



Revisión integral de los aspectos más importantes causados por ralstonia solanacearum en musáceas

Comprehensive review of the most important aspects caused by Ralstonia solanacearum in musaceae

Revisão abrangente dos aspetos mais importantes causados por ralstonia solanacearum em musaceae

Delgado Veintimilla Wendy Mariuxi ^I
wmariuxi3004@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0000-5703-6029>

Barreto Macías Arnaldo Oton ^{II}
abarreto@uagraria.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0089-1419>

Correspondencia: wmariuxi3004@hotmail.com

Ciencias de la Salud
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de agosto de 2024 * **Aceptado:** 24 de septiembre de 2024 * **Publicado:** 07 de octubre de 2024

- I. Investigador Estudiante de Posgrado de la Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.
- II. Investigador Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador.

Resumen

La enfermedad del Moko es una enfermedad bacteriana causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2, que afecta principalmente al cultivo de musáceas como el plátano y la banana. Esta enfermedad 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 de esta bacteria 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* asociada a la enfermedad del Moko. La distribución de los diferentes fitotipos de *Ralstonia 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 de la enfermedad, después de ser inoculadas con diferentes cepas de *R. solanacearum*. Estos resultados sugieren que algunas variedades de musáceas pueden ser resistentes a la bacteria causante de la enfermedad. El genoma de *Ralstonia solanacearum* raza 2 responsable de la enfermedad del Moko ha sido secuenciado y se han realizado estudios genómicos para comprender mejor las características moleculares de esta bacteria.

Palabras Clave: 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 plantain and banana. This disease has been observed in different parts of the world, including Colombia, Ecuador, among others, where it has been recorded since 1954. Various studies have shown a high level of variation of this bacterium in South American countries, especially in the banana region of Ecuador. For the study of this disease, laboratory techniques have been used such as the use of molecular markers such as AFLP's and RAPD's, which have revealed high levels 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 on Cavendish banana and plantain, 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 bacteria causing the disease. The genome of *Ralstonia solanacearum* race 2 responsible for Moko disease has been sequenced and genomic studies have been performed to better understand the molecular characteristics of this bacterium.

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

Resumo

A doença de Moko é uma doença bacteriana causada pela bactéria *Ralstonia solanacearum* raça 2, que afeta principalmente culturas de musáceas, como a banana e a bananeira. Esta doença tem sido observada em diferentes partes do mundo, incluindo a Colômbia, o Equador, entre outros, onde está registrada desde 1954. Vários estudos têm mostrado um elevado nível de variação desta bactéria nos países da América do Sul, especialmente na região da banana. Equador. Para estudar esta doença têm sido utilizadas técnicas laboratoriais como a utilização de marcadores moleculares como AFLP's e RAPD's, que revelaram elevadas taxas de diversidade genética na população de *R. solanacearum* associada à doença de Moko. A distribuição dos diferentes fitótipos de *Ralstonia solanacearum* na Martinica está também relacionada com as espécies vegetais hospedeiras. No entanto, em estudos de inoculação realizados em bananas e plátanos Cavendish, nem a doença de Moko nem quaisquer sintomas externos da doença foram observados após terem sido inoculados com diferentes estirpes de *R. solanacearum*. Estes resultados sugerem que algumas variedades de Musaceae podem ser resistentes às bactérias causadoras da doença. O genoma da *Ralstonia solanacearum* raça 2 responsável pela doença de Moko foi sequenciado e foram realizados estudos genómicos para melhor compreender as características moleculares desta bactéria.

Palavras-chave: Doença; Marcadores moleculares; Bactéria; Patógeno; *Ralstonia*.

Introducción

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

La historia de la enfermedad del Moko se remonta a su descubrimiento en los cultivos de plátano en Asia a finales del siglo XIX. Desde entonces, ha causado estragos en las plantaciones de plátano en varias regiones del mundo, lo que ha llevado a importantes esfuerzos de investigación y control (Yan y otros, 2022). El control efectivo de la enfermedad del Moko 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 resistentes y la mejora de prácticas de bioseguridad. A pesar de estos esfuerzos, la enfermedad del Moko sigue siendo una amenaza significativa para la producción agrícola (Saquicela y otros, 2023)

