



## Actualización sobre el manejo de la marchitez por *Fusarium* Raza 4 Tropical en musáceas

Gustavo E. Martínez-Solórzano<sup>1\*</sup> , Juan C. Rey-Brina<sup>1</sup> , Rafael E. Pargas-Pichardo<sup>1</sup> ,  
Milagros Domínguez<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Instituto Nacional Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Maracay, Aragua, Venezuela. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Sanidad Agrícola Integral (INSAI), Oficina Delta Amacuro. Tucupita, Delta Amacuro, Venezuela.  
\*Correo electrónico: [martinezgve@yahoo.es](mailto:martinezgve@yahoo.es)

### RESUMEN

Las musáceas comestibles (plátanos, bananos) se ubican entre los cultivos y frutas más importantes, por su aporte nutricional y económico. En la actualidad pocos clones dominan la producción comercial a nivel mundial, restringiendo la variabilidad y aumentando la posibilidad de ser más vulnerables a enfermedades extremadamente peligrosas. Actualmente la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T) es considerada como la más letal para las musáceas, al no existir control eficiente y clones naturales que puedan sustituir los actuales. El objetivo de este trabajo fue presentar una revisión y análisis de investigaciones relacionada con las medidas utilizadas para enfrentar la marchitez por *Foc* R4T en musáceas comestibles. Ante un control deficiente de la enfermedad, se detallan las nuevas propuestas dentro del manejo integrado que involucran la exclusión, contención, prácticas culturales, control químico, control biológico y protocolos de bioseguridad. Así mismo el uso de clones resistentes obtenidos por mejoramiento convencional y biotecnología, con características diferentes a los actuales; o a través de nuevas técnicas como modificación o edición genética, que podría aportar características agronómicas y organolépticas similares a los actuales. Ante el primer reporte de *Foc* R4T en LAC todos los países se encuentran en riesgo, siendo necesario la promoción y ajuste de su manejo para resguardar la seguridad alimentaria la cual depende en gran medida de pequeños productores.

**Palabras clave:** banano, plátanos, producción, enfermedades.

## Update on the management of Tropical *Fusarium* Wilt Race 4 in musaceae

### ABSTRACT

Edible musaceae (plantains, bananas) are among the most important crops and fruits, due to their nutritional and economic contribution. Few clones currently dominate commercial production globally, restricting variability and increasing the possibility of being more vulnerable to extremely dangerous diseases. Currently the wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (*Foc* TR4) is considered the most lethal for musaceae, as there is no efficient control and natural clones that can replace the current ones. The objective of this work was to present a review and analysis of research related to the measures used to confront *Foc* TR4 wilt in edible musaceae. Faced with poor control of the disease, the new proposals within integrated management that involve exclusion, containment, cultural practices, chemical control, biological control and biosafety protocols are detailed. Likewise, the use of resistant clones obtained by conventional breeding and biotechnology, with different characteristics from the current ones; or through new techniques such as genetic modification or editing, which could provide agronomic and organoleptic characteristics similar to the current ones. Before the first report of *Foc* TR4 in LAC all countries are at risk, being necessary the promotion and adjustment of their management to protect food security which depends largely on small producers.

**Key words:** banana, plantain, production, diseases.

Recibido: 19/02/2020 - Aprobado: 27/08/2020



## INTRODUCCIÓN

Las musáceas se ubican entre los cultivos y frutas más importantes, principalmente por su aporte nutricional y económico. Varios trabajos indican que la pulpa de fruta madura contiene vitamina C, riboflavina, tiamina, magnesio, potasio, fósforo, calcio, hierro, zinc, entre otros, además de proteínas, carbohidratos, fibra, varios antioxidantes como galocatequina, dopamina así como lectina, que es una proteína de carbohidratos que funciona como agente antiviral de amplio espectro (Kanazawa y Sakakibara 2000, Gavrovic *et al.* 2008, Blasco y Gómez 2014, Hapsari y Lestari 2016).

América Latina y el Caribe (LAC) contribuyen con 28 % de la producción mundial y más del 80 % de exportaciones de frutas frescas o procesadas (FAO 2019). En esta región se produce banano, en su mayoría a través del monocultivo de clones del subgrupo Cavendish y plátanos –subgrupo Plantain–, ambos dedicados para la exportación y consumo local, lo cual demuestra su importancia en la economía y seguridad alimentaria del continente americano (FONTAGRO 2019).

La producción de estos cultivos implica varios ciclos, que los definen como plantaciones permanentes o semipermanentes, y dada la naturaleza policíclica de algunos patógenos hacen que existan distintos niveles de susceptibilidad a varias enfermedades. Entre estas, la marchitez por *Fusarium*, es considerada como la más letal para las musáceas, debido que el patógeno causante de la misma puede sobrevivir en el suelo en estado de latencia por largo periodos de tiempo, con diferentes formas de dispersión (Li *et al.* 2015, Siamak y Zheng 2018, Martínez *et al.* 2020). Esta característica limita severamente su manejo o control, lo que hace necesario el desarrollo de nuevas propuestas a tal fin (Wang *et al.* 2014, Dale *et al.* 2017, Siamak y Zheng 2018).

El primer reporte de marchitez por *Fusarium* en banano, fue en Australia en 1874, y se identificó su agente causal como *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), hongo del suelo con tres razas (R) de acuerdo a su rango de hospederos. La única forma efectiva de manejar la enfermedad ha sido a través de la exclusión, diagnóstico y contención. Una vez que se detecta el primer foco de infección, todas las medidas deberán estar enmarcadas dentro del

concepto de Manejo Integrado de la Enfermedad (MIE), donde debe prevalecer el conocimiento de la interacción hospedero-patógeno (Banano Cavendish – *Fusarium*), considerando que en casos de alta presión de inóculo, la mejor opción es el uso de variedades resistentes (Ploetz 2015).

El objetivo de este trabajo fue presentar una revisión y análisis de investigaciones relacionada con las medidas utilizadas para enfrentar la marchitez causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Raza 4 Tropical (*Foc* R4T) en musáceas comestibles.

## DESARROLLO

### Agente causal de la enfermedad

Se señala a *Foc* R4T, recientemente clasificado como *Fusarium odoratissimum* (Maryani *et al.* 2019) como la causa de la marchitez por *Fusarium* en banano Cavendish y otros clones comestibles. Es un hongo del suelo con amplia capacidad de supervivencia a través de sus clamidosporas, que le permiten permanecer en estado de latencia sin hospederos naturales o tejidos colonizados, por largo periodo de tiempo, para luego activarse y dar inicio a la enfermedad (Martínez *et al.* 2020). Durante su proceso de dispersión en las plantaciones por varias vías –suelo, agua, herramientas, equipos agrícolas, ropa, botas, restos vegetales– se puede originar la introducción de nuevos alelos entre las poblaciones existentes, ocasionando grandes cambios en su estructura genética (Meldrum *et al.* 2013, Costa *et al.* 2014, Ploetz 2015, López y Castaño 2019).

A través de su reproducción asexual se producen microconidios, macroconidios y clamidosporas y aunque no existen reportes de su recombinación sexual se considera altamente variable. Utiliza mecanismos como mutación, elementos transponibles en el genoma, anastomosis hifal, flujo de genes y selección; además de poseer la habilidad para invadir el tejido vegetal, optimizar su crecimiento y propagarse dentro de la planta (Costa *et al.* 2014, Pegg *et al.* 2019). Puede ingresar a la planta a través de heridas en las raíces y espacios intercelulares, a diferencia de *Foc* R1 que solo lo hace por las heridas (Li *et al.* 2017).

Una vez realizada la penetración, puede invadir las células epidérmicas de las partes apicales y elongación de las raíces –sanas o dañadas–, y antes de

manifestarse los síntomas de la enfermedad, ya existe un avance y posicionamiento significativo de *Foc* en el xilema. No existe una forma práctica y efectiva de detectar plantas infectadas hasta que se expresen los síntomas externos, lo cual dificulta su manejo adecuado (Warman y Aitken 2018, Agrocalidad 2018, Pegg *et al.* 2019).

Al originarse la muerte de tejidos, el patógeno tiene la habilidad para desplazarse a zonas de las vainas exteriores del pseudotallo e inclusive en las venas centrales de las hojas, produciendo macroconidias y clamidosporas, lo cual podrían potenciar su propagación a consecuencia de prácticas de deshoje o despunte, que se realizan frecuentemente para el control del complejo sigatoka (Warman y Aitken 2018).

Se considera un patógeno hemibiotrófo, ya que la infección inicial establece una relación biotrófica con el huésped, pero finalmente pasa a condición de necrotrofo donde se destruye el tejido del huésped (Dita *et al.* 2018, Pegg *et al.* 2019). Es capaz de causar marchitez a bajos niveles de inóculo, pudiendo estar activo o pasivo a cierta profundidad en el suelo, con múltiples ciclos de infección en la plantación (Ploetz 2015).

Al originarse la infección, en la planta se activan mecanismos de defensa que incluyen compuestos antimicrobianos preexistentes o inducibles, proteínas relacionadas con la patogénesis, péptidos antimicrobianos pequeños y especies reactivas al oxígeno. Así mismo compuestos antioxidantes que conllevan a una acumulación de fitoalexinas que causan incremento de la cantidad total de polifenoles libres (Segura 2019). Durante el proceso de colonización del patógeno, se genera una formación extensa de conidios dentro del xilema que se mueven libremente en la corriente de transpiración hasta que son bloqueadas temporalmente por respuesta de defensa de la planta (Pegg *et al.* 2019).

