

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Impacto de *Fusarium odoratissimum* raza 4 en la producción y comercialización del banano (*Musa x paradisiaca*) en Colombia

Impact of *Fusarium odoratissimum* race 4 on production and commercialization of banana (*Musa x paradisiaca*) in Colombia

Sandra Milena García Camacho ¹; Viviana Gaviria-Hernández ¹

¹Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

RESUMEN. El banano es un cultivo estratégico para la seguridad alimentaria en Colombia y constituye uno de los alimentos de importancia a nivel socioeconómico por la oportunidad de generación de empleos, ganancias e ingresos. Sin embargo, hay una diversidad de factores que interfieren en el adecuado proceso de producción y comercialización del fruto; destaca el hongo fitopatógeno *F. odoratissimum* raza 4 (*Foc* R4T), patógeno que afecta clones de banano tipo Cavendish, una de las principales variedades exportadas por Colombia. Actualmente, este hongo genera grandes pérdidas económicas en el sector bananero debido a su agresividad, generando marchitez y la muerte de la planta, agravado por la ausencia de medidas que permitan su control de una manera radical y eficiente. El objetivo de este artículo de revisión se enmarca en el abordaje de cuatro categorías, las cuales permiten establecer la importancia del cultivo del banano en Colombia y los mercados internacionales, el estudio de la patogénesis de *Foc* R4T, los efectos del hongo sobre la cadena productiva y comercial del banano y, finalmente, las principales estrategias de control. Para la elaboración del presente artículo, fue realizada una búsqueda en diversas bases de datos que permitieron realizar una revisión narrativa, descriptiva y cualitativa con el propósito de generar una actualización.

PALABRAS CLAVE: banano, Cavendish, comercialización, *Fusarium*, producción.

ABSTRACT. Banana is a strategic crop for food security in Colombia and is a socio-economically important food source due to its potential to generate jobs, profits, and income. However, a variety of factors interfere in the proper production and marketing process, notably the phytopathogenic fungus *F. odoratissimum* race 4 (*Foc* R4T), a pathogen that affects Cavendish-type banana clones, one of the main varieties exported by Colombia. Currently, this fungus causes great economic losses in the banana sector due to its aggressiveness, generating wilting and death of the plant, compounded by the absence of measures for its radical and efficient control. The objective of this review article focuses on four categories: the importance of banana cultivation in Colombia and international markets, the pathogenesis of *Foc* R4T, its effects on the banana production and commercial chain, and finally, the main control strategies. For the preparation of this article, a search was conducted in various databases to carry out a narrative, descriptive, and qualitative review in order to generate an update.

KEYWORDS: banana, Cavendish, commercialization, *Fusarium*, production.

Para citar este artículo: Milena García, S. & Gaviria-Hernández, V. (2023). Impacto de *Fusarium odoratissimum* raza 4 en la producción y comercialización del banano (*Musa x paradisiaca*) en Colombia. *Ciencias Agropecuarias* 9(1), 19-38. <https://doi.org/10.36436/24223484.366>



Recibido: 20/10/2021 Aceptado: 20/01/2023 Publicado en línea: 30/01/2023

Contacto: Sandra Milena García - smgarciacamacho@ucundinamarca.edu.co

Introducción

El banano es uno de los principales cultivos en la producción y comercialización agraria a nivel mundial. Según datos de la FAO del 2023, se estimó que las exportaciones de banano a nivel mundial alcanzaron aproximadamente 19,3 millones de toneladas, con un aumento del 0.3% en comparación con el año 2022. Adicionalmente, las exportaciones de América Latina y el Caribe disminuyeron en un 1.1 % en el 2023, alcanzando los 14,5 millones de toneladas exportadas (1). La demanda a nivel mundial de banano ha venido presentando un crecimiento considerable debido a que se ha presentado como una importante fuente de ingresos para la economía de los países que producen esta fruta, sumado también a la emergente demanda en el mercado internacional de este producto (2).

Entre los años 2002 a 2021, la producción a nivel global pasó de 84 millones de toneladas a 58 millones de toneladas, reflejando así un decrecimiento (3). En América Latina y el Caribe el 64% de la producción de musáceas son destinadas al consumo interno y el 36% es destinado al mercado internacional, resaltando de esta manera la importancia que tiene en los mercados nacionales e internacionales (4). En esta región, cinco países están entre los diez primeros exportadores de banano en el mundo, entre los cuales se encuentran: Ecuador, Costa Rica, Guatemala, Colombia y República Dominicana (1,3).

A nivel mundial, el cultivo de banano está presente en todas las regiones tropicales y subtropicales, principalmente en Latinoamérica con una participación de 14,5 millones de toneladas, seguido de Asia con 3.9 millones de toneladas y finalmente, África con una participación de 0.7 millones de toneladas en la exportación de bananos (5). Entre los principales países productores y comercializadores de banano, Colombia se encuentra ocupando el duodécimo puesto con una producción de 1.8 % de la producción mundial y el quinto mayor productor en América latina (3). En el ámbito del comercio exterior, Colombia para el año 2022 fue el cuarto mayor exportador de banano (5).

Las características agrícolas en Colombia asociadas a la disponibilidad de vastos recursos naturales, especialmente variedad de suelos, han establecido una ventaja estratégica en el desarrollo productivo de las principales zonas bananeras, ubicadas en los departamentos de Valle del Cauca, Quindío, Antioquia, Cundinamarca, Huila, Chocó y

Nariño (6), los cuales entre 1991 y 2015 concentraron en la exportación agrícola bananera uno de sus principales rubros económicos, con una participación del 17.6% en bananos frescos (7), dando paso a que Colombia ocupe el duodécimo puesto en producción a nivel mundial de esta fruta (3).

