



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA



TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Grado de carácter
Complejivo, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad,
como requisito previo para obtener el título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Estado actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp.
cubense (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el
continente americano”

AUTOR:

Nelson Jomeini Litardo Vera.

TUTOR:

Ing. Agr. Nessar Rojas Jorgge, MSc.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

La información recopilada detalla la situación actual de la marchitez por *Fusarium*, raza 4 en el cultivo de banano en el continente americano. El hongo que causa esta enfermedad es *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, siendo una enfermedad que afecta al cultivo de banano, la misma que tiene la capacidad de obstruir el sistema vascular de las plantaciones. Las conclusiones determinan que uno de los cultivos más importantes tanto para generar ingresos es el banano. El ataque de enfermedades como la marchitez o el mal de Panamá, representa una amenaza para la producción del cultivo. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* FOC es la causa de esta enfermedad, considerada como la más dañina y económicamente significativa que afecta al género *Musa*; R4T puede representar una amenaza real y significativa para la industria bananera, aunque la situación es muy diferente en comparación con el período en que prevalecía el Mal de Panamá. La propensión del patógeno Foc a la supervivencia a largo plazo en el suelo y la falta de un tratamiento fiable para erradicarlo son motivos principales de preocupación. Marchitez por *Fusarium* es la enfermedad de Musaceae más devastadora de la historia. Como resultado, la planta se marchita y finalmente muere. Además, la tierra infectada se adhiere a los zapatos o llantas de los vehículos en movimiento y a su vez el hongo puede dispersarse a través de aguas superficiales, maquinaria agrícola, enredos de raíces e implementos. Actualmente no se ha encontrado control químico ideal para esta enfermedad.

Palabras claves: cultivo, hongo, enfermedad, plantación.

SUMMARY

The information collected details the current situation of Fusarium wilt, race 4 in banana cultivation in the American continent. The fungus that causes this disease is *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, being a disease that affects the banana crop, the same one that has the capacity to obstruct the vascular system of the plantations. The conclusions determine that one of the most important crops both to generate income is banana. The attack of diseases such as wilt or Panama disease, represents a threat to crop production. *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* FOC is the cause of this disease, considered the most harmful and economically significant disease that affects the genus *Musa*; TR4 may pose a real and significant threat to the banana industry, although the situation is very different compared to the period when Panama disease was prevalent. The propensity of the Foc pathogen for long-term survival in soil and the lack of a reliable treatment to eradicate it are major concerns. Fusarium wilt is the most devastating Musaceae disease in history. As a result, the plant withers and eventually dies. In addition, infected soil adheres to shoes or tires of moving vehicles, and the fungus can in turn spread through surface water, farm machinery, root entanglements, and implements. Currently, no ideal chemical control has been found for this disease.

Keywords: crop, fungus, disease, plantation.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
MARCO METODOLÓGICO	3
1.1. Definición del tema caso de estudio	3
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específicos	4
1.5. Fundamentación teórica	4
1.5.1. Generalidades del cultivo de banano	4
1.5.2. Estado actual de la Marchitez por Fusarium raza tropical 4.	7
1.5.3. Métodos de control de la Marchitez por Fusarium raza tropical 4, en el cultivo de Banano en el continente americano.	14
1.6. Hipótesis	19
1.7. Metodología de la investigación	19
CAPÍTULO II	20
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1. Desarrollo del caso	20
2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)	20
2.3. Soluciones planteadas	20
2.4. Conclusiones	21
2.5. Recomendaciones	22
BIBLIOGRAFÍA	23

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo XX, en Ecuador se cultivó y comercializó el banano de la variedad Gros Michel; en la actualidad no es producido para la exportación porque los cultivos de esta variedad han sido desplazados por ser propensos a enfermedades. Las principales variedades de banano que exporta el Ecuador son Cavendish, orito o baby banana, y banano rojo. El fruto del banano es un alimento con alto valor nutricional para la alimentación humana, pero con insuficiente calidad para su comercialización en fresco (Gonzabay 2017).

Los bananos son una fuente importante en la generación de empleos, ingresos de divisas y representan una fuente nutrimental esencial, sin embargo, es severamente afectado por plagas y enfermedades, las cuales representan un factor limitante en la producción, tanto para los pequeños productores, como a las grandes empresas, que destinan su producción a mercados internacionales. Las enfermedades afectan a cualquier tejido de la planta, estas son causadas principalmente por hongo, bacterias y virus (Manzo *et al.* 2014).

La marchitez por *Fusarium* de las musáceas, (conocida también como mal de Panamá) causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc), ha sido la enfermedad más destructiva de las musáceas y está considerada entre las diez enfermedades más importantes en la historia de la agricultura. La raza 1 causó una epidemia que impactó la industria de exportación bananera de América y provocó la destrucción en la década de los años 50 a los 60 (Dita *et al.* 2017).

Durante muchos años los clones del subgrupo Cavendish solo fueron afectados por Foc bajo condiciones de estrés nutricional y de bajas temperaturas como las que ocurren en los bananos cultivados en los subtrópicos. Sin embargo, a principios de los 90 se reportó la en el sudeste asiático una nueva raza, llamada raza 4 tropical (R4T), la cual ataca severamente a las variedades del subgrupo Cavendish en condiciones de los trópicos. La rápida diseminación de esta raza y su capacidad patogénica constituyen una seria amenaza para la industria

bananera de América Latina y el Caribe (Dita *et al.* 2017).