La manifestación en campo de los primeros síntomas de la marchitez por *Foc*, inicialmente comienza en una o pocas plantas, debido a la baja presión de inóculo o por largo período de latencia del patógeno en el suelo, y su expresión está directamente relacionada con la presencia del ácido fusárico producido por hongo. A medida que progresa la enfermedad aumenta la cantidad de inóculo en el área y los síntomas se desarrollan más rápidamente, observándose mayor

cantidad de plantas afectadas en un patrón aleatorio (Pegg *et al.* 2019). En algunas plantas la expresión de los síntomas no se detecta hasta el inicio de la floración. En las Figuras 1 y 2, se pueden observar los síntomas de la enfermedad en una planta de banano Cavendish, cultivada en Taiwán.

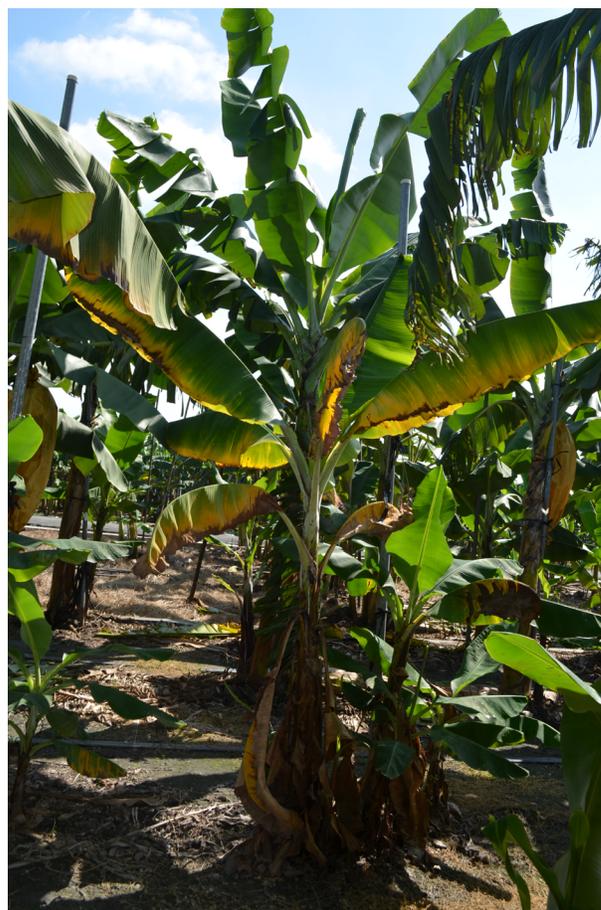


Figura 1. Planta de banano Cavendish con síntomas de la marchitez causada por *Foc* R4T en Taiwán. (Imagen cortesía del Dr. Miguel Dita, Bioversity)

En todos los casos la diseminación de la enfermedad entre plantas se produce mediante el contacto de raíces de plantas vecinas –propagación activa–, mientras que los nuevos focos de infección resultan de la dispersión pasiva del inóculo; esto resalta la importancia del protocolo de bioseguridad para *Foc* R4T –diseñado para reducir la cantidad de inóculo que llega al suelo– y la detección temprana de los focos de infección (Pegg *et al.* 2019).



Figura 2: Detalle en corte transversal y longitudinal del pseudotallo de planta de banano Cavendish afectada por *Foc* R4T en Taiwán. (Imagen cortesía del Dr. Miguel Dita, Bioversity).

### Generalidades sobre el manejo de *Foc* R4T

Debido a la poca disponibilidad de clones resistente a *Foc* R4T, comercialmente viables y medidas de control efectivas, lo más indicado es evitar la entrada del patógeno en zonas libres del mismo y la implementación de estrategias eficientes dentro del MIP. Es indispensable una comprensión integral de su epidemiología que implica el conocimiento del patógeno dentro y fuera de los tejidos vegetales y su potencial para sobrevivir en condiciones extremas (Warman y Aitken 2018, Bubici *et al.* 2019).

Por su compleja naturaleza, *Foc* es particularmente difícil de controlar debido a: a) es un hongo del suelo capaz de sobrevivir en el mismo por más de 20 años en ausencia de hospederos naturales o alternativos

con expresión asintomática; b) es un patógeno vascular que puede escapar de la acción de productos de control una vez que penetra en la planta; c) tiene la capacidad de propagarse por distintos medios (material vegetal, agua, suelo, hombre, maquinarias, entre otros) y (d) hay una prevalencia de sistemas de monocultivo de banano Cavendish –susceptible a este patógeno– en el contexto mundial (Hennessy *et al.* 2005, Bubici *et al.* 2019, Martínez *et al.* 2020).

Dita *et al.* (2018), indicaron que las estrategias a implementar para su manejo pueden variar de acuerdo a cuatro situaciones distintas: (i) Ausencia de *Foc*, donde es imprescindible adoptar medidas de exclusión para evitar su entrada a otras áreas libres del mismo; (ii) Primera incursión de *Foc*, donde las medidas de contención deben aplicarse rápida y escrupulosamente, mientras que las medidas de exclusión tendrán vigencia solamente en áreas cercanas, libres del patógeno; (iii) Baja prevalencia de *Foc*, donde su manejo se puede implementar; (iv) Alta prevalencia de *Foc*, donde las medidas de contención son obviamente inefectivas, y el MIE puede ser cuestionable, siendo necesario el uso de clones resistentes. Dada su reciente declaratoria en Colombia, los escenarios (i) y (ii) se corresponden con la región de LAC.

A continuación se indican limitaciones y bondades de un conjunto de estrategias para enfrentar el *Foc*:

## 1. Prácticas Culturales

### a. Eliminación in situ de plantas infectadas.

Para evitar la propagación del *Foc* una vez determinada su presencia en el área, lo más indicado es la eliminación in situ de plantas infectadas o sospechosas. Se debe aplicar gran cantidad de urea para crear ambientes anaeróbicos y ayudar a acelerar la descomposición de tejidos vegetales, y así reducir el impacto ambiental que causa el uso de biocidas como glifosato o productos similares, o los hidrocarburos (Dita *et al.* 2018, Martínez *et al.* 2020). Se ha recomendado la eliminación de plantas vecinas o adyacentes al foco de infección detectado, para conformar un anillo simple o doble para reducir la diseminación del patógeno hacia áreas libres. Además es necesario complementar con otras estrategias como el uso de desinfectantes para la limpieza de botas, herramientas y maquinaria (Nel *et al.* 2007,

Meldrum *et al.* 2013, López y Castaño 2019). Las respuestas más consistentes han sido obtenidas con sales de amonio cuaternario que pueden generar desintegración de estructuras del patógeno (Huang *et al.* 2017). Estas sales actúan de manera efectiva al ser usadas para limpiar o esterilizar superficies, implementos y maquinarias, entre otras, a fin de minimizar la propagación de patógenos, con bajo impacto ambiental y sin causar corrosión (Nel *et al.* 2007, Meldrum *et al.* 2013).

#### **b. Uso de altas temperaturas.**

La incineración *in situ* de restos vegetales infectados es una práctica común en diversos países como Taiwán y Australia, utilizando para ello láminas de aluminio o zinc, para no afectar plantas vecinas sanas (Pérez *et al.* 2014). Otra variante es la solarización del suelo utilizando plásticos transparentes para cubrir restos vegetales, repicados y tratados con urea o cualquier producto que pueda acelerar su descomposición (Pérez *et al.* 2014, Dita *et al.* 2018, Bubici *et al.* 2019). Hermanto *et al.* (2012), demostraron que en un suelo infectado con *Foc* R4T, sometido únicamente a este tratamiento, la aparición de la enfermedad se retrasó más tiempo que con la práctica de rotación de cultivo con maíz, durante dos siembras consecutivas y barbecho durante 10 meses.

La práctica de solarización del suelo para el control de plagas, está en función del tiempo y la temperatura. Se debe considerar que muchos patógenos, malezas y otras plagas, son mesófilos, por cuanto un umbral de temperatura de 37 °C es crítico, y los efectos del calor a temperaturas superiores a este punto durante cierto tiempo es letal para todos ellos (Abu-Irmaileh 2004, Parra *et al.* 2015). Por lo general con la solarización, las temperaturas pueden llegar a más de 45 °C en los primeros 15 cm, lográndose controlar muchas plagas en la zona radical –entre 10 a 30 cm–, al usar de cuatro a ocho semanas de solarización (Abu-Irmaileh 2004).

Esta práctica podría ser combinada con el uso de abonos orgánicos (compost, bokashi, entre otros), lográndose incrementar la temperatura del suelo en menor tiempo. Además causa un efecto biotóxico *in situ* al liberarse compuestos volátiles provenientes de la descomposición de las fuentes orgánicas (Abu-Irmaileh 2004). La solarización del suelo ha

demostrado ser una práctica efectiva y amigable con el ambiente, que por su eficiencia económica y facilidad, así como las acciones sinérgicas con otras tácticas de manejo, permiten que sea incluida dentro del MIP (Abu-Irmaileh 2004, Parra *et al.* 2015).