La cadena agrícola del banano en Colombia está conformada principalmente por los productores, comercializadores, proveedores de insumos y semillas, empresas exportadoras, centros de investigación, instituciones y universidades que acompañan el proceso, tales como: el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), la Asociación Hortifrutícola de Colombia (ASOHOFRUTCOL), la Secretaría de Agricultura y la Corporación Autónoma Regional (CAR) (8). Estas instituciones son un factor clave que garantiza una cadena productiva idónea, que, en conjunto con condiciones edafoclimáticas adecuadas, han permitido incrementar la producción bananera tipo exportación en Colombia en cerca del 91% de la producción nacional en años de abundancia como el 2019 (9).

En el país se cultivan y comercializan el banano criollo, destinado al consumo propio, y el banano tipo exportación, que corresponde al clon de Cavendish, el cual es considerablemente apetecido en el comercio exterior debido a sus características favorables que suplen la seguridad alimentaria y calidad organoléptica aceptada por los consumidores internacionales (10), lo que conlleva que este producto ocupe a nivel nacional el tercer lugar en exportación (4,11). Para Colombia, la relevancia económica del banano es equiparable a otros renglones de la economía colombiana, debido a que aporta al PIB nacional en conjunto con la producción de café, flores, caña de azúcar, ganado y arroz (4, 11).

Por otra parte, en el país las cadenas exportadoras que intervienen en el proceso de envío del banano a mercados internacionales son: la Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA) y la Asociación de Bananeros del Magdalena (ASBAMA), integrado por productores individuales y agremiados (12, 13) y las compañías comercializadoras como: Unión de Bananeros de Urabá S.A. (UNIBAN), Técnicas Baltime de Colombia S.A. (Técbaco

S.A.), Comercializadora Internacional de banano domiciliada en Santa Marta – Colombia (Banasan S.A) (14). Estos procesos de comercialización abarcan toda la cadena de producción de un cultivo, lo que optimiza parámetros de selección en la cosecha, bajo estándares de calidad y cantidad (15). Debido a esto, los distintos actores involucrados en el proceso del comercio bananero en Colombia han buscado tradicionalmente reducir la pérdida o desperdicios del fruto, con el fin de aumentar sus ganancias e ingresos, lo que aporta a la creación de soberanía alimentaria (16).

Sin embargo, hay una serie de factores adversos que interfieren en estos procesos; entre ellos, los problemas fitosanitarios, son uno de los factores más limitantes para productores y comercializadores de banano, en especial, el marchitamiento del banano o mal de panamá causado por poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (17, 18). A nivel mundial, aproximadamente 135 países se encuentran dedicados a la producción de banano, generando ganancias cercanas a los \$52 mil millones de dólares anuales (19). Esta actividad agrícola denota la importancia económica del cultivo, no solo para los países que se dedican a su producción sino también para la economía a nivel mundial (19). El género *Fusarium* es conocido por causar la marchitez en banano y puede ocasionar pérdidas en el rendimiento de hasta el 100% una vez se establece el hongo en campo, conllevando a una disminución en la producción de frutos y graves pérdidas para los agricultores que se dedican a su producción (19).

Actualmente se conocen cuatro (4) razas tropicales (RT) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) que ocasionan el mal de panamá en plantas del género *Musa*, de las cuales dos pueden afectar clones de banano: la raza tropical 1 (*Foc* R1T) la cual es virulenta principalmente a los clones de banano Silk, Gros Michel, y otros (20), y la raza tropical 4 (*Foc* R4T) o conocida actualmente como *Fusarium odoratissimum*, la cual es considerada la más agresiva de todas debido a que afecta clones de banano del grupo Cavendish, Silk y otros clones de banano y plátano afectados por *Foc* R1T y *Foc* R2T (20).

Foc R4T o *F. odoratissimum*, ha ocasionado pérdidas en la producción de banano desde 1970, siendo que a pocos años de su aparición se reportaron cifras alarmantes de pérdidas en países como Filipinas, donde ocurrió la afectación de alrededor de 15.700

hectáreas de plantaciones de banano, y en China, con pérdidas de hasta el 70% de las plantaciones en las provincias de Guangdong y Hainan (21). En Mozambique, la presencia de este hongo causó enormes pérdidas y daños en al menos 1.500 hectáreas, durante un periodo de 4 años desde que apareció por primera vez (21). Actualmente, *F. odoratissimum* se encuentra presente en 20 países productores de banano, afectando, en especial, a clones de la variedad Cavendish (22).

Dada la rápida propagación y diseminación de este fitopatógeno, en varios países ha sido motivo de preocupación, con especial énfasis en América Latina y el Caribe debido a que de las 2.23 millones de hectáreas sembradas, 1.13 millones de estas producen clones de Cavendish aportando en un 28% a la producción mundial y de cuya producción el 80% se exporta (23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 20). En Colombia, en junio del 2019 se detectó por primera vez *F. odoratissimum* en el nororiente de la Guajira (Dibulla y Riohacha) (26), causando una gran alarma para la industria exportadora de bananos, pues su presencia es una amenaza fitosanitaria que puede causar pérdidas significativas a este sector productivo (27, 28, 29, 30).

F. odoratissimum es un patógeno que se caracteriza por la capacidad de formar estructuras resistentes a las condiciones de estrés ambiental, llamadas clamidosporas (31,32). Estas estructuras son comúnmente formadas durante condiciones de estrés ambiental para el hongo y le permiten al mismo sobrevivir durante largo períodos de tiempo en los residuos vegetales del cultivo y/o en el suelo (31,32). Por otro lado, otro aspecto relevante sobre *F. odoratissimum* es la capacidad que tiene de colonizar rápidamente la zona vascular de las raíces laterales de las musáceas, ocasionando la degeneración del rizoma, obstrucción de vasos de xilema e interferencia en la absorción de agua y nutrientes, afectando así la translocación de estos hacia las hojas y el pseudotallo (33). Durante el ciclo de la enfermedad, a los 17 días se puede observar la colonización de las hifas en el pseudotallo, y a partir de los 24 días la planta muere (33).