La marchitez por *Fusarium* presenta cuatro razas (R1, R2, R3, R4), determinadas de acuerdo con los subgrupos de musáceas que afecta; también posee diferentes linajes evolutivos o grupos de compatibilidad vegetativa (VCG), que componen su población, conociéndose al menos veinticuatro. Puede diseminarse por distintos medios, a través de diferentes estructuras del patógeno (hifas, conidios, clamidosporas), para dar inicio a la enfermedad de carácter sistémico, que termina con la muerte de la planta (Martínez *et al.* 2020).

Por ello el presente documento detalló el estado actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el continente americano.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente documento hace referencia a la situación actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el continente americano.

El hongo que causa esta enfermedad es *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* o Foc R4T, siendo una enfermedad que afecta al cultivo de banano, la misma que tiene la capacidad de obstruir el sistema vascular de las plantaciones bananeras.

1.2. Planteamiento del problema

El banano es un cultivo de mucha importancia a nivel internacional, nacional y local, pero continuamente se ve afectado su rendimiento por varias causas entre las que se detallan plagas y enfermedades, lo que provocan mermas en el rendimiento.

En la actualidad uno de los principales problemas que afecta al cultivo de banano es la enfermedad de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4, que ataca a las plantaciones bananeras producto de la diseminación del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc), donde actualmente no se encuentran medidas de control específicas para controlar esta enfermedad.

1.3. Justificación

El cultivo de banano genera fuente de divisas a los países donde se produce y a su vez ingresos económicos a los productores que se dedican a la siembra de este cultivo.

Es de mucha importancia reconocer el estado actual de las diferentes enfermedades que afectan a las plantaciones bananeras, entre las cuales se presenta la enfermedad de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4, la cual en la actualidad es de mucha preocupación no solo para los productores sino para la población en general, ya que el banano es el principal cultivo de exportación de muchos países del continente americano.

La realización del presente documento se justifica con la finalidad de conocer el estado actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el continente americano.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Sintetizar información referente al estado actual y presencia de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano en el continente americano.

1.4.2. Específicos

- Identificar el estado actual de la Marchitez por Foc R4T
- Detallar los métodos de control de la Marchitez por Foc R4T, en el cultivo de banano en el continente americano.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. Generalidades del cultivo de banano

“El banano es un alimento de alto consumo a nivel mundial y los cultivos de esta fruta no se encuentran en todo el mundo debido a las condiciones climáticas que

necesita el producto para crecer con las mejores características” (Ayala *et al.* 2017).

La industria del banano y el plátano tiene una especial importancia para la mayoría de los países de América Latina y el Caribe (ALC), no solamente como fuente de divisas sino por su aporte en la seguridad alimentaria de la población de la región (Pocasangre *et al.* 2009).

“Los bananos y plátanos (*Musa spp.*) están entre los cultivos más importantes en los países del trópico y el subtropico. Constituyen una fuente importante de ingresos en casi 135 países productores” (FAO, citado por García *et al.* 2021).

“Es evidente que la industria bananera aporta en gran proporción al desarrollo del país, generando oportunidades, ingresos, reconocimiento a nivel mundial, inversión extranjera y muchos otros aspectos positivos” (Ayala *et al.* 2017).

“El banano es un producto de alto consumo en muchos países en vías de desarrollo. Cada una de las principales regiones productoras (América Latina y el Caribe, Asia - Pacífico y África) aporta cerca de un tercio de la producción mundial” (FAOSTAT, citado por Vézina 2008).

Un total de 130 países contribuyen con la producción total de musáceas a nivel mundial, y Latino América y el Caribe (LAC), se presentan entre los mayores contribuyentes. En bananas, el 75% de la producción es dada por 10 países, entre los cuales India, Ecuador, Brasil y China contribuyen con el 50% del total. Sin embargo, la exportación está concentrada en pocos países; donde LAC suplen el 80% de total (FAO, 2006), considerándose los países líderes Ecuador, Costa Rica y Colombia (Velásquez, Giraldo, citado por Martínez 2009).

Ecuador es el primer exportador de banano del mundo, Colombia,

Costa Rica y Guatemala se posicionan entre los cinco mayores exportadores de banano a nivel global, Mientras República Dominicana, Panamá, Honduras y México se destacan también por sus exportaciones (Workman, citado por Llauger *et al.* 2022). Brasil, Ecuador y Colombia se encuentran entre los 10 principales productores de este rubro en el mundo (Jegade, citado por Llauger *et al.* 2022).

La gran mayoría de los productores de banano son pequeños agricultores que siembran el cultivo con fines de autoconsumo o para su venta en mercados locales; de hecho, se exporta menos del 15% de la producción total. Incluso en América Latina y el Caribe, donde se producen dos tercios del banano de exportación del mundo, ésta solo representa el 30% de la producción regional (Vézina 2008).

Las bananas representan un producto de consumo de importancia para los países en desarrollo, conjuntamente con el trigo, arroz y maíz; mientras que el plátano, representa el pan diario de muchas familias en diferentes países de LAC, aun cuando es desconocido y catalogado como exótico en otras latitudes; razón por la cual la mayor parte de las estadísticas son referidas al banano, y los pocos datos existentes sobre plátano, infieren sobre el comportamiento del cultivo de manera local o regional (Velásquez, Giraldo, citado por Martínez 2009).

Los bananos y plátanos, representan uno de los productos más importantes para la seguridad alimentaria y la generación de ingresos. Sin embargo, la producción de estos cultivos se encuentra amenazada por el ataque de enfermedades como el Mal de Panamá o marchitez. Esta enfermedad causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (FOC) representa una de las enfermedades más destructivas y de importancia económica en el género *Musa* (Ploetz, citado por García *et al.* 2021).