#### **c. Control de malezas.**

Esta práctica además de contribuir a reducir la competencia por nutrimentos, agua y espacio con las malezas, conlleva a disminuir la presión del inóculo inicial presente en estos hospedantes alternos, considerados portadores endofíticos. En muchas ocasiones pueden presentarse como plantas asintomáticas, lo cual hace difícil su ubicación e identificación en campo (Hennessy *et al.* 2005, Pérez 2015, López y Castaño 2019). La raza 1 de *Foc* fue encontrada en *Paspalum fasciculatum*, *Panicum purpurescens*, *Ixophorus unisetus* y *Commelina diffusa*; mientras que la raza 4 subtropical de *Foc* se encontró en *Paspalum* spp., y *Amaranthus* spp. Así mismo, *Foc* R4T se ha señalado en raíces de *Chloris inflata*, *Euphorbia heterophylla*, *Cyanthillium cinereum* y *Tridax procumbens* (Hennessy *et al.* 2005, Dita *et al.* 2018).

Contrario a lo que comúnmente se asume, las clamidosporas de *Foc* son producidas constantemente una vez que el huésped es invadido, y su capacidad para colonizar y crecer saprofiticamente en los desechos aumenta la producción de las mismas, contribuyendo a su mayor persistencia en el suelo (Dita *et al.* 2018). Esto sugiere que *Foc* puede sobrevivir como endófito en otros sistemas y cuando el cultivo de bananos es replantado en el área, las malezas pueden actuar como reservorio de inóculo. El impacto de las prácticas de manejo de malezas en la dispersión de *Foc* y su supervivencia, necesitan más atención (Dita *et al.* 2018).

#### **d. Rotación de cultivos o cultivos de cobertura.**

La rotación de cultivos además de contribuir a mejorar algunas propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos, puede contribuir a reducir el inóculo de *Foc*, al crear un ambiente supresivo o al reducir o eliminar malezas con o sin síntomas. Se debe tener en cuenta estrategias como la siembra intercalada o rotación con especies no hospedantes del hongo, como yuca (*Manihot esculenta*) (Buddenhagen 2009), puerro chino (*Allium tuberosum* Rottler) y piña

(*Ananas comosus*), debido que *Foc* tiene la capacidad de colonizar otros cultivos (Buddenhagen 2009, Zhang *et al.* 2013, Wang *et al.* 2015, López y Castaño 2019, Martínez *et al.* 2020).

Dita *et al.* (2018) indicaron que el maní pinto (*Arachis pintoi*) como cobertura, redujo 20 % la intensidad de marchitez por *Fusarium* en bananos; además, se generó efecto positivo en el rendimiento al incrementar el peso del racimo. Pegg *et al.* (2019), indicaron que al utilizar el arroz como cultivo, en los suelos sumergidos, la población de *Foc* disminuyó a niveles no detectable en cuatro meses.

#### e. Manejo de suelos.

Al modificarse el microbioma suelo – planta se puede afectar la incidencia de marchitez por *Fusarium*, mediante la creación de ambientes supresores en el suelo o por obstaculizar la penetración del hospedador y la colonización (Dita *et al.* 2018). De acuerdo con Shen *et al.* (2015) y Dita *et al.* (2018), la presencia de una microbiota activa y funcionalmente diversa donde exista gran cantidad de colonias de microorganismos activos, debería tener mayor capacidad para suprimir la enfermedad. Adicionalmente, utilizar suelos bien drenados y aireados con menor contenido de arcilla, reducen la enfermedad, al mejorar el desarrollo radical y la actividad microbiana (Domínguez *et al.* 2001, Dita *et al.* 2018, Bubici *et al.* 2019).

El uso de materia orgánica (MO) altamente enriquecidas con microorganismos y aplicadas en diferentes dosis, es esencial para la salud del suelo y supresión de enfermedades (Larkin 2015, Dita *et al.* 2018). No obstante, existen riesgos en el manejo de la misma por desconocimiento de su naturaleza. La aplicación de estiércol de pollo, sin la debida descomposición, puede aumentar la enfermedad debido a mayor daño causado en la raíz. Esto por el efecto de las altas temperaturas generada por su descomposición, y que además conlleva a un menor pH del suelo. Ambos actúan como factores predisponentes para la enfermedad (Bonanomi *et al.* 2010, Dita *et al.* 2018, Martínez *et al.* 2020).

#### f. Riego y drenaje.

Las inundaciones pueden contribuir con la reducción de poblaciones de la mayoría de los organismos del suelo; sin embargo, la recontaminación del vacío biológico resultante, por *Foc* ocurre de manera

rutinaria (Pegg *et al.* 2019). La aplicación de riego en altos volúmenes a través de canales de gravedad o ausencia de drenaje eficiente, favorecen el desarrollo de la enfermedad, así como su intensidad.

#### g. Nutrientos.

La nutrición puede aumentar o disminuir la resistencia a plagas y enfermedades, debido a su efecto en el crecimiento, morfología, anatomía y, particularmente, en la composición química de las plantas, y pueden influir en la intensidad de las enfermedades (Yamada 1995, Dita *et al.* 2018). En el caso de *Foc*, esta condición puede ser más compleja, debido al impacto directo en el hábitat del patógeno (Domínguez *et al.* 2001, Dita *et al.* 2018).

El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) aumenta el pH cerca de la rizosfera, contribuyendo a aumentar el contenido la lignina, manteniendo mayor tasa fotosintética y mejorando la absorción de nutrientes relacionada con la resistencia. El amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) puede favorecer la penetración del hongo a través de las raíces, al mantener estable el contenido de lignina que afecta la regulación de la exudación de citrato que condiciona la intensidad de la enfermedad (Dita *et al.* 2018, López y Castaño 2019).

Una condición baja de fósforo en el suelo y plantas deficientes en potasio, conllevan a una alta incidencia y mayor susceptibilidad a la marchitez, mientras que el calcio y magnesio, parecen reducirla al estar asociados al aumento del pH (Dita *et al.* 2018). Mayor contenido de hierro podría promover la germinación de esporas *Foc* y aumentar la severidad de la enfermedad (Domínguez *et al.* 2001). El zinc (Zn) en óptimos niveles contribuye a mejorar la formación de tilosa barreras físicas que obstruyen el paso del patógeno hacia el rizoma (Dita *et al.* 2018). El silicio (Si), mejora las propiedades mecánicas y fisiológicas de las plantas, y contribuye a superar estrés bióticos y abióticos, e induce a la activación de resistencia mecánica y a la creación de una capa protectora externa (Wang *et al.* 2017, Bubici *et al.* 2019).

## 2. Uso de químicos

En general el uso de productos químicos, por la facilidad de obtención, empleo y rapidez con que se observan los resultados, es la estrategia más usada para el control de patógenos. No obstante, su uso

inadecuado e indiscriminado puede generar mutaciones o resistencia en la población de patógenos tratados, con efectos colaterales en humanos, animales y ambiente (Ramu *et al.* 2016, López y Castaño 2019).

En el caso de *Fusarium*, debido a sus estructuras de resistencia, la eficiencia de estos productos ha quedado comprometida. Existen pocas referencias sobre el control de *Foc* en campo mediante el uso de fungicidas, tal como el carbendazim, procloraz, propiconazole o benomil, o *in vitro* como fosfonato, ácido ambuico, organoestaño mandelatos, carbendazim, carboxina, propiconazol, benomilo y difenconazol, requiriéndose mayor validación (Nel *et al.* 2007, Bubici *et al.* 2019, López y Castaño 2019).

Recientemente se reportó el uso de nanopartículas de plata (AgNPs) como sustancia antimicrobiana en diferentes productos para el control de microorganismos. Se ha observado mayor efectividad para el control de *Foc* R4T, a dosis de 200 a 400 mL.L<sup>-1</sup>, aplicadas a intervalos ente 1 a 2 meses a plántulas de bananos, en suelos previamente solarizados por 3 meses, lo cual ha incrementado su uso entre productores (Almomany *et al.* 2019): no obstante, se recomienda efectuar mayor cantidad de pruebas en campo, antes de recomendar su uso.

### 3. Uso de extractos y aceites esenciales de plantas con propiedades antifúngicas

Los métodos alternativos para el control de enfermedades se han estudiado con énfasis en nuevos compuestos como extractos vegetales y bioaceites con propiedades de fungicidas derivados de diversas fuentes de recurso fitogenéticos y algunos han sido reportados para el control de *Foc*, tales como extractos de plantas de pimienta (*Piper betle*), neem (*Azadirachta indica*), ajeno (*Artemisia annua*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), albahaca (*Ocimum sanctum*) y ruibarbo (*Rheum emodi*) (Villa *et al.* 2015, López y Castaño 2019, Oltehua *et al.* 2019).

En banano la eficacia de una formulación comercial a base de extractos metanólicos de hojas de la planta trompeta del diablo (*Datura metel*), que contenía también agentes emulsificantes, estabilizadores, solventes, y algunos microorganismos de control biológico redujo el crecimiento micelial en 90 %, mientras que en condiciones de campo, mostro reducción

hasta del 65 % de la marchitez por *Foc* (Villa *et al.* 2015).