Los síntomas se manifiestan inicialmente en la presencia de hojas con clorosis en los bordes, seguido por el colapso gradual de toda el área foliar, en donde se observan las hojas pegadas al pseudotallo (34). El pseudotallo a su vez puede desarrollar grietas longitudinales

limitando el crecimiento y desarrollo, y los frutos presentan un menor tamaño como consecuencia de las alteraciones fisiológicas en la planta (34). En vista de las limitantes ocasionadas por *F. odoratissimum*, los productores de banano han implementado “Buenas Prácticas agrícolas (BPA)” en la gestión de sus cultivos, pero estas no han logrado tener un impacto biocontrolador o que mitigue los daños causados por estos hongos en la producción y comercio mundial del banano (35,36).

De este modo, este artículo tiene como propósito brindar una revisión acerca de la importancia de la comercialización del cultivo de banano en Colombia e identificar como el patógeno *Foc R4T* afecta los procesos asociados a la producción de banano en diferentes regiones productoras de este importante renglón agrícola para el país.

Materiales y métodos

Las fuentes de datos utilizadas para la revisión bibliográfica fueron a partir de recursos abiertos, que comprenden revistas, repositorios, informes, conferencias, órganos administrativos nacionales (Minagricultura), entidades públicas nacionales (ICA) y bases de datos de información bibliográfica. El criterio de búsqueda que se aplicó se enmarcó en publicaciones (español e inglés) con base en calidad científica de los últimos 5 años con el propósito de generar una actualización en un tema de interés para el sector agroindustrial bananero; las publicaciones se escogieron por fechas y disponibilidad.

Resultados

La revisión bibliográfica sobre la importancia de la comercialización del banano (*Musa x paradisiaca*) en Colombia y como *Foc R4T* ha afectado este proceso identificó 39 textos relevantes sobre la temática en mención, destacándose en síntesis las referencias de los últimos cinco años (Tabla 1):

Tabla 1. Principales referencias bibliográficas seleccionadas por su relevancia en la información sobre comercialización del banano (*Musa x paradisiaca*) en Colombia y Foc R4T.

Título	Autor	Fecha
Banana. Market Review 2023	FAO	2023
Boletín estadístico. Tráfico portuario en Colombia.	Ministerio de Transporte.	2023
<i>Fusarium</i> R4T	ICA.	2023
FAOSTAT	FAO	2023
Cadena de Banano	Minagricultura	2021
Plátano. Sistema de información de Gestión y desempeño de organizaciones de cadena.	Minagricultura	2021
Contexto macroeconómico de Colombia	Mincomercio	2021
Perspectivas a mediano plazo. Perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028.Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.	FAO	2020
Cadena de banano. Documento 2019	Minagricultura	2020
Análisis del mercado del banano. Resultados preliminares 2019.	FAO	2020
<i>Fusarium</i> wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent. Agron Mesoamerican	Martínez-Solórzano GE, Rey-Brina JC, Pargas-Pichardo RE, Enrique-Manzanilla E	2020
Cadena de banano Documento 2020	Minagricultura	2020
Mal de Panamá en Banano (<i>Fusarium oxysporum</i> sp. <i>cubense</i>).	Guzm, M, Dita, M.	2020
Molecular and Biological Characterization of the First Hypovirus Identified in <i>Fusarium oxysporum</i> .	Torres-Trenas, A., Cañizares, M. C., García-Pedrajas, M. D., & Pérez-Artés, E.	2020
Agenda para la prevención y el manejo de brotes de la raza 4 tropical de <i>Fusarium</i> (R4T) en el cultivo de musáceas en América Latina y el Caribe (ALC).	Betancourt, M., Dita, M., Saini, E., & Salazar, L.	2020
Characterization and incidence of the first member of the genus mitovirus identified in the phytopathogenic species <i>Fusarium oxysporum</i> .	Torres-Trenas, A., & Pérez-Artés, E.	2020
Hadaka virus 1: A capsidless eleven-segmented positive-sense single-stranded RNA virus from a phytopathogenic fungus, <i>Fusarium oxysporum</i> .	Sato, Y., Shamsi, W., Jamal, A., Bhatti, M. F., Kondo, H., Suzuki, N., & Wickner, R. B.	2020
Nitric oxide improves tolerance to <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> Tropical Race 4 in banana.	Nasir NNM, Ho CL, Lamasudin DU, Saidi NB.	2020

Taller Técnico: “Agenda de investigación para la exclusión, prevención y manejo de brotes de la raza 4 tropical de <i>Fusarium</i> (R4T) en el cultivo de Musáceas de América Latina y el Caribe (ALC).”	Banco Interamericano de Desarrollo.	2019
Phylogeny and genetic diversity of the banana <i>Fusarium</i> wilt pathogen <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> in the Indonesian centre of origin.	Maryani N, Lombard L, Poerba YS, Subandiyah S, Crous PW, Kema GHJ.	2019
La marchitez del banano por <i>Fusarium</i> Raza 4 Tropical: ¿Una creciente amenaza al mercado mundial del banano?	FAO	2019
Las exportaciones de plátano como una estrategia de desarrollo rural en Colombia.	Carvajal-García M, Zuluaga-Arango P, Ocampo-López OL, Duque-Gómez D.	2019
Phylogeny and genetic diversity of the banana <i>Fusarium</i> wilt pathogen <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> in the Indonesian centre of origin.	Maryani N, Lombard L, Poerba YS, Subandiyah S, Crous PW, Kema GHJ.	2019
La marchitez del banano por <i>Fusarium</i> Raza 4 Tropical: ¿Una creciente amenaza al mercado mundial del banano?	FAO	2019
Biological control agents against <i>Fusarium</i> wilt of banana.	Bubici G, Kaushal M, Prigigallo MI, Cabanás CGL	2019
First report of <i>Fusarium</i> wilt Tropical Race 4 in Cavendish bananas caused by <i>Fusarium odoratissimum</i> in Colombia.	García-Bastidas, F., J. Quintero-Vargas, M. Ayala-Vasquez, T. Schermer, M. Seidl, M. Santos-Paiva, A.M. Noguera, C. AguileraGalvez, A. Wittenberg, A. Sørensen, R. Hofstede, and G.H.J. Kema.	2019
ICA amplía y refuerza las medidas, que ya venía implementando, para atender la presencia de <i>Fusarium</i> R4T en cultivos de banano en La Guajira.	ICA	2019
Colombia confirms that dreaded fungus has hit its banana plantations. American Association for the Advancement of Science, NY, USA. 2019.	Galvis, S.	2019
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>cubense</i> RT4. El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al continente americano.	Rodríguez, M.	2019
Marchitez por <i>Fusarium</i> raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano.	Martínez-Solórzano GE, Rey-Brina JC, Pargas-Pichardo RE, Manzanilla EE	2019
Augura intensificó medidas de control y prevención ante sospecha de presencia del hongo <i>Fusarium</i> R4T en Colombia alertado por el ICA.	AUGURA	2019