1.5.2. Estado actual de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4.

La enfermedad denominada marchitamiento por *Fusarium* es una de las más destructivas de los cultivos de plátano y banano en el mundo. Fue inicialmente descrita por Bancroft en Australia (1876) y el hongo causante por Smith (1910). En 1935 Wollenweber y Reinking determinaron que era una variante dentro del hongo *Fusarium oxysporum*, denominada posteriormente como *F. oxysporum* f. sp. *cubense* y de la cual actualmente se conocen cuatro razas fisiológicas (R1, R2, R3 y R4) (Ferrucho 2020).

Mal de Panama: Agente Causal *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*, (FOC), es considerada como de gran amenaza para la industria bananera y platanera a nivel mundial, y por su naturaleza (sistémico) de ataque, es la enfermedad más temida del banano. De todas las enfermedades, el Mal de Panamá, merece especial atención, al considerar que el organismo causal, probablemente coevolucionó con el banano. Inicialmente solo dos razas de Foc fueron reconocidos (Masdek, citado por Martínez 2009); posteriormente, fue reconocida la existencia de otras dos. La raza 1, ataca a los clones Gros Michel y Manzano, la raza 2, ataca al Bluggoe o topocho, la raza 3 a las heliconias y la raza 4 que ataca a todos estos grupos incluyendo al clon Cavendish (Stover, citado por Martínez 2009).

“La marchitez por *Fusarium* de los bananos y plátanos (*Musa* spp.) es causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc), la cual es considerada como la enfermedad de mayor importancia a nivel mundial por los daños destructivos en el cultivo” (Ploetz, citado por Manzo *et al.* 2022).

En los últimos años países del mundo se viene presentando la enfermedad conocida como Marchitez por *Fusarium* (MF) ocasionando la muerte temprana de plantas en producción de banano en los cultivares Cavendish. En campos de banano

orgánico, se observa en cortes transversales y longitudinales del pseudotallo la necrosis de los haces vasculares y puntos necróticos en el rizoma, la incidencia de estos síntomas se incrementó después del fenómeno de “el niño costero” que se presentó durante los meses de marzo-abril del año 2017 (Arévalo, citado por Aguilar *et al.* 2021).

La marchitez por Fusarium (MF) ocasionada por *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (Foc), es una de las plagas más destructivas de los cultivos de musáceas. A mediados del siglo pasado, la raza 1 de este hongo ocasionó la desaparición de la mayoría de las plantaciones comerciales de banano Gros Michel en América Latina y el Caribe, con pérdidas estimadas en las exportaciones de 2 300 millones de USD (Ploet, citado por Llauger *et al.* 2022). En la actualidad continúa limitando la producción, especialmente para pequeños agricultores que cultivan variedades susceptibles.

A mediados del siglo XX, la enfermedad conocida como MF devastó el cultivar Gros Michel en América y Centroamérica por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) raza 1, siendo mitigada por cultivar Cavendish. Sin embargo, Foc raza tropical 4 (RT4) ataca a clones de Cavendish representando de esta manera una amenaza mundial para este cultivo (Mostert 2017, Zheng *et al.* 2018, Aguilar-Hawod 2019 y Aguilar *et al.* 2021)

La Marchitez por Fusarium es una enfermedad vascular típica, en la cual los tejidos vegetales conductores son invadidos por el hongo a través de las raíces, ocasionando necrosis vascular, marchitamiento y muerte de las plantas. Los síntomas de la raza 4 tropical no se diferencian de los ocasionados por las razas 1 y 2 de Foc (García *et al.*, citado por Llauger *et al.* 2022).

La marchitez por Fusarium o mal de Panamá, causada por el hongo

Fusarium oxysporum f. sp. *ubense* (Foc), es históricamente la enfermedad más destructiva de las musáceas. El patógeno bloquea el sistema vascular de la planta, afectando la absorción y translocación de agua y nutrimentos. Como resultado las plantas se marchitan y finalmente mueren (Grimbeek *et al.* 2001, Dita *et al.* 2013 y Carr *et al.* 2017).

El patógeno (Foc) produce clamidosporas logrando sobrevivir en el suelo por más de 20 años (Buddenhagen 2009, Li *et al.* 2011 y Aguilar *et al.* 2021). Los primeros síntomas de la enfermedad se producen en las raíces y en los límites de la corteza del rizoma, así también en el cilindro central del pseudotallo en donde se presenta la mayor área vascular, observándose estrías necróticas de color marrón-rojizo y oscuro. El hongo crece a través de los tejidos afectando el crecimiento de los nuevos retoños (Pérez, citado por Aguilar *et al.* 2021).

“La introducción de la raza tropical 4 de FOC (RT4) en las plantaciones de cultivares Cavendish representa un gran impacto económico y social en la industria bananera, en América Latina y el Caribe” (Ploetz, citado por García *et al.* 2021).

La R1 destruyó más de 80.000 ha del cultivar de banano Gros Michel en la década de 1950; este se reemplazó por variedades resistentes del subgrupo Cavendish ampliamente cultivadas en la actualidad. En la década de 1990 la resistencia de Cavendish fue vencida por una nueva variante denominada Raza 4 tropical (R4T) en Taiwán; de allí se ha diseminado poniendo en riesgo la producción mundial de plátano y banano (Ferrucho 2020).

Durante muchos años los clones del subgrupo Cavendish solo fueron afectados por Foc bajo condiciones de estrés por bajas temperaturas en el subtropico (raza 4 subtropical: R4ST). Sin embargo, la aparición de la raza 4 tropical (R4T) en el sureste

asiático a principios de los 90's, se ha convertido en una seria amenaza para la industria bananera de Asia, África, América Latina y el Caribe, debido a que ataca severamente a las variedades de este subgrupo en condiciones tropicales (Carr *et al.* 2017).