La enfermedad de Moko tiene un impacto significativo en la agricultura, particularmente en las plantaciones de banano y heliconia. La enfermedad hace que las plantas se marchiten, lo que finalmente conduce a su muerte. Además, las bacterias responsables de la enfermedad del moko pueden afectar el rendimiento y la calidad de los frutos. La presencia de la enfermedad Moko en los cultivos agrícolas puede dar lugar a importantes pérdidas económicas para los países productores de banano. La enfermedad también puede propagarse rápidamente en las plantaciones (Wagar y otros, 2022). Además, la presencia de la enfermedad de Moko puede tener implicaciones negativas para el comercio agrícola, ya que muchos países imponen restricciones a la importación de productos agrícolas procedentes de regiones afectadas por esta enfermedad. Estas restricciones pueden afectar negativamente a las economías de los países productores de plátanos, así como limitar la disponibilidad de estos productos en el mercado internacional (Yousefvand y otros, 2023). La prevención y el control de la enfermedad de Moko son esenciales para minimizar su 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, y la aplicación de medidas de bioseguridad, como la desinfección de herramientas y equipos agrícolas para evitar la propagación de la bacteria de un lugar a otro (Chen y otros, 2022). Por otra parte, es necesario concienciar y educar a los agricultores y trabajadores agrícolas sobre los síntomas de la enfermedad de Moko y las mejores prácticas de prevención y control. 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 P. y otros, 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 causante de la enfermedad del Moko ha allanado el camino para la implementación de medidas preventivas más efectivas y el desarrollo de variedades de cultivos más resistentes (Tahir y otros, 2023). Además, 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 de la enfermedad del Moko 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 y otros, 2023).

Entre las zonas afectadas por la enfermedad en el Ecuador, la enfermedad del moko ha sido detectada en varias regiones productoras de banano en el Ecuador, con concentraciones particulares en ciertas zonas (Ramos, 2023). La identificación y mapeo de estas regiones afectadas ha sido una prioridad para comprender la distribución de la enfermedad y orientar las acciones de control y prevención, dado que el sector productivo ha enfrentado problemas por parte de esta enfermedad como causa 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 y otros, 2023) Por otra parte, como medida de prevención es 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 presencia del moko del banano ha impactado diversas áreas del Ecuador, con reportes de la enfermedad en varias provincias productoras de banano. Algunas de las zonas más afectadas incluyen zonas como: Los Ríos, El Oro, Guayas y Manabí, donde se ha observado una alta incidencia de la enfermedad. Los síntomas de este incluyen el marchitamiento de las hojas, el oscurecimiento y descomposición del tallo, la formación de tejido bacteriano en el interior del tallo y la presencia de exudados bacterianos en la superficie de corte. Estos síntomas pueden causar graves daños a las plantas de banano y eventualmente llevar a la muerte de la planta si no se controlan de manera efectiva. Además de los síntomas visibles, la enfermedad del moko puede tener un impacto significativo en la productividad y la rentabilidad de las plantaciones de banano. La pérdida de plantas afectadas por la enfermedad, junto con el costo asociado de implementar medidas de control, representa un desafío económico para los productores de banano (Pico y otros, 2024)

Desarrollo

En respuesta a estos desafíos, se ha promovido la adopción de enfoques integrados para el manejo y control de la enfermedad del moko. Estos enfoques 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 a la enfermedad del moko (Valencia-Vañencia et al., 2014). La continua investigación y desarrollo de variedades de banano resistentes al moko son fundamentales para fortalecer la capacidad de las plantaciones para resistir la bacteria. Además, 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 *Ralstonia solanacearum* raza sobre musáceas, así como datos de mecanismo de investigación y control de los signos y síntomas causados por la enfermedad, entre otros

Enfoques de gestión de la enfermedad

Ralstonia solanacearum es considerado un devastador patógeno bacteriano responsable de causar una 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 y la berenjena (Gonzalez y otros, 2009). La infección de *Ralstonia solanacearum* en las plantas puede presentar diversos síntomas, como el marchitamiento de las hojas, el amarilleamiento del follaje y el retraso del crecimiento general. Además, las plantas afectadas pueden mostrar decoloración vascular, en la que el sistema vascular de la planta se vuelve marrón o negro (Arevalo, 2020). Otro síntoma notable es la presencia de exudado bacteriano, un exudado viscoso de color marrón blanquecino, que puede observarse en los tallos infectados o en las superficies cortadas a medida que la enfermedad progresa, las plantas pueden acabar colapsándose y muriendo (Hernandez, 2020).