Factores que afectan la producción de banano de la hacienda "Nuevo Porvenir de la Unión	Alvario-Castro, S.	2019
Tropical race 4	Vézina, A.	2019
Molecular Diagnostics of Banana <i>Fusarium</i> Wilt Targeting Secreted-in-Xylem Genes.	Carvalhais LC, Henderson J, Rincon-Florez VA, O'Dwyer C, Czulowski E, Aitken EAB, Drenth A.	2019
El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al continente americano.	Rodríguez, M.	2019
The Epidemiology of <i>Fusarium</i> Wilt of Banana.	Pegg KG, Coates LM, O'Neill WT, Turner DW.	2019
<i>Fusarium</i> Raza 4 Tropical.	Cedeño.	2019
Panama disease in banana: Spread, screens and genes. (Doctoral dissertation).	García-Bastidas, F. A.	2019
Mycovirus <i>fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i> virus 1 decreases the colonizing efficiency of its fungal host.	Torres-Trenas A, Prieto P, Cañizares MC, García-Pedrajas MD, Pérez-Artés E.	2019

Discusión

Importancia del cultivo del banano para Colombia y los mercados internacionales

El banano es un cultivo tropical de importancia para la economía de los países dedicados a la producción de esta fruta, debido a la fuente de empleo e ingresos que genera su comercialización (37). Este aspecto, ha llegado a ser tan relevante, que las plantaciones bananeras con enfoque de exportación representan el 15% de la producción de frutas en el mundo (38). En Colombia, las plantaciones de banano con un enfoque comercial comenzaron a finales del siglo XIX, cuando las transnacionales llegaron al departamento del Magdalena y posteriormente a la región del Urabá antioqueño con el objetivo de manejar la cadena productiva y comercial a nivel nacional (39).

Debido a que el país cuenta con favorables condiciones climáticas que benefician la producción agrícola, como el banano tipo exportación, esta fruta ocupa el tercer lugar en los productos agrícolas exportables del país, después del café y el cultivo de las flores, representando el 65% del total de exportaciones agrarias del país, debido a su alta demanda en los mercados internacionales (39). Esta dinámica exportadora generó que, en 2019, Colombia exportara banano a 42 países y en el 2020, se consolidó el mercado belga como

el principal país destino de exportaciones bananeras, contribuyendo con el 22% del mercado nacional, con envíos aproximados en el orden de 85.868 toneladas (40).

El nivel observado de productividad de la cadena bananera en general ha aumentado con el paso de los años; no obstante, hay una serie de factores que afectan su producción y comercialización en Colombia entre los cuales se destacan: la deficiencia en la optimización de los recursos, la falta de adaptabilidad a los cambios tecnológicos, el mal manejo administrativo, las malas condiciones de infraestructura vial, los casos fortuitos de la naturaleza, el control de malezas, plagas y enfermedades que causan patógenos como *F. odoratissimum* (41, 42, 43). Actualmente, las afectaciones por *F. odoratissimum* son un factor relevante que genera importantes pérdidas en el cultivo del clon Cavendish de banano debido a la ausencia o pocas medidas de control fitosanitario (41, 42, 43).

Origen y surgimiento de *F. odoratissimum* raza 4 en banano

El mal de Panamá o marchitez por fusariosis es causado por el hongo *Fusarium odoratissimum*. Este fitopatógeno se caracteriza por ser habitante del suelo y sobrevivir en la materia orgánica restante o en los restos del cultivo de banano, y que, además, durante su ciclo de vida puede llegar a producir estructuras especializadas de sobrevivencia llamadas clamidosporas, las cuales pueden llegar a subsistir en el suelo de forma latente durante varios años (44, 45, 46).

La marchitez por *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* (FOC), fue reportada por primera vez a finales del siglo XIX, en una plantación de banano de Australia (47). A partir de ese momento, la enfermedad empezó a dispersarse hacia otras plantaciones de banano, y más tarde, hacia 1910, se informa la presencia del hongo en América Latina, específicamente en Cuba; de ahí que su epíteto específico sea *cubense* (18, 48, 49). La historia de la llegada de *Fusarium* a plantaciones de banano Gross Michel a América Latina, trajo como consecuencia la erradicación de miles de hectáreas del cultivo, lo que generó pérdidas económicas importantes (50).