Históricamente la marchitez causada por *Fusarium*, mejor conocido como Mal de Panamá dio inicio a la destrucción del cultivar Gros Michel por la Raza 1 de, *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (RT1 de FOC) en la década de los 50 a 60, siendo el mejor ejemplo de la severidad de este hongo y la única solución al problema fue reemplazar a Gros Michel por variedades resistentes del subgrupo Cavendish (Pocasangre *et al.* 2009).

El 8 de agosto de 2019, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) confirmó la presencia de la R4T en cultivos de banano en el departamento de La Guajira en Colombia, e inició el plan de contingencia que incluyó entre otras actividades, la erradicación de 168 ha de banano en el área de detección, restricciones al movimiento de material vegetal de musáceas en esta región y la vigilancia epidemiológica en el departamento y demás áreas productoras de plátano y banano en Colombia (Ferrucho 2020).

La desaparición del Gros Michel en Centro América debido al mal de Panamá, nos advierte sobre la amenaza potencial de la RT4. Aunque se reconoce que el Foc, particularmente la RT4 es una amenaza real y significativa para la industria bananera, particularmente para el sistema de monocultivo de la industria comercial Cavendish, la situación es ahora muy diferente comparada con la era del mal de Panamá. Un punto principal de preocupación es la habilidad del patógeno Foc para sobrevivir en el suelo por un largo período de tiempo y la ausencia de un tratamiento efectivo para destruir el patógeno en el suelo. Hoy en día, contrario a la era de Gros Michel, no se cuenta con suficientes áreas nuevas para establecer nuevas plantaciones (Pocasangre *et al.* 2009).

Por cuanto el uso de cultivares resistentes sería lo más indicado para manejar esta enfermedad una vez establecida en un área. Sin embargo, algunos atributos de las frutas, pueden no coincidir con las exigencias y demandas del mercado, y el hecho que su resistencia podrá ser superada por nuevas cepas patógenas, tal como ha sucedido con la R4 y clones del subgrupo Cavendish, los cuales han tenido enorme impacto en la industria bananera, al lograr mantener efectiva resistencia ante la R1 de Foc, durante sesenta años (Ploetz 2015, Dita *et al.* 2018, citado por Martínez *et al.* 2020).

En la región de ALC se producen más de 33 millones toneladas métricas de plátano y banano. Asimismo, es la región donde se exporta el mayor volumen de fruta, alcanzando un valor superior de US\$ 3,000 millones de dólares americanos, siendo Ecuador el mayor exportador del mundo y Costa Rica ocupa el tercer lugar. Adicionalmente tanto la industria bananera como la platanera generan decenas de miles de trabajos directos e indirectos durante todo el año en las zonas productoras en el trópico y subtrópico del continente americano (CIRAD, citado por Pocasangre *et al.* 2009).

En la actualidad pocos clones con características similares a Cavendish y resistentes a Foc TR4 están disponibles. Los somaclones Cavendish GCTCV-218 y GCTCV-219, de sabor y aspecto similar a Cavendish, han sido desarrollados en Taiwán, con resistencia intermedia a Foc TR4, los cuales son aceptados en el mercado regional, y los mismos, recientemente, se han plantado en Mozambique. Lamentablemente no están disponibles para la región LAC (Dita *et al.*, citado por Martínez *et al.* 2020).

La dinámica de desarrollo de las enfermedades de las musáceas, ha sufrido cambios en cuanto a la velocidad de diseminación y retrocruces, que han fomentado la creación de poblaciones de patógenos con niveles de resistencia a la aplicación de funguicidas, superior a poblaciones pasadas (Martínez *et al.* 2008).

“La naturaleza de Foc y su persistencia en el suelo es irreversible e intratable durante décadas” (Dita *et al.* 2018, citado por Manzo *et al.* 2022), “por lo que las áreas infectadas llegan a ser no aptas para cultivar banano” (Ploetz, citado por Manzo *et al.* 2022).

Foc produce macroconidios, microconidios y clamidósporas. Estas últimas son muy resistentes al estrés biótico y abiótico y fungen como estructuras de resistencia, se conoce que pueden sobrevivir en el suelo hasta por 30 años aún en ausencia de plantas de banano (Carr *et al.* 2017).

“Es evidente la existencia de la raza 4 de *F. oxysporum* sp *cubense*, capaz de atacar al clon de banano Cavendish y plátano. Afortunadamente para América Latina y el Caribe, su movimiento solo ha sido desde Indonesia a Australia” (Martínez *et al.* 2008).

“Foc es un patógeno con una alta variabilidad genética, el cual está compuesto por diferentes linajes; actualmente se reportan 24 grupos de compatibilidad vegetativa (GCVs) distribuidos a escala mundial” (Ordoñez *et al.*, citado por Manzo *et al.* 2022).

“La presencia de Fusarium raza tropical 4 en ALC, alerta al resto de los países a aplicar medidas de bioseguridad para prevenir su ingreso” (Manzo *et al.* 2022).

Sin embargo, Foc R4T es capaz de infectar no sólo los bananos del subgrupo Cavendish, sino también otros clones susceptibles a las razas 1 y 2, como Gros Michel y los del subgrupo Bluggoe. La presencia de síntomas característicos en clones del subgrupo Cavendish constituye un fuerte criterio de sospecha sobre la incursión de Foc R4T en un área. No obstante, otras plagas de las musáceas pueden producir síntomas similares o presentarse en forma de infecciones complejas con variaciones sintomatológicas que conducen a confusiones frecuentes, añadiendo mayor dificultad a su reconocimiento en campo (García *et. al.*, citado por Llauger *et*

al. 2022).