Aceites esenciales de clavos aromáticos (*Eugenia aromatica* y *Syzygium aromaticum*), canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume.), de hojas de Zimmu (*Allium cepa* L. x *Allium sativum* L.) y de puerro chino (*Allium ampeloprasum* var. *Porrum*), demostraron efecto inhibitorio sobre el crecimiento micelial y germinación de conidios, incluyendo la raza 4 (Villa *et al.* 2015, López y Castaño 2019). Adicionalmente se señala que los aceites esenciales de Oregano (*Origanum vulgare*) y Pimienta Tabasco (*Pimenta dioica*), a nivel *in vitro* pudieron inhibir el 100 % del crecimiento micelial de *Foc* en concentraciones de 5.000, 3.000, 1.000, 750 y 500 µL.L<sup>-1</sup> y 1.000, 3.000 y 5.000 µL.L<sup>-1</sup> respectivamente. Por lo que su uso en campo puede ser utilizado en tratamientos profilácticos como desinfección de material propagativo y herramientas de trabajo, entre otros (Oltehua *et al.* 2019).

### 4. Uso de control biológico

El control biológico ha ganado interés en los últimos años y ha tomado campo dentro de los programas de MIE (López y Castaño 2019); aunque, históricamente han generado resultados inconsistentes, debido a múltiples variables ambientales, genéticas, fisiológicas, entre otras difíciles de controlar, que pueden interactuar y estar presentes en cualquier agroecosistema (Bubici *et al.* 2019).

Varios trabajos indican presencia de colonias de *Fusarium* spp. no patogénicos en algunos suelos supresivos, generando comportamiento antagónico ante el desarrollo de cepas patogénicas de otros *Fusarium*, estableciendo competencia por carbono, nutrientes, sitios de infección o inducción de resistencia sistémica (López y Castaño 2019). Efectos similares a los inducidos por bacterias promotoras del crecimiento vegetal y cepas no patogénicas de *Bacillus subtilis*, que inhiben el crecimiento micelial y colonizan los tejidos de la planta disminuyendo la incidencia de la enfermedad (Sun *et al.* 2011); igual situación se ha señalado para el caso de *Pseudomonas* (Saravanan *et al.* 2003, Lian *et al.* 2008, Thangavelu y Jayanthi 2009, Bubici *et al.* 2019, López y Castaño 2019).

Zapata (2019), observó que aislamientos de *Bacillus amyloliquefaciens* presentaron tendencia a la reducción de la incidencia y severidad de la marchitez por *Fusarium* en suelos contaminados artificialmente con *Foc* R1, en los primeros 28 días después de la inoculación. Igual comportamiento fue observado con bacterias biocontroladoras como *Burkholderia* sp., *Herbaspirillum* sp., Gamma-proteobacterias; y con los hongos *Gigaspora margarita*, *Glomus mosseae* y *Trichoderma harzianum* (Borges et al. 2007, Weber et al. 2007, Köberl et al. 2017, López y Castaño 2019). El uso de *Trichoderma* spp., en combinación con plantas sanas han mostrado excelentes resultados a escala comercial ante *Foc* R1, siendo necesario mayor cantidad de pruebas ante *Foc* R4T (Bermúdez 2014).

Otros microorganismos como *Serratia marcescens*, *Streptomyces griseus*, *Streptomyces violaceusniger*, inducen en *Fusarium* producción de hifas distorsionadas y lisis, inhibiendo formación y germinación de conidios, y degradación de la pared celular, similar a los causados por productos a base de quitosano (Al-hetar et al. 2011, Bubici et al. 2019, López y Castaño 2019).

## 5. Uso de promotores o inductores de resistencia

Las plantas generan gran cantidad de respuestas ante la presencia de entes invasores como patógenos o por el medio circundante, que les permiten reconocer al agresor y activar sus mecanismos de defensa. Las sustancias químicas o factores bióticos que desencadenan un cambio en el metabolismo de la planta son llamados elicitores, y la primera manifestación inducida en las plantas es la hipersensibilidad (HR), que consiste en una muerte celular localizada en el sitio de infección, generada por la presencia del ácido salicílico –AS– y la explosión oxidativa por las especies reactivas de oxígeno –ROS–, como el peróxido de hidrógeno –H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>– y al radical súper óxido –O<sup>-2</sup>– (Villa et al. 2014, Segura 2019).

Productos como ácido indolacético, acibenzolar-metil, menadiona bisulfito de sodio, fosfitos, y acibenzolar-S-metil, tienen la capacidad de acelerar la respuesta de defensa de la planta al ataque del patógeno; así como proporcionar una protección de larga duración, y disminuir la aplicación de plaguicidas químicos (Nel et al. 2007, Bermúdez 2014, Bubici

et al. 2019, López y Castaño 2019). También existen reguladores de crecimiento de generación reciente donde se destaca el grupo de jasmonatos. Actúan principalmente como promotores de la defensa en plantas, por la activación enzimática generada por el metil jasmonato sobre plántulas de banano inoculadas con *Foc* R4T. Aun cuando se considera que no están bien establecido los mecanismos de acción del mismo, en plantas de Cavendish inoculadas con *Foc* R1 se ha observado acumulación endógena del mismo, que puede mejorar la resistencia a *Foc* R4T (Sun et al. 2011, Wu et al. 2013, Bermúdez 2014, Siamak y Zheng 2018, López y Castaño 2019).

La aplicación de inductores de resistencia sistémica se ha convertido en los últimos años en una herramienta estratégica en el manejo de las enfermedades (Bermúdez 2014, Villa et al. 2014).

## 6. Mejoramiento genético

Es la estrategia más indicada a mediano y largo plazo para manejar la enfermedad a través de cultivares resistentes; sin embargo, algunos atributos de las frutas, pueden no coincidir con las exigencias y demandas del mercado. El mejoramiento genético en musa puede realizarse por diferentes vías:

### a. Convencional

Las musáceas comestibles son cultivos difíciles de mejorar genéticamente debido a la existencia de: 1) hibridación interespecífica que impide la transferencia de rasgos agronómicos deseables; 2) poliploidia; 3) largo ciclo de producción; 4) esterilidad de la mayoría de los cultivares; 5) baja variabilidad genética en el germoplasma. Adicionalmente se debe considerar que la introducción de múltiples genes resistentes a hongos, bacterias y virus, puede causar reducción considerable del rendimiento o intensificar otros rasgos agrícolas indeseables debido al vínculo genético (Tripathi et al. 2020). A pesar de ello, los programas de mejoramiento genético han obtenido cierto progreso y como resultado se han generado nuevos clones para su evaluación (Leiva 2006).

Muchos de estos programas se basan en la utilización de la resistencia encontrada en especies silvestres de *Musa*, tales como: *Musa acuminata* ssp. *burmannica*, *Musa acuminata* ssp. *malaccensis* y *Musa acuminata*

ssp. *siamea*, también en los cultivares diploides Pak (AA), Pisan lilin (AA). Por consiguiente el mejoramiento convencional depende del desarrollo de diploides agrónomicamente superiores, por lo que en un principio el mayor esfuerzo deberá concentrarse en la búsqueda y desarrollo del material diploide parental con resistencia genética a enfermedades o plagas de importancia económica, atributos agrónómicos deseables como buen tamaño y excelente conformación del racimo, partenocarpia, porte bajo o enanismo, entre otros. Estos diploides mejorados son a su vez cruzados con cultivares triploides entre los cuales se encuentran Yangambi km 5 (*Musa* AAA), Saba (*Musa* ABB) y Pisang Ceylan (*Musa* ABB), que puedan producir semillas para desarrollar otros híbridos que incluye tetraploides (Rosales y Pocasangre 2002).

Fuentes de resistencia a *Foc* R4T han sido encontradas entre parentales silvestres tales como *Musa basjoo*, *M. itinerans*, *M. yunnanensis*, *M. nagensium*, *M. ruiliensis* y *M. velutina*, y en clones Pahang (*Musa* AA) y Calcutta 4 (Li *et al.* 2015, Siamak y Zheng 2018, Bubici *et al.* 2019, Martínez *et al.* 2020). En el caso de *M. yunnanensis*, se observaron altos niveles de ácido salicílico y citoquininas, alta concentración de fenoles, flavonoides y catequizas, y bajos niveles de ácido abscísico, e incremento de sustancias antioxidantes como la glutatión y ácido ascórbico; mientras que, en parentales de los bananos actuales, tal como *M. balbisiana* y *M. acuminata* ssp. *burmannica*, se observó mayor intensidad de la enfermedad (Li *et al.* 2015, Li *et al.* 2017, Martínez *et al.* 2020).

En la actualidad se cuenta con varios clones generados por organizaciones como Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas (FHIA), Centro de Investigación de Agricultura de Francia de Desarrollo Internacional (CIRAD), Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Instituto Indio de Investigaciones Hortícolas (IIHR), Empresa Brasileña de Investigaciones Agropecuarias (EMBRAPA) (Vézina 2019, Martínez *et al.* 2020).

#### **b. Uso de biotecnología**

La micropropagación es una de las aplicaciones de la biotecnología más generalizadas del cultivo *in vitro*, y consiste en la propagación de plantas en un ambiente artificial controlado con el empleo de un medio de cultivo. La misma puede ser realizada a partir de

órganos, tejidos y células de la planta donadora del explante, mediante métodos de regeneración como organogénesis formación de un primordio unipolar a partir de una yema con el subsiguiente desarrollo de un brote vegetativo y embriogénesis somática formación de un embrión a partir de una célula o grupo de ellas, que no es producto de la fusión de gametos (Galan *et al.* 2018). Se indican las alternativas de mayor impacto:

##### ◦ **Variación somaclonal.**

La variación somaclonal comprende los cambios genéticos o epigenéticos inducidos durante la fase de callo de las células vegetales cultivadas *in vitro*, y se ha considerado como una herramienta importante para el mejoramiento genético que puede ser utilizada para inducir variabilidad genética para obtener características agronómicas deseables (Leiva 2006, Sánchez y Jiménez 2009).