Hasta la fecha, se han reportado cuatro razas de *Fusarium oxysporum* f.sp *cubense* (Foc) atacando de forma diferencial plantas del género *Musa* (20). Una de las primeras razas detectadas a nivel mundial fue la Foc raza tropical 1 (Foc R1T), la cual impactó la industria

bananera basada en la variedad Gros Michel (20). Por ejemplo, en América central, Foc R1T provocó la destrucción entre los años 50 y 60 de más de 379.000 hectáreas de la empresa United Fruit (51). Como respuesta a esta problemática, se empezaron a implementar cultivares de bananos Cavendish resistentes a Foc R1T en la mayoría de las zonas productoras de banano, lo que conllevó con el tiempo a que estas plantaciones se convirtieran en grandes extensiones de monocultivo, propiciando el surgimiento de una nueva raza, Foc R4T o *F. odoratissimum*, con capacidad de generar marchitez a gran escala y con mayor rapidez en los cultivares de Cavendish (18,48,52).

Esta nueva raza del patógeno se originó en Taiwán en 1970, ocasionando pérdidas de 4.000 ha en un mismo año (50). El patógeno se continuó diseminando por el mundo hasta llegar a Colombia en el 2019 (26, 48, 52). El surgimiento de nuevas razas en hongos fitopatógenos ha sido atribuido a diferentes mecanismos de variabilidad y recombinación genética que promueven y favorecen la aparición de variantes fúngicas más agresivas o virulentas (53). Algunos de estos mecanismos biológicos pueden ser promovidos por eventos que conllevan a la recombinación de genes como la reproducción sexual (54), anastomosis entre hifas, formación de tubos de anastomosis entre conidios o CATS (55) y ciclo parasexual (56, 54).

En el caso de *F. odoratissimum*, la formación de grupos de compatibilidad vegetativa (GCV) ha sido uno de los mecanismos que le ha permitido a este hongo generar poblaciones genéticamente variables, sin involucrar la formación de una fase sexual (57; 58). Los grupos de variabilidad vegetativa (GCV) consisten en diferentes aislados de un hongo que tiene la capacidad de fusionar sus hifas entre sí de una manera estable, formando en el punto de unión una célula llamada heterocarion (56, 54). El heterocarion que contiene los núcleos provenientes de los individuos implicados en la formación del GCV, tiene la capacidad de desarrollarse vegetativamente y expresar los genes de los diferentes aislados parentales, o bien puede ocurrir en su interior la fusión de los núcleos dando paso al ciclo parasexual (56, 54). Tanto la formación de un heterocarion como el ciclo parasexual, da paso al surgimiento de nuevas poblaciones variables (55).

Estos individuos formados a partir de heterokaryons o del ciclo parasexual, pueden tener sus propias características morfológicas, de virulencia y agresividad diferentes a los parentales (59). De este modo, se presume que estos eventos de recombinación podrían estar favoreciendo el surgimiento de poblaciones más virulentas de patógenos como *F. odoratissimum* (57,58,60). Se ha reportado que los cultivares de Cavendish son resistentes a la raza 1 y 2, sin embargo, no tienen resistencia a la raza 4, lo que representa un nuevo desafío para la cadena productiva del cultivo (22).

Patogenicidad de *F. odoratissimum* en banano, variedad Cavendish

La marchitez por *F. odoratissimum* se caracteriza por ser una enfermedad cuyo síntoma empieza a manifestarse por un amarillamiento en el borde de las hojas viejas que se va extendiendo a las hojas más jóvenes, las cuales colapsan quedando colgadas a modo de “enruanamiento” en la base de la nervadura central del pseudotallo. Así, la lámina foliar reduce su tamaño y se deforma; en consecuencia, las plantas se ven afectadas en la producción de los fotoasimilados necesarios para el desarrollo vegetativo y la producción de frutos, especialmente, en la variedad Cavendish (45).

Por otro lado, el patógeno coloniza haces vasculares causando la oclusión de los tejidos del xilema y la obstrucción en la traslocación de agua y nutrientes de la raíz al resto de la planta (61). La sintomatología en las plantas afectadas se observa como decoloraciones marrones y rojizas en rizomas y al interior de los vasos vasculares del pseudotallo; externamente, el pseudotallo de las plantas presenta clorosis, que puede expandirse en todo el tejido, hasta agrietarlo (61) y, finalmente, producir la muerte celular de tejidos antes de la producción de racimos (62). Aunque no se han observado síntomas directos en el fruto, generalmente puede ocurrir una reducción del tamaño de estos como consecuencia de los daños causados por la enfermedad en otros órganos de la planta (64).

Impacto de *F. odoratissimum* en la cadena productiva y comercial del banano

En los últimos años, la marchitez por *F. odoratissimum* es la principal enfermedad que amenaza la producción global del banano, debido a que se ha extendido en diversas regiones de Asia, África y América Latina, lo que ha generado la necesidad de implementar

planes de control y contingencia antes ese problema (48). Cabe resaltar que este hongo fitopatógeno no solo amenaza la producción mundial de los cultivares de Cavendish, sino que también amenaza con destruir las plantaciones de cultivares locales destinados al consumo doméstico, entre las que se encuentran otras variedades de plátanos como AAB, bananos de cocción tipo Bluggoe (ABB), bananos Gros Michel (AAA), Prata (AAB) y manzano (AAB), importantes para la seguridad alimentaria y económica de países en vía de desarrollo (52; 63, 25). Este aspecto toma mayor relevancia considerando que en la actualidad, no existen variedades que sean internacionalmente aceptadas y que puedan reemplazar clones de la variedad Cavendish, por lo cual las alternativas de manejo del patógeno resultan limitadas e incipientes (34).

Principales estrategias de control para *F. odoratissimum*

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) junto con el apoyo de las cadenas exportadoras bananeras AUGURA y ASBAMA, han puesto en práctica planes de acción para la prevención de *F. odoratissimum* en las plantaciones de banano de los principales departamentos productores (65). Entre estas estrategias se cuentan: la sensibilización, capacitación, reconocimiento, actividades de vigilancia fitosanitaria y protocolos de bioseguridad para la detección en campo de esta enfermedad (65). Para llevar a cabo estas estrategias es importante resaltar la identificación de la sintomatología de la enfermedad en los cultivos de banano (65). Internamente en el pseudotallo, la coloración rojiza es la principal característica y externamente, la presencia de clorosis y la dobladez de la base de la nervadura, que puede expandirse en todo el tejido, hasta agrietarlo (61,45).