“El hongo tiene la habilidad para establecerse sistémicamente en los vasos del xilema de las plantas de banano, causando una decoloración vascular, amarillamiento y marchitez” (Kidane y Laing, citado por Hernán 2020).

Los síntomas externos inician con un amarillamiento y marchitez de las hojas adultas, progresando a las hojas jóvenes y causando la muerte total, además de presentar una rajadura en el pseudotallo a nivel del suelo. A nivel interno de la planta la infección avanza mostrando una decoloración del cormo y necrosis en los vasos xilemáticos del pseudotallo. Foc produce en el suelo clamidosporas capaces de sobrevivir más de 20 años en ausencia de su hospedero (Caballero *et al.* 2013).

En el suelo, las diferentes formas especiales de *F. oxysporum* muestran una capacidad insignificante para el movimiento propio o el crecimiento sin tejido huésped. Foc parece no ser una excepción, a pesar de que no se encontraron datos experimentales sólidos para respaldar esta afirmación. Las estructuras de Foc permanecen inactivas hasta que son estimuladas para germinar por exudados de raíz huésped o no huésped o por el contacto directo con tejidos de raíz susceptibles (Li, Yang, Li, Sun y Peng, citado por Hernán 2020).

F. oxysporum f. sp. *cubense* puede ser diseminado a grandes distancias a través de rizomas e hijuelos infectados, cuando son utilizados como material de siembra para el establecimiento de nuevas plantaciones. Los hijuelos infectados a menudo no exhiben síntomas de marchitamiento de Fusarium, son asintomáticos. De esta manera, el uso de plántulas propagadas por cultivo de tejidos provenientes de una fuente certificada, garantizará el uso de material de siembra libre de ésta y otras enfermedades (Sotomayor 2012).

La principal dificultad para el seguimiento de la propagación y distribución de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) es la caracterización genética de las razas y cepas (Valencia 2016, citado por Hernán 2020). Los aislados de Foc han coevolucionado con el cultivo de banano, y probablemente se han diseminado a través de rizomas infectados. Las cepas se identifican mediante un análisis del grupo de compatibilidad vegetativa, agrupándose en 4 razas, basadas en la especificidad del huésped. La raza 4 Tropical, es considerada una forma altamente virulenta del hongo y ha provocado pérdidas millonarias en la industria bananera del sudeste asiático (Pérez, Dita, Martínez, citado por Hernán 2020)

En investigaciones se observó la necrosis en los haces vasculares del pseudotallo de banano orgánico, puntuaciones necróticas en el rizoma, amarillamiento y necrosis de las hojas, colapso del peciolo y muerte de la planta. Se han aislado 44 hongos del género *Fusarium* de los cuales 15 aislados se identificaron como *Fusarium solani*, 9 *F. verticillioides*, 13 *F. oxysporum* y 6 *Fusarium* spp. (Aguilar *et al.* 2021).

El patógeno puede también ser diseminado en forma eficiente a grandes distancias, a través de suelo infestado adherido a llantas de vehículos o zapatos. De esta manera, también existiría la posibilidad de que suelo adherido a las patas de animales sea otra manera de diseminación. El hongo también puede diseminarse a corlas distancias a través de implementos, maquinaria agrícola, entrecruzamiento de raíces y en agua superficial (Sotomayor 2012).

1.5.3. Métodos de control de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4, en el cultivo de Banano en el continente americano.

“En países como; Australia en 2015, Israel 2016 y Colombia 2019, se ha confirmado la presencia del patógeno y vienen ejecutando medidas oportunas y eficientes para contener y erradicar el avance del patógeno” (Rodríguez 2019,

Martínez-Solórzano *et al.* 2020, citado por Aguilar *et al.* 2021).

Con la aparición de la nueva Raza Tropical 4 de *Fusarium* (RT4) que ataca severamente a los Cavendish, así como la mayoría de las musáceas comestibles y en la actualidad se está diseminando rápidamente en Asia Pacífico, lo cual representa una amenaza para la industria bananera y platanera de América Latina y el Caribe. Por lo tanto, las medidas a tomar para evitar la entrada del patógeno tienen que realizarse en forma conjunta y necesita la participación coordinada de los programas de protección vegetal y las organizaciones de investigación y producción de musáceas de la región (Pocasangre *et al.* 2009).

En la actualidad no existe control químico sostenible para esta enfermedad. Por ello, en los últimos años existe un consenso general de que la única forma de control efectivo y segura para esta enfermedad lo constituye el mejoramiento genético para la resistencia (Dita *et al.*, citado por García *et al.* 2021).

Se recomienda que los pequeños productores usen semillas o material de propagación a partir de plantas madres sanas, cuyos orígenes estén basados en plantas madres libres de enfermedades (in vitro) o de procedencia conocida que puedan garantizar su pureza clonal y/o excelente estado sanitario, que contribuyan a la creación de plantas de producción de semilla de fundación (Martínez *et al.* 2020).

“Actualmente no existen medidas de combate químico eficientes para la enfermedad, ni buenas prácticas culturales que reduzcan su incidencia y severidad” (Caballero *et al.* 2013).

Se han desarrollado estrategias basadas en la biotecnología vegetal para el mejoramiento genético del banano en la obtención de individuos resistentes o tolerantes a la marchitez por *Fusarium*

(Saraswathi *et al.* 2016, citado por García *et al.* 2021).

Pero, la búsqueda de nuevos cultivares Cavendish resistentes o tolerantes a la enfermedad continúa siendo una prioridad. Por otra parte, la mayoría de los estudios de campo carecen de resultados a largo plazo que contribuyan a evaluar la eficacia de los genes *in situ* (Ploetz *et al.*, citado por García *et al.* 2021).