Es importante que los agricultores y cultivadores estén atentos a estos síntomas, ya que la detección precoz y las estrategias de gestión adecuadas son cruciales para minimizar la propagación de

Ralstonia solanacearum en entornos agrícolas. Una vez identificada la infección por *Ralstonia solanacearum* en las plantas, es crucial aplicar estrategias de manejo eficaces para evitar una mayor propagación y minimizar las pérdidas de cosechas. (Sanchez, 2021) A continuación, se exponen algunos enfoques de manejo clave:

- Cuarentena y eliminación: Una vez detectadas las plantas infectadas, es esencial poner en cuarentena las zonas afectadas para evitar la propagación de la enfermedad. Las plantas infectadas deben retirarse y destruirse cuidadosamente para evitar contaminar los cultivos sanos. (Arias, 2021)
- Manejo del suelo y el agua: *Ralstonia solanacearum* puede persistir en el suelo y el agua, por lo que son importantes unas prácticas de riego y un saneamiento del suelo adecuados. Evite el riego excesivo, ya que el patógeno prospera en condiciones de encharcamiento. Utilice tierra limpia y libre de patógenos para la replantación (Caiza, 2021).
- Variedades resistentes: La plantación de variedades resistentes puede ser una estrategia eficaz a largo plazo. Investigue y seleccione cultivares resistentes a *Ralstonia solanacearum* para reducir el riesgo de futuras infecciones. Por tal razón (Valencia-Vañencia et al., 2014) en su investigación sobre diferentes variedades de plátanos y banano obtuvieron los siguientes resultados:

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 *Ralstonia solanacearum* raza 2

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:** Considere el uso de agentes de control biológico que puedan antagonizar con el patógeno. Los microbios y organismos beneficiosos pueden ayudar a suprimir *Ralstonia solanacearum* y contribuir a un microbioma del suelo más saludable por tal razón

(Ceballos y otros, 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 pudiendo controlar dicha enfermedad hasta un 60%. Por otra parte, según lo descrito por (Bedor, 2023) 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:** Practicar medidas de saneamiento estrictas en el campo y durante la manipulación de los cultivos para minimizar el potencial de propagación de la enfermedad.



Figura: 1 Estructuras afectadas por *R. solanacearum* raza 2

Las herramientas y el equipo deben limpiarse y desinfectarse con regularidad. (Marin y otros, 2024); (Delgado y otros, 2016). Además de diferentes tipos de actividades para el manejo de *R. solanacearum* mediante el muestreo cuya finalidad es determinar los focos de infección, toma de muestras aislamiento del área afectada



Figura: 2 Estrategias de manejo de la enfermedad en cultivos de plátano

- **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. Alternando cultivos susceptibles con plantas no hospedantes, los agricultores pueden interrumpir

la continuidad de *Ralstonia solanacearum* y minimizar su impacto en las plantaciones posteriores. (Tariq & Sachim, 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 *Ralstonia solanacearum* (Lozano & Ramirez, 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 *Ralstonia solanacearum* y, al mismo tiempo, minimizar los efectos adversos sobre el medio ambiente y los organismos no objetivo. (Torres y otros, 2013)
- **Tecnologías de detección precoz:** Invertir en herramientas y tecnologías de diagnóstico avanzadas para la detección precoz de la enfermedad puede proporcionar información valiosa para una intervención rápida y una gestión específica. La identificación rápida y precisa de *Ralstonia solanacearum* puede permitir a los productores tomar medidas proactivas para contener la propagación del patógeno. (Agudelo & Florez, 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.