El CIRAD conjuntamente con la empresa VITROPIC recientemente presentó el clon Ruby con características similares al Gran Enano y con sensibilidad mediana ante *Foc* R4T (Loeillet y Lescot 2019). De igual manera, somaclones Cavendish GCTCV-218 y GCTCV-219, de sabor y aspecto similar a Cavendish, han sido desarrollados en Taiwán por el Instituto de Investigaciones de Banano de Taiwán (TBRI), con resistencia intermedia a *Foc* R4T. Evaluaciones de campo en Filipinas revelan que el somaclon GCTCV-218 presentó un nivel de infección entre 0 a 10 %, mientras que el somaclon GCTCV-219 fue entre 0 a 4 %. Debido a sus similitudes con la fruta de los clones Cavendish, el somaclon GCTCV-218 ha presentado mayor aceptación comercial, y recientemente se han extendido a Mozambique. No obstante, en Australia, su comportamiento en campo durante tres años de evaluación presentó hasta 68,8 % de infección por *Foc* R4T (Dale *et al.* 2017, Dita *et al.* 2018).

##### ◦ **Mutagénesis química.**

A través de esta herramienta se ha desarrollado un método para el tratamiento de ápices meristemáticos en yemas de banano con un mutágeno químico (Etil-Metano-Sulfonato) mostrando que el genotipo de los mutantes es estable en generaciones sucesivas. En Brasil, cinco líneas de banano resistentes al marchitamiento por *Fusarium* fueron obtenidas después del tratamiento mutagénico *in vitro* (Bermúdez 2014).

### ° Transgénesis

Está referida a la transferencia de genes de un organismo a otro, o la mezcla de materiales genéticos entre especies que no pueden hibridarse por medios naturales, logrando la alteración selectiva y deliberada del genoma, al introducir, modificar o eliminar genes específicos mediante técnicas moleculares, que podrían generar plantas transgénicas, con resistencia a estrés biótico (Díaz *et al.* 2010, Holme *et al.* 2013).

Dale *et al.* (2017), lograron generar dos líneas de Cavendish transgénico: una transformada con un gen de resistencia a R4T proveniente de *Musa acuminata* ssp. *malaccensis* (RGA2), y otra con un gen anti apoptosis derivado del nematodo *Caenorhabditis elegans* (Ced9). Estas fueron evaluadas en campo durante tres años contra plantas testigos Cavendish Gran Nain y Williams –susceptibles a R4T–, el somaclon GCTCV 218 (seleccionado en Taiwán por su tolerancia a R4T), y el clon DPM25 (Dwarf Parfitt Mutant) cultivar Cavendish irradiada con resistencia a la raza subtropical 4. Los resultados indicaron que el tratamiento testigo presento entre 67 y 100 % de plantas muertas o con síntomas, mientras que el tratamiento del GCTCV 218, fue tan susceptible como el cultivar Williams, al igual que el tratamiento del clon DPM25; mientras que, los tratamientos RGA2 y Ced9 no mostraron síntomas de la enfermedad. Este es el primer reporte de resistencia al marchitamiento por *Fusarium* en bananos transgénicos en el campo, lo cual representa avance significativo para evitar el colapso de la producción del banano Cavendish.

El incremento en los niveles de los genes de resistencia de *M. acuminata* ssp., *malaccensis* utilizados en la transgénesis puede reducir la infección de R4T, no obstante, estos genes aún no han sido identificados en su totalidad, pero se presume que el gen RGA2 puede estar involucrado. Por otro lado, el modo de acción de la resistencia a R4T mediada por Ced9 en bananos transgénicos tampoco está claro, así como la funcionalidad del gen anti apoptosis, puede ser preventivo de la muerte celular inducida por la acción fúngica (Dale *et al.* 2017).

Los conceptos de transformación cisgénesis e intragénesis se desarrollaron como alternativas a la transgénesis, y ambos implican que las plantas solo deben transformarse con material genético derivado de la propia especie o de especies estrechamente

relacionadas capaces de hibridación sexual (Holme *et al.* 2013), pudiendo también existir como alternativa la transformación genética de la planta al alterar su cadena de ADN.

La edición del genoma basada en CRISPR-Cas9 se ha convertido en la herramienta más poderosa para este fin, debido a su capacidad de crear alteraciones precisas en el genoma de la planta. Recientemente, se logró la edición del genoma del banano basada en CRISPR-Cas9, y su potencial uso se evidenció ante su reciente aplicación para inactivar el virus de la raya, Banana Streak Virus (BSV). Su presencia en condiciones de estrés se activa en partículas virales infecciosas en progenitores que contienen en su genoma algún componente de *Musa balbisiana* y sus combinaciones –BB, AAB, ABB– que podrían ser usados como fuentes o progenitores en el mejoramiento del cultivo (Tzean *et al.* 2019, Tripathi *et al.* 2019, Tripathi *et al.* 2020).

## 7. Manejo integrado

El manejo integrado permite entender y manejar la complejidad de los agroecosistemas donde se involucra un patógeno. En el caso de *Foc* R4T es indispensable identificar las prácticas alternativas disponibles a ser utilizadas y probadas ampliamente en diferentes contextos, teniendo en cuenta el estado de la enfermedad, la diversidad de cultivares y los sistemas de producción (Dita *et al.* 2018).

En estos escenarios los análisis de riesgo son de alta prioridad, y al detectarse un brote de marchitez por *Foc*, un plan de erradicación de plantas y la contención de patógenos deben ser activados. El monitoreo continuo para la detección temprana es esencial, y una vez que la enfermedad está presente, las tácticas para suprimir el patógeno e impulsar las defensas de la planta son fundamentales, mientras que las medidas de exclusión y contención no deben ser descuidadas. Con el tiempo la marchitez por *Foc* alcanza niveles elevados donde su manejo es económicamente imposible y la erradicación de la parcela con la sustitución o rotación de cultivos, son inevitables, a menos que dispongan de cultivares resistentes. Todas estas tácticas de manejo no solo deben centrarse en la enfermedad, sino también en la productividad sostenible y seguir el principio de un proceso continuo de mejora (Dita *et al.* 2018).

De acuerdo con OIRSA (2009), Dita *et al.* (2010), MUSALAC (2011), Guzmán y Sandoval (2015), Dita *et al.* (2018), Bubici *et al.* (2019) y García *et al.* (2020), para definir las medidas de prevención es necesario identificar las posibles fuentes de contaminación tales como:

1. Visitantes y trabajadores que pudieron haber visitado plantaciones, viveros o áreas con historial de infestación por *Foc* R4T.
2. Origen del material vegetal o sustrato, los cuales son elementos determinantes para la diseminación de la enfermedad.
3. Suelo con estructuras del hongo adherido a equipos agrícolas, motores, vehículos, tractores, contenedores, herramientas, neumático, extremidades o pelaje de animales, zapatos, entre otros.
4. Artesanías, o alimentos con envolturas de restos vegetales, como hojas o vainas secas del pseudotallo, contentivos de esporas del hongo.
5. Agua contaminada.

Con respecto al ingreso de material vegetal a las fincas, se debe considerar:

- a. Definir la necesidad de realizar su importación, considerando las implicaciones fitosanitarias para el país.
- b. Si se procede a importar, debe hacerse preferiblemente de países libres de la enfermedad (Hermanto *et al.* 2012, Ordoñez *et al.* 2015, Dita *et al.* 2018, Vézina 2019) y solo en forma de cultivo *in vitro*, con todos los certificados fitosanitarios que indiquen de manera explícita, que el material está libre de *Foc* R4T.
- c. Evitar movilizar cormos, suelo o partes de plantas, de una finca a otra, sin previo análisis del estado fitosanitario. Igualmente se recomienda llevar inventario de lotes a renovar, para hacer seguimiento al material de siembra, así como adquirir la semilla en fincas registradas.

Martínez *et al.* (2016) y García *et al.* (2020), afirman que las medidas de bioseguridad están dirigidas a:

- Restringir visitas a la unidad de producción, cumplir con los protocolos de bioseguridad para la desinfección de vehículos y calzados. Para el ingreso, a la finca se debe disponer de:

- a. puerta, con paso de nivel o cualquier implemento, que limite el libre acceso de vehículos o personas.
- b. batea, rodaluvio o piscina de desinfección de cauchos –capacidad mínima 50 L–, en la entrada de la finca con sal de amonio cuaternario en forma de cloruro de benzalconio (400 gramos i.a. L<sup>-1</sup>), o cloruro de fenil metilo 50 % + alcohol isopropílico 2,7 %. De igual manera, los pasajeros a bordo de las unidades que ingresan deberán proceder al proceso de desinfección de sus calzados.
- c. zona de bioseguridad para la recepción de visitantes, cuya ubicación garantice que no haya riesgo de infección o contaminación a las instalaciones de la finca.