Una vez que se establece Foc en un campo, las estrategias de manejo de la enfermedad deben estar dirigidas a evitar su propagación. Lo más indicado es el exterminio *in situ* de plantas infectadas o sospechosas, tratando en lo posible la mínima perturbación o remoción del sitio. La aplicación de gran cantidad de urea en ambientes anaeróbicos para tratar material vegetal infectado, ha sido implementada recientemente, a fin de reducir el impacto ambiental con la práctica tradicional, a través del uso de biocidas sistémicos como glifosato o productos similares (incluye hidrocarburos) (Dita *et al.*, Martínez *et al.* 2020).

La producción perenne del cultivo de banano y la naturaleza policíclica de la enfermedad marchitez por *Fusarium* impiden el desarrollo de estrategias de manejo eficientes. A pesar de ello, con el conocimiento y las tecnologías disponibles, hoy es más fácil y efectivo implementar políticas cuarentenarias e impedir así la diseminación de patógenos (García *et al.* 2021).

Hasta el momento no se dispone de un método de combate que sea totalmente efectivo contra Foc. En áreas libres el manejo de la enfermedad debe basarse en medidas preventivas de cuarentena para exclusión de la plaga y de bioseguridad como la utilización de material de siembra sano y desinfección (de herramientas, calzado y maquinaria). En áreas afectadas se hace imprescindible el uso de cultivares resistentes, aunado a una nutrición balanceada y salud del suelo (Carr *et al.* 2017).

En investigación realizada se determinó que el 40 % de aislamientos endofíticos de *Trichoderma* spp., redujeron significativamente el crecimiento radial de los aislamientos de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en comparación con los testigos referenciales de los aislados 2 y 4 de Foc. (Caballero *et al.* 2013).

Se recomienda implementar estrategias de manejo integrado, evitando el ingreso de material contaminado como; material vegetal, herramientas, suelo entre otros, realizar fertilización balanceada, materia orgánica (25 t/ha), aplicar medidas de cuarenta efectivas, implementación de programas de contingencia, uso de hijuelos certificados libres de enfermedades, difusión de los conocimientos del patógeno y de la enfermedad (Aguilar *et al.* 2021).

Dentro de las medidas de control encontramos acciones de vigilancia epidemiológica fitosanitaria para la detección oportuna de la RT4; la capacitación de técnicos y productores, con el interés de lograr conciencia en los productores del riesgo de trasladar material vegetativo; y por último, la exploración y monitoreo de las regiones bananeras (Manzo *et al.*, citado por García *et al.* 2021).

Organismos Internacionales Regionales y gobiernos de varios países productores de banano y plátano como Ecuador, Colombia, Costa Rica, México, Panamá, entre otros, han sugerido una serie de medidas para evitar el ingreso de la raza tropical 4 de *F. oxysporum* f sp. *cubense* a Latinoamérica y El Caribe (Sotomayor 2012), las que se resumen a continuación:

- Evitar importar cormos, hijuelos y todo tipo de material vegetativo de la familia de las musáceas, ya que podrían estar infectados por el patógeno (Sotomayor 2012).
- Evitar la importación de vitroplantas y material de propagación de Heliconias procedentes de países donde se ha reportado la presencia del hongo (Sotomayor 2012).
- Evitar la importación de muestras de suelo de cualquier país donde el

hongo ha sido reportado (Sotomayor 2012).

- Realizar una inspección minuciosa de los medios de transportación procedentes de países afectados, para verificar que vengan libres de suelo contaminado (Sotomayor 2012).
- Todo envío que contenga germoplasma y material de reproducción de musáceas procedentes de áreas no reportadas con esta enfermedad, deberán ampararse con certificados fitosanitarios que evidencien la ausencia del hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza tropical 4 (Sotomayor 2012).
- Capacitar a inspectores de sanidad vegetal sobre el reconocimiento de la sintomatología de la enfermedad a nivel de campo (Sotomayor 2012).
- Implementar técnicas de diagnóstico del patógeno, para disponer de una respuesta rápida en caso de una eventual entrada inesperada del patógeno (Sotomayor 2012).

Para Pérez (2010), entre las recomendaciones para el manejo de la enfermedad se enuncia las siguientes:

- Cuarentena y prohibición de introducción de germoplasma de Musa y otras especies hospedantes de países donde está RT4. Solo introducir desde centros de cuarentena en terceros países.
- Capacitar a productores y técnicos sobre la enfermedad, su nocividad, forma de reconocerla y como se disemina. Diagnóstico de los casos y caracterización de las poblaciones de Foc.
- Identificar antagonistas y desarrollar su producción para su uso en el marco del manejo integrado (medidas de exclusión con uso de semilla sana, mejora de las condiciones del cultivo y de las propiedades biológicas de los suelos de las fincas para permitir antagonismo y saneamiento y rotaciones con clones resistentes o cultivos no hospedantes).

Otras de las medidas de manejo utilizadas tenemos las siembras anuales escalonadas; la utilización de plantas de cultivo de tejidos; la rotación de cultivo; contar en el terreno de siembra con un buen

sistema de drenaje; la incorporación de materia orgánica; y la aplicación del biocontrol mediante *Trichoderma harzianum*. No obstante, estos métodos de control sólo permiten sembrar estos cultivos por períodos cortos, dado a que el hongo vuelve a devastar las plantaciones (Fu *et al.*, citado por García *et al.* 2021).

“Por ello, se ha considerado que el único método eficaz de control es sembrar o plantar hospedantes resistentes a la enfermedad” (Dita *et al.*, citado por García *et al.* 2021).

1.6. Hipótesis

Ho= No es importante conocer el estado actual y presencia de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4, en el cultivo de Banano en el continente americano.

