis of *Ralstonia solanacearum* in response to antibacterial volatiles of *Bacillus velezensis* FZB42. *Archivos de Microbiología*, 205(1), 358. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37878074/>
- Tariq, A., y Sachim, R. (2022). Manejo orgánico de la marchitez o marchitamiento bacteriano del tomate y la papa causada por *Ralstonia solanacearum*. *eOrganic*, 5. <https://eorganic.org/node/35266>
- Torrealba, D., Torres, I., y Mendez, M. (2023). Identificación y caracterización de dos cepas causantes del hereque (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en *musáceas* (AAA) del estado Aragua, Venezuela. *Petroglifos Revista critica trasndisciplinar*, 6(2), 1-12. <https://petroglifosrevistacritica.org.ve/revista/identificacion-y-caracterizacion-de-dos-cepas-causantes-del-hereque-ralstonia-solanacearum-raza-2-en-musaceas-aaa-del-estado-aragua-venezuela/>
- Torres, C., Casas, M., y Diaz, J. (2013). Manejo de *Ralstonia Solanacearum* raza 2 a través de productos químicos y biológicos. *Iteckne*, 10(2), 217 - 223. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982013000200009

- Unillanos. (2016). *Contaminación de Moko en plantaciones de plátano*.
<http://problemashistoricospedagogia.blogspot.com/2016/12/contaminacion-de-moko-en-plantaciones>
- Urango. (2021). Seguimiento y evaluación de labores fitosanitarias en el cultivo de banano (*Musa aaa cavendish*) en la empresa banaexport s.a.s carepa – antioquia. Córdoba: Universidad de Córdoba.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/1173701c-0989-4794-9c4b-e0ddae33e3e5>
- Valencia-Vañencia, L., Álvarez- Cabrera, E., y Castaño-Zapata, J. (2014). Resistencia de treinta y cuatro genotipos de plátano (*Mussa ABB*) y banano (*Mussa AAA*) a cinco cepas de *Ralstonia solanacearum* R2 (SMITH). *Agronomía*, 22(3), 1-14.
[http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22\(2\)_3.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/agronomia/downloads/Agronomia22(2)_3.pdf)
- Vera, D., Bustamante, A., Pico, J., Hernández, F., Peñaherrera, S., y Pinargote, J. (2023). Sintomatología y reconocimiento del Moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en musáceas. *INIAP*.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6140>
- Wagar, A., Jung, J., Yuhiao, T., Shazad, Munir, Qi, L., Zhenxiang, Z. (2022). *Ralstonia solanacearum*, un patógeno mortal: Revisión de las prácticas de control biológico de la marchitez bacteriana en el tabaco y otras solanáceas. *Rizosfera*, 21(1).
- Yan, L., Haotian, J., Raza, A., Huang, Y., Depin, G., y Xiaoyun, Z. (2022). WRKY genes provide novel insights into their role against *Ralstonia solanacearum* infection in cultivated peanut (*Arachis hypogaea*L.). *Front plants Science*, 13(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2022.986673>
- Yousefvand, M., Harighi, B., y Azizi, A. (2023). Volatile compounds produced by endophytic bacteria adversely affect the virulence traits of *Ralstonia solanacearum*. *Control biológico*, 178(1).