El manejo de *F. odoratissimum* es limitado y no se ha establecido a gran escala medidas biológicas, químicas o culturales efectivas, dado que todos los métodos de control se limitan a investigaciones científicas, o se ha optado por realizar cuarentenas en zonas con presencia del hongo (64), la implementación de programas de contingencia y concientización en la comunidad con el objetivo de capacitarlos sobre la sintomatología de la enfermedad y el impacto social y económico que causa (64).

Entre los métodos de control de la enfermedad, los que han demostrado resultados prometedores se destacan:

- **Control cultural:** Actualmente, las medidas de contingencia del hongo se basan en aplicar medidas de bioseguridad, destrucción rápida de las plantas infectadas y restricciones de entrada en las plantaciones productivas, así como la detección temprana de la enfermedad (66).
- **Control biológico:** El uso de *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* spp., han mostrado avances prometedores como uso potencial de bacterias antagónicas endofíticas, las cuales incrementan la diversidad bacteriana en las plantas infectadas a manera de resistencia frente al fitopatógeno (67). Por otro lado, se han venido estudiando otras alternativas promisorias como el uso de Micovirus para el control de *Fusarium*, las cuales en un futuro podrían funcionar para el control de *F. odoratissimum* (68, 69, 70, 71, 72). Los micovirus son virus que establecen infecciones latentes en el hongo hospedero, pudiendo conllevar a una hipovirulencia del mismo, inhibiendo la capacidad de crecimiento, desarrollo y dispersión del hongo fitopatógeno (68). Entre los estudios en el control de *F. oxysporum* se destacan los realizados con los micovirus *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* virus (FodV1) (68), *Fusarium oxysporum* f. sp. *Melonis* (FuOMV) (69), *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* hypovirus 2 (FodHV2) (70), Virus Hadaka 1 (HadV1) (71) y *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* mitovirus 1 (FodMV1) (72).
- **Control químico:** En investigaciones realizadas bajo condiciones de laboratorio se demostró que los fungicidas procloraz y propiconazol inhiben el crecimiento del micelio de *F. odoratissimum* (73). Aplicaciones con procloraz, propiconazol y cyproconazol reducen significativamente la severidad de la enfermedad en las plantas y finalmente, la aplicación de sales cuaternarias previene la reproducción y propagación de las esporas asexuales del hongo (conidios) (73).
- **Inducción de resistencia:** El óxido nítrico (ON), es una molécula de señalización que actúa como un modulador que interactúa con otras moléculas durante los mecanismos de defensa de la planta, mejorando así la tolerancia del banano a *F. odoratissimum* (74). El modo de acción se basa en la utilización de la proteína llamada “S-nitrosilación” como

regulador predominante del óxido nítrico, la cual tiene la capacidad de actuar inhibiendo el crecimiento y desarrollo del patógeno en la planta; de esta manera, retrasa el metabolismo del fitopatógeno (74).

Conclusiones

El cultivo de banano constituye un renglón de gran interés socioeconómico; esto se debe a la gran importancia que tiene desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, la generación de empleo y como un cultivo capitalizador en la economía de países en vía de desarrollo (37). En Colombia, el banano es uno de los principales cultivos dedicados a la producción con un consumo criollo predominantemente en fresco y de comercialización internacional inmediata manejando cultivares Cavendish (10). En el proceso de producción y comercialización del banano hay una serie de limitantes que interfieren en este proceso, entre ellas afectaciones por *F. odoratissimum*, el cual es un patógeno sumamente agresivo, con capacidad de atacar diferentes plantas del género *Musa*, destacando las elevadas pérdidas que ocasiona en clones de banano tipo Cavendish (20).

A la fecha no existen estrategias de control contundentes de *F. odoratissimum*, sin embargo, se han venido explorando e implementando diferentes estrategias que pretenden disminuir las pérdidas ocasionadas por este patógeno: estrategias como la capacitación de la comunidad para el diagnóstico oportuno de la enfermedad (65), establecimiento de estatutos fitosanitarios que permitan establecer medidas de cuarentena y control de zonas infestadas (45), la implementación de microorganismos biocontroladores como bacterias (67) y micovirus (68, 69, 70, 71, 72), la aplicación de inductores de resistencia que mejoren las respuestas de defensa de las plantas (74) y la búsqueda de genes de resistencia para implementar programas de fitomejoramiento en banano (74).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Cundinamarca, por facilitar el acceso a las bases de datos para la búsqueda del material bibliográfico utilizado en la construcción del presente artículo.

Declaración de divulgación

Los autores declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo. No se emplearon herramientas de generación de contenido por inteligencia artificial para la elaboración del artículo.

Financiamiento

Los autores no declaran fuente de financiamiento para la realización de este artículo.