Ha= Es importante conocer el estado actual y presencia de la Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4, en el cultivo de Banano en el continente americano.

1.7. Metodología de la investigación

El presente documento que corresponde al componente práctico de trabajo complejo para la modalidad de titulación, se elaboró mediante la recolección de información de bibliotecas virtuales, textos actualizados, revistas y artículos, ponencias, congresos y todo material bibliográfico de carácter científico que aportó al desarrollo de esta investigación documental.

La información recopilada fue plasmada en el siguiente documento, con bibliografía directa de autores sobre la temática que trata sobre el estado actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el continente americano.

CAPÍTULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Desarrollo del caso

La información recopilada detalla la situación actual de la Marchitez por *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* (Foc) raza tropical 4 (R4T), en el cultivo de Banano, en el continente americano.

El hongo se disemina por el material de siembra principalmente, sean a largas o cortas distancias; por herramientas infectadas; por el agua de riego o a través del suelo por adherirse a los zapatos de las personas, lo que permite todo esto trasladar al hongo de un lugar a otro.

2.2. Situaciones detectadas (hallazgo)

El cultivo de banano (*Musa* spp.) es uno de los cultivos más importantes en las naciones tropicales y subtropicales. Para casi 135 países productores, es una importante fuente de ingresos.

Raza 4 de la existencia de *F. oxysporum* sp. *ubense* puede dañar los plátanos y los clones de banano Cavendish. Los síntomas externos incluyen una fisura en el pseudotallo a ras de suelo, así como un amarillamiento y marchitamiento de las hojas adultas que progresan a las hojas jóvenes y causan la muerte total. La infección se disemina internamente, causando una decoloración del cormo y necrosis en los vasos del xilema del pseudotallo. En el suelo, FOC produce clamidosporas que pueden vivir sin su huésped por más de 20 años.

2.3. Soluciones planteadas

Buscar alternativas que permitan controlar la enfermedad, como materiales resistentes, controles químicos o biológicos eficaces, cuarentena o

erradicación de materiales hospedantes del patógeno.

Evitar importar materiales vegetativos de países donde existe la presencia de la enfermedad, ya que pueden estar infectados del patógeno.

Realizar la siembra escalonada y con excelente sistema de drenaje, adicionando como biocontrol de enfermedades patogénicas productos a base del género *Trichoderma harzianum*.

2.4. Conclusiones

Uno de los cultivos más importantes tanto para generar ingresos como para garantizar la seguridad alimentaria, es el cultivo de banano, por lo tanto es imprescindible controlar las enfermedades que atacan a la plantación. El ataque de enfermedades como la marchitez o el mal de Panamá, representa una amenaza para la producción del cultivo. *Fusarium oxysporum* f sp. *cubense* FOC es la causa de esta enfermedad, considerada como la más dañina y económicamente significativa que afecta al género *Musa*.

RT4 puede representar una amenaza real y significativa para la industria bananera, como lo demuestra la desaparición de Gros Michel en América Central como resultado del Mal de Panamá. Aunque se reconoce que Foc RT4, particularmente es una amenaza para el sistema de monocultivo de la industria comercial Cavendish, la situación es muy diferente en comparación con el período en que prevalecía el mal de Panamá.

La propensión del patógeno Foc a la supervivencia a largo plazo en el suelo y la falta de un tratamiento fiable para erradicarlo son dos motivos principales de preocupación. No hay suficientes áreas nuevas disponibles hoy, en contraste con la era de Gros Michel, para comenzar nuevas plantaciones.

Marchitez por *Fusarium* es la enfermedad de Musaceae más devastadora de la historia, donde los patógenos bloquean el sistema vascular de las plantas, lo que afecta la absorción y el transporte de agua y nutrientes. Como resultado,

la planta se marchita y finalmente muere.

Además, la tierra infectada que se adhiere a los zapatos o a las llantas de los vehículos en movimiento es una forma importante de propagación del patógeno de manera efectiva a una gran distancia. Esto también abriría la puerta a la posibilidad de que la tierra adherida a las patas de los animales sea otro método de dispersión. Además, el hongo puede dispersarse localmente a través de aguas superficiales, maquinaria agrícola, enredos de raíces e implementos.

Actualmente no se ha encontrado control químico ideal para controlar la enfermedad, considerándose el mejoramiento genético como una medida de control efectiva para erradicar la enfermedad.

2.5. Recomendaciones

Promover entre los agricultores bananeros medidas eficaces y oportunas para evitar el ingreso del patógeno a países donde no se ha detectado la presencia de marchitez por *Fusarium* raza 4.

Generar investigaciones entre los países de América Latina y el Caribe para encontrar materiales resistentes a la enfermedad.

Capacitar a los productores bananeros sobre el reconocimiento de la sintomatología de la enfermedad a nivel de campo.