Síntomas de la enfermedad

Los síntomas de la enfermedad causada por *Ralstonia solanacearum* en cultivos de banano y plátano son diversos viendo afectados casi todos los órganos que conforman la planta por lo cual se describe lo siguiente: (Ramirez A. , 2020)

Signos y síntomas en hojas: Los signos y síntomas son más evidentes en la hoja bandera para posteriormente distribuirse por toda la planta ocasionando amarillamiento en los tejidos y posterior necrosis en los bordes de las hojas, dichas lesiones infectan a los hijuelos los mismos que presentan un amarillamiento progresivo en el follaje (Morales y otros, 2020). Las hojas se doblan y permanecen adheridas a la planta. Marchitez gradual del follaje. Amarillamiento y marchitez de la hoja bandera hacia hojas más viejas. ((Ramirez y otros, 2020); (Urango, 2021); (Ojeda, 2023))



Figura: 3: Efectos de *Ralstonia solanacearum* sobre hojas en plantas de banano Síntomas en inflorescencia, raquis y frutos: Presencia de exudados bacteriano en bracteas, necrosamiento interno del raquis, frutos necrosados externamente y necrosamiento y destrucción de tejidos internos del fruto, maduración prematura y deforme en frutos, exudados bacterianos en frutos infectados, frutos secos necróticos, deformes con cascaras agrietadas, pudrición seca de la pulpa. (Mejía, 2021); (Armas, 2021); (Constante, 2022)).



Figura: 4: Síntomas en inflorescencia, raquis y frutos afectados

Síntomas en Pseudotallo: entre los síntomas en pseudotallo se tienen oscurecimiento vascular, necrosis vascular, obstrucción vascular entre otros ((Liberato & Gasparotto, 2006)(Alvarez, et al., 2013); (Martinez, 2014); (Unillanos, 2016)).



Figura: 5: Síntomas en l Pseudotallo



Figura: 6: Síntomas en Pseudotallo y raíces

Aspectos importantes para considerar

Según lo descrito por (INIAP, 2014) en nuestro país el cultivo de musáceas representa aproximadamente el 22% de la superficie cultivable plantada, situándose de esta manera como uno de los rubros de mayor importancia para el sector agrícola ecuatoriano, así mismo representa alrededor del 3% del PIB agrícola nacional posicionándose luego del cacao (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), 2022)

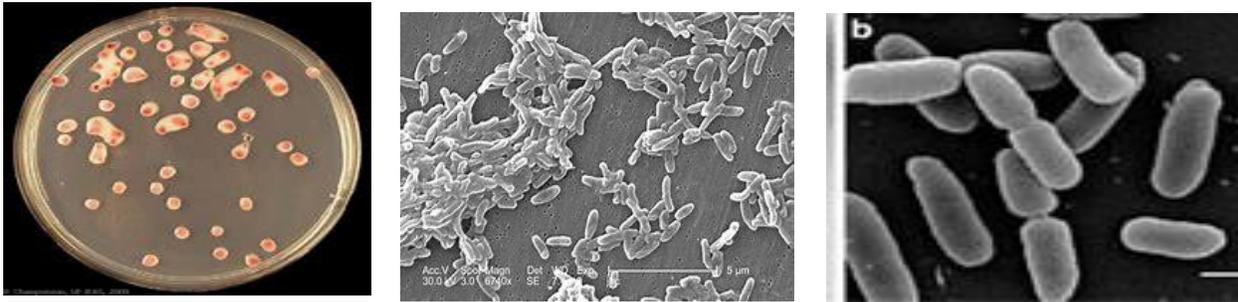


Figura: 7 Estructura morfológica de *R. solanacearum* raza 2 vista desde el microscopio

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 gran 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 y otros, 2019) Asimismo, ha quedado demostrado que muchas malezas pueden ser hospedantes alternativos de la bacteria, al actuar como un puente para el patógeno entre los cultivos (Mosquera y otros, 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)

Toma de muestras

El tejido vegetal muestreado deberá presentar síntomas de marchitamiento, tomando para el debido muestreo partes estructurales del pseudotallo con presencia de haces vasculares de coloración café-rojiza tomadas a una altura de 80 centímetros extrayéndose una porción rectangular de este con la ayuda de un cuchillo según lo descrito por Delgado & Sánchez. (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 si las muestras del suelo albergaban al patógeno se debe emplear la siguiente metodología: las muestras se toman alrededor de las plantas que presentaron 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 colocaron todas estas muestras dentro de una sola funda plástica estéril etiquetada para ser identificada y trasladada al laboratorio (Vera y otros, 2021)

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)

Discusión

A lo largo de los años, los estudios sobre *Ralstonia solanacearum* han revelado información crucial acerca de su biología, mecanismos de infección, impacto en los cultivos y estrategias para mitigar sus efectos. A continuación, se detallan los aspectos más importantes relacionados con esta patógena en musáceas:

1. Biología y Ciclo de Vida de *Ralstonia solanacearum*

La marchitez bacteriana causada por **Ralstonia solanacearum** es una de las enfermedades más complejas debido a la naturaleza altamente adaptativa de la bacteria. Su ciclo de vida le permite sobrevivir en una amplia gama de hospedadores y en diversas condiciones ambientales, lo que complica las estrategias de control. Además, esta bacteria puede persistir en el suelo y en residuos de plantas durante largos períodos, lo que refuerza su capacidad para reinfectar cultivos año tras año.

2. Mecanismos de Infección

La bacteria penetra en las plantas a través de las raíces, invadiendo el sistema vascular de la planta (xilema) y obstruyendo el transporte de agua y nutrientes. Como resultado, las plantas

infectadas presentan síntomas como marchitez y muerte prematura, lo que afecta gravemente la productividad de las musáceas. La rapidez con la que *Ralstonia solanacearum* se propaga dentro de la planta y su capacidad para causar daño en un corto período la convierten en una de las amenazas más difíciles de manejar.

3. Factores Ambientales que Influyen en la Diseminación

Las condiciones ambientales juegan un papel crucial en la diseminación y severidad de la infección por *Ralstonia solanacearum*. Se ha demostrado que su proliferación es más efectiva en climas cálidos y húmedos, típicos de las zonas donde se cultivan musáceas. Además, la alta variabilidad de cepas de la bacteria incrementa su adaptabilidad a distintos entornos, lo que refuerza la importancia de un monitoreo constante.

4. Impacto Económico en las Regiones Productoras

Las pérdidas económicas ocasionadas por la marchitez bacteriana en musáceas son significativas, no solo en términos de reducción del rendimiento del cultivo, sino también en los costos asociados a su manejo y control. En muchas regiones productoras, la infección puede reducir el rendimiento en hasta un 50%, lo que genera graves repercusiones para la seguridad alimentaria y el sustento de las comunidades dependientes de la producción de banano y plátano.

5. Estrategias de Control y Manejo

Controlar y manejar *Ralstonia solanacearum* en plantaciones de musáceas es un desafío constante debido a la diversidad de cepas y su capacidad para sobrevivir en el suelo por largos períodos. Entre las estrategias más efectivas se incluyen:

- Manejo Integrado de Plagas (MIP): Este enfoque combina diversas técnicas de manejo que incluyen prácticas culturales, uso de cultivares resistentes y medidas de saneamiento, como la eliminación de plantas infectadas y la rotación de cultivos.

- Control Biológico: Investigaciones recientes han explorado el uso de antagonistas microbianos y bacteriófagos que puedan reducir la población de *Ralstonia solanacearum* en el suelo.

- Desarrollo de Cultivares Resistentes: El mejoramiento genético ha sido un enfoque clave para desarrollar variedades de musáceas resistentes a la marchitez bacteriana. Sin embargo, el desafío

radica en la diversidad genética de la bacteria, que puede desarrollar nuevas cepas capaces de superar la resistencia de estas variedades.

6. Desafíos y Futuras Investigaciones

A pesar de los avances en la comprensión de la enfermedad y las estrategias para su control, la lucha contra *Ralstonia 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.

Conclusiones

La marchitez bacteriana causada por *Ralstonia solanacearum* sigue siendo una de las principales amenazas para la producción de musáceas a nivel mundial. A medida que se desarrollan nuevas cepas y que las condiciones ambientales cambian, es crucial que las investigaciones científicas continúen enfocándose en mejorar las estrategias de control y manejo. Solo a través de un enfoque integral que combine el conocimiento biológico, ambiental y económico, será posible mitigar el impacto de esta devastadora enfermedad en el futuro cercano.

La revisión de los aspectos más importantes de *Ralstonia solanacearum* en musáceas revela la complejidad y gravedad de esta enfermedad en la agricultura tropical, especialmente en cultivos de banano y plátano. Las conclusiones más relevantes son las siguientes:

Alta Adaptabilidad y Persistencia de *Ralstonia solanacearum*

Esta bacteria destaca por su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales y hospedadores, lo que complica su erradicación. Su capacidad para sobrevivir en el suelo y en restos de plantas durante largos periodos la convierte en un patógeno particularmente difícil de manejar,

especialmente en regiones con climas cálidos y húmedos, donde su propagación es más rápida y efectiva.