En el interior de la finca deberán existir pediluvios con la misma solución desinfectante, que servirá además para desinfección de las herramientas. El mantenimiento de los pediluvios y rodaluvios, debe ser periódico y la solución desinfectante debe ser a menudo renovada, y contar con protección o techo, para evitar su dilución en épocas de lluvias. También, se deben realizar campañas de concientización –charlas– al personal de campo, sobre la importancia de la desinfección para evitar la diseminación de la enfermedad

- Eliminación *in situ* de plantas con síntomas sospechosas, las cuales serán repicadas con aplicación de sal cuaternaria a altas dosis en los restos vegetales y en el lugar donde se encontraba la misma, colocando plástico sobre el material vegetal y suelo por tres meses, definiendo el área de encierro –que puede abarcar anillos de contención con plantas adyacentes– a fin de evitar su perturbación; y construcción de pequeño canal para evitar la escorrentía de agua. Adicionalmente se recomienda aplicar gran cantidad de cal en polvo en todo el encierro.
- Después de tres meses, en el área definida como encierro se retira el plástico y se aplica abundante MO –materia orgánica– ayudado con un tridente –Hércules– para facilitar la aireación e incorporación de la misma conjuntamente con aplicación de pool de organismos antagonistas a hongos y bacterias –*Trichoderma* spp., *Bacillus* spp., entre otros–, los cuales deberían ser aplicados cada 15

días con adición de soluciones de ácido húmico que facilitan su acción. Entre 25 a 30 días después, se procede con la siembra de leguminosas por dos ciclos consecutivos, con corte e incorporación de su biomasa, más la adición continua de MO y organismos benéficos manteniendo la misma frecuencia de aplicación. Durante todo el proceso de recuperación el control de malezas es indispensable para evitar hospederos alternos de *Foc* R4T.

- Posterior al segundo ciclo de las leguminosas acompañado de las practicas indicadas, se puede proceder a la siembra de material de musáceas (limpio, vigoroso y sano) preferiblemente proveniente de cultivo *in vitro*, previamente inoculado con *Trichoderma* spp., o microorganismos benéficos, para iniciar nuevas plantaciones con aplicación continúa de MO y microorganismos benéficos, con evaluación y supervisión constante.

Se debe considerar que al utilizar plántulas *in vitro* es necesario reconstruir su microbioma con organismos benéficos, antes de la siembra, para activar el sistema de defensa de estas, debido que a nivel de la rizosfera debe existir equilibrio constante entre distintas comunidades de microorganismos –benéficos o dañinos– para no desencadenar situaciones ambiguas que conlleven a cuadros patológicos (Dita *et al.* 2018, Bubici *et al.* 2019, Martínez *et al.* 2020). Se ha demostrado que este tipo de plántulas tienden a ser más susceptible a la marchitez por *Fusarium* una vez instaladas en campo en comparación con las provenientes por propagación convencional (Whiley *et al.* 1998), lo cual es atribuido al hecho que a través de la biotecnología se realiza limpieza total del material, eliminando todos los microorganismos –benéficos o dañinos– que pueden contribuir, retrasar, minimizar o bloquear el efecto de *Foc*, quedando las plántulas vulnerables (Dita *et al.* 2018).

A pesar de la larga trayectoria de *Foc* causando la marchitez en banano a nivel mundial, equivalente a 146 años, el mayor desafío para su manejo será limitarlo a un área y evitar su dispersión, aplicando todas las medidas contempladas en el MIE. Esto dependerá a su vez, de la detección temprana del foco de infección, destrucción de plantas infectadas y tratamiento intensivo del suelo con énfasis en

tratar de repotenciar la microbiota, al igual que las medidas de bioseguridad e identificación de las posibles fuentes de contaminación, siendo de urgente necesidad la aplicación de metodologías efectivas para detectar el patógeno en otros medios como el agua.

Al considerar que la mayor parte de la producción mundial de musáceas involucra pequeños productores, y dado que *Foc* R4T es prácticamente imposible de erradicar, su intento por contener la enfermedad a través de la eliminación *in situ* de plantas afectadas. Plantas enfermas han sido cortadas en trozos y colocadas en fosas, con aplicación de cal y cubiertas con tierra y se han establecido anillos de contención, en regiones altamente afectadas como Taiwán y China. Pero se ha fallado al dejar al descubierto en el terreno, en canales de riego o ríos, restos de plantas enfermas, observándose en corto tiempo rápido incremento de su propagación, lo cual demuestra la necesidad de ejecutar acciones inmediatas al detectarse por primera vez (Pegg *et al.* 2019).

A través de la historia, los productores de la región de LAC han adoptado medidas de manejo de la marchitez por *Fusarium* basadas en la agricultura migratoria. Con siembras anuales escalonadas, siembras en tierras vírgenes libre del patógeno, aplicadas a cultivos de clones susceptibles a las razas R1 y R2 de *Foc*, han podido sembrar por pocos ciclos, debido a la dinámica poblacional del hongo y fallas en el manejo de la enfermedad. Pero en el caso de *Foc* R4T, todas esas prácticas ancestrales, quedarán sin efecto por el alto nivel de agresividad de esta nueva raza (Martínez *et al.* 2020). Esta puede atacar otros clones diferentes al subgrupo Cavendish, como los subgrupos Silk –banano Manzano, *Musa* AAB– y Bluggoe –*Musa* ABB–, los cuales originalmente son susceptibles a las R1 y R2, respectivamente (Aguayo *et al.* 2020), y se pueden presentar síntomas muy similares indistintamente de la raza y el clon atacado, y en algunos casos las plantas se pueden presentar de manera asintomática, lo que complica su identificación, diagnóstico y evaluación en campo (Martínez *et al.* 2020).

Las enormes pérdidas económicas que ha causado *Foc* R4T en muchos países productores a nivel mundial y su primer reporte en el continente americano –Guajira Colombiana–, hacen que todos los países de

la región LAC, con especial atención Ecuador, Panamá y Venezuela, se encuentren en condiciones de alto riesgo, debido al flujo constante de personas o vehículos. Por ello, a los fines de ajustar las medidas de manejo a implementar se requiere darle prioridad a la revisión de los análisis de riesgo ante la eminente amenaza para la producción y seguridad alimentaria que dependen en gran parte de los pequeños productores.

La sustitución de los bananos actuales susceptibles a *Foc* R4T, tal como sucedió con el clon Gros Michel ante *Foc* R1, se vislumbra como la opción de manejo de la enfermedad más indicada en corto y mediano plazo; sin embargo, se deberá considerar que su obtención por la vía convencional es un desafío por las limitaciones propias del cultivo –poliploidía, esterilidad, hibridación que impiden la transferencia de rasgos deseables, largo tiempo requerido para lograrlo, entre otras–, además de su vida útil ante nuevas cepas o razas.

Es necesario el uso de nuevas técnicas de mejoramiento que conlleven a la modificación genética y la edición del genoma, que tienen el potencial de desarrollar clones resistentes a enfermedades. Entre ellas destaca el sistema CRISPR-Cas9 que contempla la eliminación de genes, reemplazo de bases, edición múltiple de genes y la regulación de la transcripción de genes en plantas (Tripathi *et al.* 2019, Tzean *et al.* 2019).

Por consiguiente, la nueva era de los bananos originada en esta ocasión por *Foc* R4T, podría estar dominada por estos nuevos clones; sin embargo, es necesario puntualizar y hacer énfasis en las marcadas diferencias existentes entre organismos transgénicos y los creados por la técnica CRISPR-Cas9 o inserción de genes del mismo género. Por cuanto, los obtenidos por esta última técnica no deberían ser catalogados como transgénicos, debido que además de poder crear incertidumbre y conflictos a nivel de los consumidores, su liberación y comercialización pudiera enfrentar obstáculos por los complicados procesos de aprobación regulatoria en muchos países.

## CONCLUSIONES

El futuro del manejo de la enfermedad en estos cultivos estará enmarcado en los siguientes términos: 1) A corto plazo: aplicación del MIP para su contención o para evitar su propagación a nuevas áreas. 2) A mediano plazo: uso de clones resistentes, que podría implicar cambios en patrones de consumo al obtenerse materiales con características diferentes a los actuales, sin garantizar además, su inmunidad ante posibles nuevas razas o VCG a través del tiempo. 3) A largo plazo: clones con las mismas características agronómicas y organolépticas de los actuales, obtenidos a través de nuevas técnicas que involucran la edición genética.