Implementar técnicas de diagnóstico para estar preparados ante una entrada inesperada del patógeno al Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar-Ancota, René, Arévalo-Quinde, Cinthya Geraldine, Morales-Pizarro, Arturo, Galecio-Julca, Miguel. 2021. Hongos asociados a la necrosis de haces vasculares en el cultivo de banano orgánico: síntomas, aislamiento e identificación, y alternativas de manejo integrado. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 249-256. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.028>
- Ayala, M., Sedan, S., Mantilla, D. 2017. Cultivo de banano: evaluación de las variables en la desmovilización de grupos guerrilleros en Colombia. Disponible en <https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/1684/ADM2017-00595.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Caballero Hernández, A., Pocasangre Enamorado, L., Casanoves, F., Avelino, J., Tapia Fernández, A., Ortiz, J. 2013. Uso de aislamientos endofíticos de *Trichoderma* spp., para el biocontrol del *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Mal de Panamá) raza 1 en vitroplantas de banano del cultivar Gros Michel (AAA) en condiciones de invernadero. *Universitas (León): Revista Científica de la UNAN León*, 4(1), 71-82. Disponible en <https://camjol.info/index.php/UNIVERSITAS/article/view/1676>
- Carr, C., Sánchez, M., Alfaro, F., Villalta, R., Sandoval, J., Guzmán, M. 2017. Marchitez por *Fusarium* o mal de Panamá del banano y otras musáceas. Sección de Fitoprotección, Dirección de Investigaciones Corbana. Hoja divulgativa, (11-2017). Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Guzman-2/publication/324804235_Marchitez_por_Fusarium_o_mal_de_Panama_del_banano_y_otras_musaceas/links/5ae3394ba6fdcc9139a188fd/Marchitez-por-Fusarium-o-mal-de-Panama-del-banano-y-otras-musaceas.pdf
- Dita Rodríguez, M., Echevoyén Ramos, P., Pérez Vicente, L. F. 2017. Plan de Contingencia ante un brote de la Raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense en un país de la región del OIRSA.
- Ferrucho, R. L. 2020. Estado actual, biología, epidemiología y manejo de *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Raza 4 Tropical. Memorias Seminario

Científico Cenicafé, 71, e71118-e71118. Disponible en <https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/memorias/article/view/236/232>

García-Velasco, Rómulo, Portal-González, Nayanci, Santos-Bermúdez, Ramón, Rodríguez-García, Armando, Companioni-González, Barbarita. 2021. Mejoramiento genético para la resistencia a marchitez por *Fusarium* en banano. *Revista mexicana de fitopatología*, 39(1), 122-146. Epub 07 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2008-2>

Gonzabay, R. 2017. Cultivo del banano en el Ecuador. *Revista Afese*, 58(58).

Hernán, S. 2020. Análisis descriptivo del patógeno *Fusarium* Raza 4 y las alternativas de control en plantaciones bananeras. Universidad Agraria del Ecuador. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SALAZAR%20CANALES%20CHRISTIAN%20HERNAN.pdf>

Llauger, R., Peralta, E. L., López, V., López, D., Brunel, S., Dusunceli, F. 2022. Estrategia y Plan de Acción Regional para la Preparación, Prevención, Detección, Respuesta y Recuperación de América Latina y el Caribe a la Marchitez por *Fusarium* de las Musáceas–Raza 4 Tropical. Food & Agriculture Org.. Disponible en https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=CL1qEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Estado+actual++de+la+Marchitez+por+Fusarium+raza+tropical+4,+&ots=BBcCkaCFJt&sig=_-zbXYsSI8rIIAsGbeO86SSv1aU#v=onepage&q=Estado%20actual%20%20de%20la%20Marchitez%20por%20Fusarium%20raza%20tropical%204%2C&f=false

Manzo-Sánchez, G., Buenrostro-Nava, M. T., Leoparpi-Verde, C. L., Orozco-Santos, M. 2022. *Fusarium* raza 4 tropical, el principal enemigo de las musáceas. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26(2), 21-22. Disponible en <http://ojs.ucol.mx/index.php/agropecuaria/article/view/529/433>

Manzo-Sánchez, Gilberto, Orozco-Santos, Mario, Martínez-Bolaños, Luciano, Garrido-Ramírez, Eduardo, Canto-Canche, Blondy. 2014. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa* sp.) en México. *Revista mexicana de fitopatología*, 32(2), 89-107.

- Martínez, G. 2009. Situación nacional de las Musáceas. Producción Agropecuaria, 2(1), 31-44. Disponible en <https://investigacion.unesur.edu.ve/index.php/rpa/article/view/40/31>
- Martínez, G., Delgado, E., Rodríguez, D., Hernández, J., Del Valle, R. 2008. Breve análisis sobre la producción de Musáceas en Venezuela. Producción Agropecuaria, 1(1), 24-29. Disponible en <https://investigacion.unesur.edu.ve/index.php/rpa/article/view/31/22>
- Martínez-Solórzano, G. E., Rey-Brina, J. C., Pargas-Pichardo, R. E., Enrique-Manzanilla, E. 2020. Marchitez por Fusarium raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano 1 Fusarium wilt by tropical race 4: Current status and presence in the American continent.
- Pérez Vicente, L. 2010. Marchitez por fusarium o mal de panamá: una enfermedad re-emergente de las musáceas que amenaza la sostenibilidad alimentaria. Disponible en <https://ediciones.inca.edu.cu/files/congresos/2010/CDMemorias/memorias/ponencias/talleres/AES/ra/AES-O.25.pdf>
- Pocasangre, L., Quesada, L., Brown. D. 2009. Reunión de grupos de interés sobre los riesgos de la raza tropical 4 de Fusarium, BBTV y otras Plagas de Musáceas para la Región del OIRSA, América Latina y el Caribe: Documentos de programa y resúmenes de la Reunión OIRSA Sede Central, San Salvador, El Salvador, 29 al 31 julio de 2009.
- Sotomayor Herrera, I. A. 2012. La raza tropical 4 del mal de Panamá: Amenaza potencial para la industria bananera y platanera del Ecuador. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3373/1/BD-418.pdf>
- Vézina, A. 2008. Importancia del acceso a recursos genéticos de Musa en América Latina y el Caribe. Recursos Naturales y Ambiente Número 53 (Abril 2008), páginas 72-80. Disponible en [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9177/Importancia_d el_acceso_a_recursos.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9177/Importancia_del_acceso_a_recursos.pdf?sequence=4&isAllowed=y)