Referencias

1. FAO. Banana. Market Review 2023 [Internet]. Roma: FAO; 2023. Disponible en: <https://tinyurl.com/44shz9dz>
2. FAO. Perspectivas a mediano plazo. Perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019-2028. Roma: Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura; 2020.
3. FAO. FAOSTAT Online Database [Internet]. 2022 [citado febrero de 2023]. Disponible en: <http://faostat.fao.org/>
4. Banco Interamericano de Desarrollo. Taller Técnico: “Agenda de investigación para la exclusión, prevención y manejo de brotes de la raza 4 tropical de *Fusarium* (R4T) en el cultivo de Musáceas de América Latina y el Caribe (ALC).” 2019.
5. FAO. Banano. Análisis del mercado 2022. 2023.
6. Minagricultura. Cadena De Banano. Cifras Sectoriales [Internet]. 2021. Disponible en: <https://tinyurl.com/444jfwr4>
7. Montoya RB. Política comercial agrícola: nivel, costos y efectos de la protección en Colombia [Internet]. Bogotá: Fedesarrollo; 2018.
8. Minagricultura. Plátano. Sistema de Información de Gestión y desempeño de organizaciones de cadena [Internet]. 2021. Disponible en: <https://tinyurl.com/4cc47rum>
9. Minagricultura. Cadena De Banano. Cifras Sectoriales [Internet]. 2020. Disponible en: <https://tinyurl.com/mry7426p>
10. Organizaciones Sindicales Rurales. Plantaciones y/o unidades de producción de banano en Colombia. Lima: Organización Internacional del Trabajo; 2018.
11. Mincomercio. Contexto macroeconómico de Colombia. Oficina de Estudios Económicos [Internet]. 2021. Disponible en: <https://tinyurl.com/f6snkfas>
12. Bolaño A, De Vengoechea JM, Ignacio F, Granados J, Riad D, et al. Principal Revisor Fiscal Centro de Estudios del Banano. 2016.
13. Vargas A, Watler W, Morales M, Vignola R. Ficha técnica cultivo de banano. Catie [Internet]. 2017;2(21):1–56.
14. Comisión Intereclesial de Justicia y Paz. Empresas bananeras: Vulneración de derechos humanos y narcotráfico en el Bajo Atrato. 2016.

15. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Manual 5: El Mercado y la Comercialización. Gestión Empresarial táctica y Operativa. 2018.
16. ONU. Banano. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Comercio y Desarrollo UNCTAD [Internet]. 2016.
17. Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. Enfermedades y plagas del plátano (*Musa paradisiaca*) y el banano (*Musa acuminata*; *M. sapientum*) en Colombia. Boletín Mensual Insumos y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria. 2016;51:1–115.
18. Maryani N, Lombard L, Poerba YS, Subandiyah S, Crous PW, Kema GHJ. Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. Stud Mycol. 2019;92:155–94.
19. FAO. Global programme on banana *Fusarium* wilt disease. 2017.
20. Martínez-Solórzano GE, Rey-Brina JC, Pargas-Pichardo RE, Manzanilla EE. Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano. Agron Mesoam. 2019;31(1):259–76.
21. FAO. La marchitez del banano por *Fusarium* Raza 4 Tropical: ¿Una creciente amenaza al mercado mundial del banano? [Internet]. 2019.
22. Martínez-Solórzano GE, Rey-Brina JC, Pargas-Pichardo RE, Enrique-Manzanilla E. *Fusarium* wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent. Agron Mesoam. 2020;31(1):259–76.
23. Bubici G, Kaushal M, Prigigallo MI, Gómez-Lama Cabanás C, Mercado-Blanco J. Biological control agents against *Fusarium* wilt of banana. Front Microbiol. 2019;10:616.
24. Giles BE, Ericson L, Carlsson-Granér U. Plant Disease. Encycl Islands. 2020;104(3):747–52.
25. Zheng S, Kema GHJ. New Geographical Insights of the Latest Expansion of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Into the Greater Mekong Subregion. Front Plant Sci. 2018;9:457.
26. García-Bastidas F, Quintero-Vargas J, Ayala-Vasquez M, Schermer T, Seidl M, Santos-Paiva M, et al. First report of *Fusarium* wilt Tropical Race 4 in Cavendish bananas caused by *Fusarium odoratissimum* in Colombia. Plant Dis. 2019.
27. ICA. ICA amplía y refuerza las medidas, que ya venía implementando, para atender la presencia de *Fusarium* R4T en cultivos de banano en La Guajira. ICA, COL. 2019.
28. Galvis S. Colombia confirms that dreaded fungus has hit its banana plantations. Science. 2019.
29. Rodríguez M. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* RT4. El mayor enemigo de las musáceas parece haber llegado al continente americano. CropLife, San José, CRI. 2019.
30. AUGURA. Augura intensificó medidas de control y prevención ante sospecha de presencia del hongo *Fusarium* R4T en Colombia alertado por el ICA. AUGURA, COL. 2019.
31. Dita M, Barquero M, Heck D, Mizubuti ESG, Staver CP. *Fusarium* wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. Front Plant Sci. 2018;9:1468.
32. Warman NM, Aitken EAB. The movement of *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (sub-tropical race 4) in susceptible cultivars of banana. Front Plant Sci. 2018;9:1748.
33. Li C, Yang J, Li W, Sun J, Peng M. Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish. Plant Dis. 2017;101:2073–8.