## LITERATURA CITADA

- Abu-Irmaileh, B. 2004. Solarización del suelo. In Labrada, R; Caseley, J; Parker, C. (eds.). Estudio FAO producción y protección vegetal. Manejo de Malezas para Países en Desarrollo (Adendum I) (en línea). Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://bit.ly/39t8KtL>
- Agrocalidad. 2018. Guía de identificación de *Foc* R4T. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador. 26 p.
- Aguayo J; Cerf-Wendling, I; Folscher, A; Fourrier-Jeandel, C; Loos, R; Mathews, M; Mostert, D; Renault, C; Wilson, V; Viljoen, A. 2020. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (TR4) causing banana wilt in the Island of Mayotte (en línea). American Phytopathological Society Journal Consultado 11 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/2JAbqe8>
- Al-hetar, M.; Zainal, M.; Sariah, M.; Wong, M. 2011. Antifungal activity of Chitosan against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (en línea). Journal of Applied Polymer Science 120(4):2434-2439. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/bt3c55>
- Almomany, A; Salem, N; Tahat, M. 2019. Effect of Nano Technology in Combination with Soil Solarization to Control Panama Disease of Banana in Jordan Valley (en línea). YYU Journal of Agricultural Science. 29:16-23. Consultado el 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvf>

- Bermúdez I. 2014. Herramientas biotecnológicas para el combate de la raza 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en *Musa* spp. *Biología Vegetal* 14 (4): 195–202.
- Blasco, G; Gómez, F. 2014. Propiedades funcionales del banano (*Musa* sp.) Functional properties of banana (*Musa* sp.). Artículo de revisión. *Revista Médica Universidad Veracruzana* 14(2):22-26.
- Bonanomi, G; Antignani V; Capodilupo, M; Scala, F. 2010. Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases (en línea). *Soil Biology Biochemistry* 42:136-144. Consultado el 12 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/bqq6wt>
- Borges, A; Vilar, A; Matos, A; Da Silva, F. 2007. Redução do mal-do-panamá em bananeira-maçã por inoculação de fungo micorrízico arbuscular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42(1):35-41.
- Bubici, G; Kaushal M; Prigigallo, M; Gómez, C; Mercado, J. 2019. Biological control agents against *Fusarium* wilt of banana (en línea). *Frontiers on Microbiology* 10:616. Consultado el 13 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/fkvg>
- Buddenhagen, I. 2009. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* and history of introduction of ‘tropical race 4’ to better manage banana production. *Acta Hortícola* 828:193-204.
- Costa, S; Braganca, C; Ribeiro, L; Amorim, E; Oliveira, S; Dita, M; Laranjeira, M; Haddad, F. 2014. Genetic structure of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in different regions from Brazil (en línea). *Plant Pathology* 64(1):1-11. Consultado el 22 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvh>
- Dale, J; James, A; Paul, J; Khanna, H; Smith, M; Peraza, S; García, F; Kema, G; Waterhouse, P; Mengersen, K; Harding, R. 2017. Transgenic Cavendish bananas with resistance to *Fusarium* wilt tropical race 4 (en línea). *Nature Communications* 8(1):1496. Consultado el 13 de ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/gckmbf>
- Díaz, M; Zappacosta, D; Franzone, P; Ríos, R. 2010. Aplicación de la transformación genética al mejoramiento vegetal. In Levitus, G; Echenique; G; Rubinstein, C; Hopp, E; Mroginski, C. (eds.). *Biotecnología y mejoramiento vegetal II*. Buenos Aires, Argentina, INTA. 2ed. p. 243-256.
- Dita, M; Barquero, M; Heck, D; Mizubuti, E; Staver, C. 2018. *Fusarium* Wilt of Banana: Current Knowledge on Epidemiology and Research Needs Toward Sustainable Disease Management (en línea). *Frontiers in Plant Science* 9:1468. Consultado el 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/gfjvt2>
- Dita, M; Waalwijk, C; Buddenahagen, I; Souza, M; Kemab, G. 2010. A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen (en línea). *Plant Pathology* 59:348-357. Consultado el 04 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/fctbdp>
- Domínguez, J; Negrín, M; Rodríguez C. 2001. Aggregate water-stability, particle-size and soil solution properties in conducive and suppressive soils to *Fusarium* wilt of banana from Canary Islands (Spain) (en línea). *Soil Biology and Biochemistry* 33:449-455. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/d4wkmm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia). 2019. Base datos (FAOSTAT): Superficie, producción y exportación de banano y plátano (en línea, base de datos). FAOSTAT, Roma, ITA. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://bit.ly/39uHXgl>
- FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria, EEUU). 2019. 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) (en línea). Taller Técnico. Memorias. FONTAGRO, AGROSAVIA, BID. Bogotá, Colombia. 73 p. Consultado el 09 dic. 2019. Disponible en <https://bit.ly/3lqT64q>
- Galán, V; Rangel, A; López J; Pérez, J; Sandoval, J; Souza, H. 2018. Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones (en línea). *Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal*. 40(4). Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvv>
- García, F; Pachacama, S; Jarrín, D; Iza, M; Ayala, M; Ortiz, H; Dix, O; Echeagaray, J; Farfán, D; Bartolini, I; Beltrán, C; Zeballos, G. 2020. Guía

- andina para el diagnóstico de *Fusarium* Raza 4 Tropical (R4T) *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (syn. *Fusarium odoratissimum*) agente causal de la marchitez por *Fusarium* en musáceas (plátanos y bananos) (en línea). Edit. Secretaría General Comunidad Andina. Consultado 13 jun. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3mpTYyl>
- Gavrovic-Jankulovic, M; Petersen, A. 2008. A novel recombinantly produced banana lectin isoform is a valuable tool for glycoproteomics and a potent modulator of the proliferation response in CD3+, CD4+, and CD8+ populations of human PBMCs (en línea). *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 40 (5): 929-941. Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/dzkbxf>
- Guzmán M; Sandoval, J. 2015. Mal de Panamá o marchitez por *Fusarium* raza 4 tropical (Foc RT4) una seria amenaza para la producción de bananos y plátanos en Costa Rica y el mundo. Recomendaciones para prevenir el ingreso de Foc RT4 en fincas bananeras de Costa Rica. CORBANA. Hoja divulgativa N° 6-2015
- Hapsari, L; Lestari, D. 2016. Fruit characteristic and nutrient values of four Indonesian banana cultivars (*Musa* spp.) at different genomic groups (en línea). *AGRIVITA. Journal of Agricultural Science* 38(3):303-311. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvm>
- Hennessy, C; Walduck, G; Daly, A; Padovan, A. 2005. Weed hosts of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in northern Australia (en línea). *Australasian Plant Pathology* 34:115-117. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/bpkffc>
- Hermanto, C; Djatnika, E; Emilda, D; Mujiman, S. 2012. Pre-planting treatments for management of banana *Fusarium* wilt (en línea). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 7(4):260-265. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en <https://bit.ly/3fVwaJM>
- Holme, I; Wendt, T; Holm, P. 2013. Intragénesis y cisgénesis como alternativas al desarrollo de cultivos transgénicos (en línea). *Revista de biotecnología vegetal* 11 (4). Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3obU7PG>
- Huang, Z; Liuyang, R; Dong, Ch; Lei, Y; Zhang, A; Lin, Y. 2017. Polymeric quaternary ammonium salt activity against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* race 4: Synthesis, structure-activity relationship and mode of action (en línea). *Reactive and Functional Polimers* 114:13-22. Consultado 22 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/f98kfc>
- Kanazawa, K; Sakakibara, H. 2000. High content of dopamine, a strong antioxidant, in Cavendish banana (en línea). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:844-48. Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/cvhw72>
- Köberl, M; Dita, M; Martinuz, A; Staver, C; Berg G. 2017. Members of Gammaproteobacteria as indicator species of healthy banana plants on *Fusarium* wilt-infested fields in Central America (en línea). *Scientific Report* 7:45318. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/b5q9>
- Larkin, R. 2015. Soil health paradigms and implications for disease management. *Annual Review of Phytopathology* 53:199-221.
- Leiva, M. 2006. Mejoramiento genético tradicional y empleo de técnicas biotecnológicas en la búsqueda de resistencia frente a los principales patógenos fúngicos de *Musa* spp. *Biotecnología Vegetal* 6 (3):131-147.
- Li, C; Yang, J; Li, W; Sun, J; Peng, M. 2017. Direct root penetration and rhizome vascular colonization by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* are the key steps in the successful infection of Brazil Cavendish (en línea). *Plant Disease* 101:2073-2078. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/gckmwq>
- Li, W; Dita, M; Wub, W; Hua, G; Xie, J; Geb, X. 2015. Resistance sources to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in banana wild relatives (en línea). *Plant Pathology* 64:1061-1067. Consultado 06 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/fkvn>
- Lian, J; Wang, Z; Zhou, S. 2008. Response of endophytic bacterial communities in banana tissue culture plantlets to *Fusarium* wilt pathogen infection (en línea). *Journal General and Applied Microbiology* 54(2):83-92. Consultado 14 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/dqq5t2>