Impacto Económico y Social Considerable

Las pérdidas económicas derivadas de la infección por *Ralstonia solanacearum* son devastadoras para las economías locales, especialmente en comunidades altamente dependientes de las musáceas. La reducción del rendimiento de los cultivos, los altos costos de manejo y la pérdida de empleos agrícolas crean un ciclo de pobreza que afecta tanto a los agricultores como a los mercados internacionales. Además, compromete la seguridad alimentaria en muchas regiones productoras.

Limitaciones de las Estrategias de Control Actuales

A pesar de los avances en el manejo integrado de plagas, el control biológico y el desarrollo de variedades resistentes, aún no se han encontrado soluciones definitivas. Las cepas de la bacteria siguen evolucionando, lo que plantea el reto de mantenerse a la vanguardia con nuevas medidas de control. El manejo de *Ralstonia solanacearum* requiere una combinación de enfoques que deben ser adaptados a las condiciones locales y a la variabilidad de las cepas bacterianas.

Necesidad de Innovación en la Investigación Científica

Es esencial seguir invirtiendo en investigación para desarrollar tecnologías más eficientes, como el diagnóstico temprano de la infección y la identificación de nuevas estrategias biológicas para combatir la bacteria. El avance en la biotecnología puede proporcionar herramientas clave para mejorar el control, como el uso de microorganismos antagonistas o la edición genética para fortalecer la resistencia de las plantas.

Importancia del Enfoque Sostenible

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. El manejo de suelos, la rotación de cultivos y el uso responsable de recursos son factores clave para minimizar el impacto de la enfermedad y evitar su propagación.

Colaboración Internacional para Combatir la Enfermedad

La naturaleza transfronteriza de la producción de musáceas hace que la colaboración internacional sea indispensable. 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. El desarrollo de redes de monitoreo y respuesta rápida puede ser una herramienta eficaz para mitigar los efectos de *Ralstonia solanacearum*.

En resumen, abordar la problemática de *Ralstonia solanacearum* en musáceas requiere un enfoque multidimensional, que combine investigación avanzada, innovación en manejo agronómico, y cooperación internacional. La erradicación completa puede no ser factible a corto plazo, pero mediante el desarrollo de soluciones sostenibles y la implementación de estrategias de control efectivas, es posible reducir significativamente el impacto de esta enfermedad.

Referencias

- 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).
- Alvarez, 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) Retrieved 15 de JULIO de 2024, from <https://alliancebioversityciat.org/publications-data/estado-del-arte-y-opciones-de-manejo-del-moko-y-la-sigatoka-negra-en-america>
- Arevalo, J. (2020). Supervisión del manejo integrado del moko (*ralstonia solanacearum* raza 2. smith) en la finca bananera “El Antojó”, Apartadó-Antioquía. Universidad de Cordova.
- Arias, A. (2021). Medidas de prevencion y control de *Ralstonia solenacearum* y *fusarium oxisporun* R4T en cultivos de banano. Tesis de grado.

- 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 .
- Bedor, C. (2023). Evaluación de microorganismos antagonistas para el control *in vitro* de *Ralstonia solanacearum*. Sangolquí: 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 Estadal de Quevedo.
- 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. (*Alexopoulos* y Mims) y bacterias antagonistas. *Acta Agronomica*, 63(1), 80-87.
- CESAVENAY. (2022). Campaña contra Moko del plátano. Retrieved 23 de Julio de 2024, from <https://cesavenay.org.mx/campana-contra-moko-del-platano/>
- 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).
- 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. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE).
- Delgado, R., Lahuatte, 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*.
- Delgado, R., y Sanchez, M. (2021). *Ralstonia Solanacearum* en el cultivo de plátano en el Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo.
- 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.
- García, R. (2019). Complejo de especies de *Ralstonia solanacearum*: una guía de diagnóstico rápido. *Key Discoveries*, 2(1).