34. Ploetz RC. *Fusarium* wilt of banana. *Phytopathology*. 2015;105(12):1512–21.
35. FAO. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas para el Productor Hortofrutícola 2 Edición [Internet]. 2012.
36. FAO. Análisis del mercado del banano: resultados preliminares 2019. Panor Gen febrero 2020 [Internet]. 2020.
37. Betancurth YC, Milena S, Tobar M. Evaluación financiera del cultivo de banano usando semilla in vitro 1 [Internet]. 2017.
38. Yap M, Fernando WMADB, Brennan CS, Jayasena V, Coorey R. The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT - Food Sci Technol*. 2017;80:10–8.
39. Elías-Caro JE. El Banco Bananero del Magdalena (Colombia) y el Holding gremial: Iniciativa sectorial-regional imperiosa, práctica empresarial fallida, 1958-1977. *Rev Digit Hist Arqueol desde el Caribe*. 2016;(28):263-303.
40. Minagricultura. Cadena de banano [Internet]. 2020.
41. Alvario-Castro S. Factores que afectan la producción de banano de la hacienda “Nuevo Porvenir de la Unión”. 2019.
42. FAO. Situación del mercado del banano 2015-16. 2016.
43. Ministerio de Transporte. Boletín estadístico. tráfico portuario en Colombia. 2023.
44. ICA. Conozca la enfermedad que destruye los cultivos de banano y plátano: Marchitamiento por *Fusarium* RT-4. 2018.
45. ICA. *Fusarium* R4T [Internet]. 2023. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/icacomunica/pyp/fusarium-r4t>
46. Guzmán M, Dita M. Mal de Panamá en Banano (*Fusarium oxysporum* sp. *cubense*). 2020.
47. Stover RH. Fusarial wilt (Panama Disease) of bananas and other Musa species. Kew, Surrey: Commonwealth Mycological Institute; 1962.
48. Ordoñez N, Seidl MF, Waalwijk C, Drenth A, Kilian A, Thomma BPHJ, et al. Worse Comes to Worst: Bananas and Panama Disease—When Plant and Pathogen Clones Meet. *PLoS Pathog*. 2015;11(11):e1005197.
49. Pérez V, Batlle AL, Chacón JB, Montenegro V. Reaction of natural and hybrids cultivars of FHIA Bananas and Plantains to Cuban *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Populations, causal agent of Fusarium Wilt or Panama Disease. *Fitosanidad*. 2009;13(4):237-41.
50. Vézina A. Tropical race 4 [Internet]. 2019 [citado 7 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.promusa.org/Tropical+race+4+-+TR4>
51. Stover RH. Banana, plantain and abaca diseases. Kew, UK: Commonwealth Mycological Institute; 1972. 316 p.
52. Dita R, Echegoyén R, Pérez V. Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. 2017.
53. Betancourt M, Dita M, Saini E, Salazar L. Agenda para la prevención y el manejo de brotes de la raza 4 tropical de *Fusarium* (R4T) en el cultivo de musáceas en América Latina y el Caribe (ALC). Banco Interamericano de Desarrollo. 2020;8:5.
54. Glass NL, Jacobson DJ, Shiu PK. The genetics of hyphal fusion and vegetative incompatibility in filamentous ascomycetes. *Annu Rev Genet*. 2000;34:165–86.

55. Ishikawa FH, Souza EA, Shoji J, Connolly L, Freitag M, Read ND, et al. Heterokaryon incompatibility is supresses following conidial anastomosis tube fusion in fungal plant pathogen. Plos One. 2012;7(2):e31842.
56. Caten CE, Jinks JL. Heterokaryosis: its significance in wild homothallic ascomycetes and fungi imperfecti. Trans Br Mycol Soc. 1966;49:81–93.
57. Fourie G, Steenkamp ET, Gordon TR, Viljoen A. Evolutionary relationships among the *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* vegetative compatibility groups. Appl Environ Microbiol. 2009;75:4770–81.
58. Carvalhais LC, Henderson J, Rincon-Florez VA, O'Dwyer C, Czislowski E, Aitken EAB, et al. Molecular Diagnostics of Banana *Fusarium* Wilt Targeting Secreted-in-Xylem Genes. Front Plant Sci. 2019;10:547.
59. Hermanto C, Sutanto A, Jumjunidang, Edison HS, Daniells JW, O'Neill WT, et al. Incidence and distribution of *Fusarium* wilt disease of banana in Indonesia. Acta Hortic. 2011;897:313–22.
60. Paul S, et al. Grupos de compatibilidad vegetativa de las poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* en Vietnam. 1995;10:32-3.
61. Pegg KG, Coates LM, O'Neill WT, Turner DW. The Epidemiology of *Fusarium* Wilt of Banana. Front Plant Sci. 2019;10:1395.
62. Cedeño. *Fusarium* Raza 4 Tropical [Internet]. 2019. Disponible en: <https://tinyurl.com/36fj9c52>
63. García-Bastidas FA. Panama disease in banana: Spread, screens and genes [Tesis doctoral]. Wageningen University; 2019.
64. Ploetz RC. Management of *Fusarium* wilt of banana: A review with special reference to tropical race 4. Crop Prot. 2015;73:7–15.
65. Peñaranda EA, Catalina J, Vargas Q, Eliecer J, Acosta V, José A, et al. Acciones estratégicas para la prevención de *Fusarium* Raza 4 Tropical (Foc R4T) en el Caribe Colombiano. 2018.
66. FAO. Juntos podemos prevenir la propagación de la Raza 4 tropical. 2018.
67. Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Fusariosis De Las Musáceas. Secretaria de Agricultura Y Desarrollo Rural. 2017;(02).
68. Torres-Trenas A, Prieto P, Cañizares MC, García-Pedrajas MD, Pérez-Artés E. Mycovirus *fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* virus 1 decreases the colonizing efficiency of its fungal host. Front Cell Infect Microbiol. 2019;9:51.
69. Sharzehei A, Afsharifar A, Banihashemi Z. Detección y caracterización de un micovirus arn bichanado en *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. 2007.
70. Torres-Trenas A, Cañizares MC, García-Pedrajas MD, Pérez-Artés E. Molecular and Biological Characterization of the First Hypovirus Identified in *Fusarium oxysporum*. Front Microbiol. 2020;10:3131.
71. Sato Y, Shamsi W, Jamal A, Bhatti MF, Kondo H, Suzuki N, et al. Hadaka virus 1: A capsidless eleven-segmented positive-sense single-stranded RNA virus from a phytopathogenic fungus, *Fusarium oxysporum*. MBio. 2020;11(3):e00450-20.
72. Torres-Trenas A, Pérez-Artés E. Characterization and incidence of the first member of the genus mitovirus identified in the phytopathogenic species *Fusarium oxysporum*. Viruses. 2020;12(3):279.

73. Nel B, Steinberg C, Labuschagne N, Viljoen A. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. Crop Prot. 2007;26(4):697–705.
74. Nasir NNM, Ho CL, Lamasudin DU, Saidi NB. Nitric oxide improves tolerance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 in banana. Physiol Mol Plant Pathol. 2020;111:101503.