- Loeillet, D; Lescot, L. 2019. TR4: the day after tomorrow. World banana market (en línea). Fruitrop Magazine 266: 20-25. Consultado 28 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/36m6t1y>
- López, S; Castaño, J. 2019. Manejo integrado del mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* Schlechtend.: Fr. sp. *cubense* (E.F. SM.) W.C. Snyder & H.N. Hansen: una revisión (en línea). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 22(2):e1240. Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvp>
- Martínez, G; Rey, J; Castro, L; Micale, E; López, O; Pargas, R; Manzanilla, E. 2016. Marchitez en banano Cavendish, en la región central de Venezuela, asociado a un complejo Hongo – Bacteria (en línea). ACORBAT 2016. Miami. USA. Proceeding. Consultado 06 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/33tCtio>
- Martínez, G; Rey, J; Pargas, R; Manzanilla, E. 2020. Marchitez por *Fusarium* raza tropical 4: Estado actual y presencia en el continente americano (en línea). Revista Agronomía Mesoamericana 31(1):259-276. Consultado 18 feb. 2020. Disponible en <https://bit.ly/37ho3TO>
- Maryani, N; Lombard, L; Poerba, Y; Subandiyah, S; Crous, P; Kema, G. 2019. Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. Studies in Mycology 92:155–194.
- Meldrum, R; Daly, A; Tran-Nguyen, L; Aitken, E. 2013. Are banana weevil borers a vector in spreading *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in banana plantations? (en línea). Australasian Plant Pathology 42:543–549. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkvq>
- Molina, A; Fabregar, E; Sinohin, V; Yi, G; Viljoen, A. 2009. Recent occurrence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 in Asia. Acta Hortícola 828:109-116.
- MUSALAC (Red Latinoamericana y del Caribe para la Investigación y el Desarrollo de las Musáceas, Costa Rica) 2011. Recomendaciones para viajeros (en línea). Consultado 28 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/33rVd1S>
- Nel, B; Steinberg, C; Labuschagne, N; Viljoen, A. 2007. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana (en línea). Crop Protection (United Kingdom). 26(4):697-705. Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/cz59h6>
- OIRSA (Organismo Regional Internacional de Sanidad Agropecuaria). 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, America Latina y el Caribe (en línea). Documentos de Programa y Resúmenes de la Reunión OIRSA Sede Central, San Salvador, El Salvador. 72 p. Consultado 28 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/39BM9v4>
- Oltehua, M; Martínez, L; Ortiz, G; Martínez, M; Orozco, M; Manzo, G. 2019. Susceptibilidad de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* causante del mal de Panamá en plátano manzano (*Musa* sp., ABB) a aceites esenciales. Revista Agricultura Tropical 5(1):56-60.
- Ordoñez, N; García, F; Laghari, H; Akkary, M; Harfouche, E; Awar, B. 2015. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 causing Panama disease in Cavendish bananas in Pakistan and Lebanon (en línea). Plant Disease Notes 100:209. Consultado 09 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkv5>
- Parra, M; Sobrero, M; Pece, M. 2015. Solarización: una alternativa de control de malezas para viveristas (en línea). Foresta Veracruzana 17(1):9-16. Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/36oqAw7>
- Pegg, K; Coates, L; O'Neill, W; Turner, D. 2019. The Epidemiology of *Fusarium* Wilt of Banana (en línea). Frontiers in Plant Science 10:1395. Consultado 06 ene. 2020. Disponible en <https://doi.org/fkv6>
- Pérez, L. 2015. Las mejores prácticas para la prevención de la raza 4 tropical de la marchitez por *Fusarium* y otras enfermedades exóticas en fincas bananeras. Fitosanidad. 19(3):243-250.
- Pérez, L; Dita, M; Martinez, E. 2014. Prevention and diagnostic of *Fusarium* wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4 (TR4) (en línea).

- Proceedings Regional Workshop on the Diagnosis of *Fusarium* Wilt (Panama disease) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4: Mitigating the Threat and Preventing its Spread in the Caribbean, St. Augustine, Trinidad and Tobago. FAO, Rome, Italy. 74 p. Consultado 22 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/39viSlK>
- Ploetz, R; Freeman, S; Konkol, J; Al-Abed, A; Naser, Z; Shalan, K; Barakat, R; Israeli, Y. 2015. Tropical race 4 of Panama disease in the Middle East. *Phytoparasitica* 43:283–293.
- Ramu, V; Venkatarangaiah, K; Krishnappa, P; Shimoga Rajanna, S; Deeplanaik, N; Chandra A; Kini, K. 2016. Identification of biomarkers for resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* infection and *in Silico* studies in *Musa paradisiaca* cultivar Puttabale through proteomic approach (en línea). *Proteomes* 4(1):9. Consultado 22 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkv7>
- Rosales F; Pocasangre L. 2002. Mejoramiento convencional de banano y plátano: Estrategias y logros (en línea). Reunión ACORBAT XV. Proceeding. Medellín. Colombia. Consultado 22 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/3lpxlCe>
- Sánchez, N; Jiménez, V. 2009. Técnicas moleculares para la detección de variantes somaclonales. *Agronomía Mesoamericana* 20(1):135-151.
- Saravanan, T; Muthusamy, M; Marimuthu, T. 2003. Development of integrated approach to manage the *Fusarium* wilt of banana (en línea). *Crop Protection (United Kingdom)*. 228(9):1117-1123. Consultado 22 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fms84q>
- Segura, A. 2019. ¿Cómo *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* (*Foc*), daña los tejidos del banano y que mecanismos de defensa existen en las plantas resistentes para evitarlo? (en línea). Serie Frutales, N° 58. Artículos Técnicos INTAGRI. México 17 p. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://bit.ly/33rUZry>
- Shen, Z; Ruan YChao, X; Zhang, J; Li R; Shen Q. 2015. Rhizosphere microbial community manipulated by 2 years of consecutive biofertilizer application associated with banana *Fusarium* wilt disease suppression (en línea). *Biology and Soil Fertility* 51:553-562. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/f7d68g>
- Siamak, S; Zheng, S. 2018. Banana *Fusarium* Wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) control and resistance, in the context of developing wilt-resistant bananas within sustainable production systems (en línea). *Horticultural Plant Journal* 4(5):208–218. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkv8>
- Sun, B; Peng, M; Wang, Y; Zhao, P; Xia, Q. 2011. Isolation and characterization of antagonistic bacteria against *Fusarium* wilt and induction of defense related enzymes in banana. *African Journal of Microbiology Research* 5(5):509-515.
- Thangavelu, R; Jayanthi, A. 2009. A RFLP analysis of rDNA-ITS regions of native non-pathogenic *Fusarium oxysporum* isolates and their field evaluation for the suppression of *Fusarium* wilt disease of banana (en línea). *Australasian Plant Pathology* 38(13):13-21. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fh9x62>
- Tripathi, L; Ntui, V; Tripathi, J. 2020. CRISPR/Cas9-based genome editing of banana for disease resistance (en línea). *Current Opinion in Plant Biology* 56:118–126. Consultado 10 ago. 2020. Disponible en <https://doi.org/fkv9>
- Tripathi, J; Ntui, V; Ron, M; Muiruri, S; Britt, A; Tripathi, L. 2019. CRISPR/Cas9 editing of endogenous banana streak virus in the B genome of *Musa* spp. overcomes a major challenge in banana breeding (en línea). *Communications Biology* 2:46. Consultado 15 feb. 2020. Disponible en <https://doi.org/cz8k>
- Tzean, Y; Lee, M; Jan, H; Chiu, Y; Tu, T; Hou, B; Chen, H; Chou, C; Yeh, H. 2019. Cucumber mosaic virus-induced gene silencing in banana (en línea). *Scientific Reports* 9:11553. Consultado 15 feb. 2020. Disponible en <https://doi.org/fm54>
- Vézina, A. 2019. Tropical race 4. In *Musapedia*, the Banana Knowledge Compedium (en línea) Bioversity International. PROMUSA. Consultado 13 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/2VrbJdX>
- Villa, A; Pérez, R; Morales, H; Basurto, M; Soto, J; Martínez, E. 2015. Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad

- antifúngica de extractos vegetales (en línea). *Acta Agronómica* 64(2):194-205. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkwc>
- Wang, B; Li, R; Ruan, Y; Ou, Y; Zhao, Y; Shen, Q. 2015. Pineapple–banana rotation reduced the amount of *Fusarium oxysporum* more than maize–banana rotation mainly through modulating fungal communities (en línea). *Soil Biology and Biochemistry* 86:77-86. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkwd>
- Wang, M; Gao, L; Dong, S; Sun, Y; Shen, Q; Guo, S. 2017. Role of silicon on plant–pathogen interactions (en línea). *Frontiers Plant Science* 8:701. Consultado 28 dic. 2019. Disponible en <https://doi.org/f97bj7>
- Wang, Z; Jia, C; Li, J; Huang, S; Xu, B; Jin, Z. 2014. Activation of salicylic acid metabolism and signal transduction can enhance resistance to *Fusarium wilt* in banana (*Musa acuminata* L. AAA group, cv. Cavendish) (en línea). *Functional and Integrative Genomics* 15:47-62. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/f6w5m5>
- Warman, N; Aitken E. 2018. The movement of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (sub-tropical race 4) in susceptible cultivars of banana (en línea). *Frontiers Plant Science* 9:1748. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/fkww>
- Weber, O; Muniz, C; Vitor, A; Freire, F; Oliveira, V. 2007. Interaction of endophytic diazotrophic bacteria and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* on plantlets of banana ‘Maça’ (en línea). *Plant and Soil* 298(1):47-56. Consultado 22 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/dxmtds>
- Whiley, AW; Searle, C; Pegg, KG; Smith, MK; Langdon, PW; Schaffer, B. 1998. Micropropagated bananas are more susceptible to *Fusarium wilt* than plants grown from conventional material (en línea). *Australasian Journal Agricultural Research* 49(7):1133-1139. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/bm8vvc>
- Wu, Y; Yi, G; Peng, X; Huang, B; Liu, E; Zhang, J. 2013. Systemic acquired resistance in Cavendish banana induced by infection with an incompatible strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (en línea). *Journal of Plant Physiology* 170:1039-1046. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/f45zmv>
- Yamada, T. 1995. Nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades. *Información Agronómica* 23:7-10.
- Zapata S. 2019. Desarrollo de estrategias de control del fitopatógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) a partir de la diversidad microbiana (en línea). Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín. Colombia, 147 p. Consultado 06 ene. 2020. Disponible en <https://bit.ly/3nd6ZoP>
- Zhang, H; Mallik, A; Zeng, R. 2013. Control of Panama disease of banana by rotating and intercropping with Chinese chive (*Allium tuberosum* Rottler): role of plant volatiles (en línea). *Journal of Chemical Ecology* 39:243-252. Consultado 29 nov. 2019. Disponible en <https://doi.org/f4ph5h>