- Gonzalez, I., Arias, Y., y Peteira, B. (2009). INTERACCIÓN PLANTA-BACTERIAS FITOPATÓGENAS: CASO DE ESTUDIO RALSTONIA SOLANACEARUM-PLANTAS HOSPEDANTES. *Revista de proteccion vegetal*, 24(2), 69-80. http://www.scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1010-27522009000200001
- Hernandez, F. (2020). *Ralstonia solanacearum* en cultivos en invernaderos y a campo abierto. *Revista Tecnica Agricola*, 1.
- INIAP. (2014). Programa Nacional de Banano, Platano y otras Musaceas. Retrieved 22 de julio de 2024 , from Conozca y evite la enfermedad del moko de las musaceas: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3553/1/iniapeetp-PI410.PDF>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2022). Informe de evaluación territorial . INEC.
- Jaimes, ,. (2010). Desarrollo y validacion in silico de un nuevo metodo para la identificacion de bacterias a partir de su huella genomica . Mejico : Intituto Politecnico Nacional .
- Liberato, J., y Gasparotto, L. (2006). Moko disease of banana. Retrieved 10 de Julio de 2024.
- Lozano, M., y Ramirez, L. (2024). Manejo alternativo de moko (*Ralstonia solanacearum*) en plantación comercial de banano. Tesis de grado.
- 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).
- Marin, 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 proteccion de plantas*, 131(1), 523-541. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s41348-023-00830-9>
- Martinez, L. (2014). Bacterial wilt disease of banana. Ficha técnica *Ralstonia solanacearum* raza 2 Moko del plátano. SAGARPA.
- Mejia, W. (2021). Caracterización de moko en banano causado por *Ralstonia solanacearum* mediante índices de vegetación y dos sensores de percepción remota. Universidad Earth.
- Montero, F. (2020). Moko en banano *Ralstonia solanacearum*). Universidad de Costa Rica, 5.
- 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.

- Mosquera, L., Álvarez, D., Ritter, T., Mockshell, J., Vera, D., y Dita, M. (2023). Perfil de la cadena de valor del banano para Ecuador: El mayor exportador del mundo está en riesgo por *Fusarium TR4*. Alliance Biodiversity y CIAT.
- Ojeda, A. (2023). Manejo integrado del moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en la finca bananera “Velero”, Carepa-Antioquía. Córdoba, Argentina : Universidad de Córdoba .
- Pardo, J., Alvarez, D., Ceballos, G., Alvarez, 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.
- Ramirez, A. (2020). APLICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE BANANO (*Musa AAA Cavendish*) EN CAREPA – ANTIOQUIA. Universidad de Córdoba.
- Ramirez, P., Moncada, R., Villegas, V., Jackson, R., y Ramirez, C. (2020). Phylogenetic and pathogenic variability of strains of *Ralstonia solanacearum* causing moko disease in Colombia. *Plant Pathology*, 629(2), 360 - 369.
- 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.
- Sanchez, M. (2021). *Ralstonia Solanacearum* en el cultivo de plátano en el Ecuador. Universidad Técnica de Babahoyo.
- 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).
- Saquicela, Paulina; Romanova, Elena; Guaman, Rocio; Ulloa, Santiago ; Villavicencio, Angel . (2023). *Siembra* , 1-17.
- Tahir, Ali, Rajer, Shakeel, G., Binyamin, y Wu. (2023). . (2023). Análisis transcriptómico de *Ralstonia solanacearum* en respuesta a volátiles antibacterianos de *Bacillus velezensis* FZB42. *Archivos de Microbiología*, 205(1), 358.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Cordoba: Universidad de Cordoba .
- Valencia-Vañencia, L., Alvarez- Cabrera, E., y Castaño-Zapata, J. (2014). Resistencia de treinta y cuatro genotipos de platano (*Mussa* ABB) y banano (*Mussa* AAA) a cinco cepas de *Ralstonia Solenacearum* R2 (SMITH). *Agronomia*, 22(3), 1-14.
- Vera, D., Bustamante, A., Pico, J., Hernandez, F., Peñaherrera, S., y pinargote, J. (2021). Sintomatología y reconocimiento del Moko (*Ralstonia solanacearum* raza 2) en musáceas. INIAP.
- 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). Los compuestos volátiles producidos por bacterias endófitas afectan negativamente a los rasgos de virulencia de *Ralstonia solanacearum*. *Control Biologico*, 178(1).

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).