

La marchitez por *Fusarium* en banano: 10 lecciones que hemos aprendido para manejar la enfermedad

Por Domenico Pavone

La marchitez del banano causada por el hongo *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense (Foc) Raza Tropical 4 es actualmente la amenaza más grande al suministro de banano a escala mundial de los últimos tiempos. La agresividad del patógeno es tan alta que una vez establecida en un cultivo, resulta muy difícil su control y manejo, llevando a la erradicación total de cultivos en diferentes zonas. Para hacer frente a esta enfermedad, es importante conocer la forma como se disemina el patógeno y los factores bióticos y abióticos que hacen que se convierta en una [epifitía](#). En este artículo resumimos 10 lecciones que hemos aprendido a través de los años con las cuales es posible proponer planes de manejo integrado para convivir con la enfermedad.

Lección 1. La marchitez por *Fusarium* en banano es una enfermedad centenaria

Fusarium oxysporum f. sp. Cubense (Foc) pertenece a un complejo de especies de *F. oxysporum* que incluye miembros patógenos de plantas, animales y no patógenos. Foc está compuesto por razas según su

patogenicidad a cultivares hospedadores. *F. oxysporum* posee más de 120 formas especiales y puede atacar más de 100 especies vegetales, siendo Foc una de las más destructivas. Esta especie es un habitante natural del suelo con una fuerte capacidad saprofítica. La Tabla 1 muestra las 4 razas de Foc reportadas y su rango de hospedador.

Tabla 1. Razas de Foc y su rango de hospedador ([Dita et al., 2018](#)).

Raza	Hospedador
R1	Gros Michel (AAA) y Manzano (AAB).
R2	Topocho (Bluggoe, ABB).
R3	<i>Heliconia</i> (R3 ya no pertenece a Foc).
R4	Afecta a todos los cultivares de Cavendish (AAA) y todos los susceptibles a R1 y R2.

Foc raza 4 está subdividida en Foc raza subtropical 4 (STR4) y Foc raza tropical 4 (RT4). STR4 causa enfermedad en bananos Cavendish en el subtrópico debido a la predisposición causada por factores

ambientales como las bajas temperaturas, mientras que RT4 es virulento en todas las condiciones ambientales. En la Tabla 2 puede observarse un resumen la historia de los reportes de la enfermedad en el mundo.

Tabla 2. Recuento histórico de la marchitez por *Fusarium* en banano ([Mauricio Rodríguez, CropLife](#)).

Fecha	Hecho
Desconocida	Origen de la enfermedad: Probablemente en el sureste asiático.
1874	Primer registro en Australia.
1890	Primer reporte en Panamá.
1967	Primer reporte de la raza tropical 4 en Cavendish en Taiwan.
Inicios de los 90	Se demostró la alta susceptibilidad de Cavendish a la RT4.
Década del 2000	RT4 estaba presente en Taiwán, Malasia, Indonesia, China, Filipinas y Australia.
2013	Se detecta presencia de RT4 en Omán, Jordán y Mozambique.
2015	Se detecta RT4 en Líbano y Pakistán.
2017	Se reporta RT4 en Laos y Vietnam.
2018	Se reporta RT4 en Myanmar, India e Israel.
2019	Se reporta RT4 en Colombia.
2021	Se reporta RT4 en Perú.
2022	Se reporta RT4 en Venezuela.

Lección 2. Foc sobrevive muchos años en el suelo gracias a que produce clamidosporas

Foc produce tres tipos de esporas asexuales: microconidias, macroconidias y clamidosporas, siendo estas últimas la fuente de inoculo primario en el suelo. Las microconidias y macroconidias son las responsables de la colonización y multiplicación en los tejidos vasculares de la planta. *Fusarium oxysporum* es capaz de

sobrevivir en el suelo por periodos largos de tiempo (20 años o más) incluso sin hospedador, gracias a que es capaz de producir clamidosporas (Figura 1) que son estructuras muy resistentes. Las clamidosporas se producen constantemente en el agroecosistema una vez que ocurre la infección del hospedador, incluso en fases tempranas. Además, Foc puede crecer a expensas de materia orgánica sin que el hospedador principal esté presente o infectar hospedadores alternativos como algunas malezas y sobrevivir como endófito.

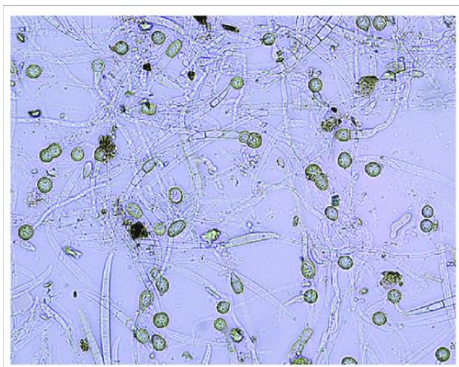


Figura 1. Clamidosporas en un cultivo de Foc.
Imagen original de [Pegg et al., 2019](#).

Lección 3. El primer síntoma de la marchitez por *Fusarium* en banano es el amarillamiento de las hojas

El hongo infecta la planta de banano a través de las raíces e invade el xilema. De esta forma, causa síntomas externos como marchitez, amarillamiento de las hojas desde

los márgenes y desde las hojas más viejas a las más jóvenes (Figura 2). Eventualmente colapsa en el peciolo y en la división longitudinal de las vainas foliares exteriores en el seudotallo. Internamente, hay una decoloración de los tejidos vasculares variando de colores claros a oscuros. Eventualmente la planta muere.



Figura 2. Síntomas de Foc RT4 en banano mostrando amarillamiento de las hojas y su colapso a nivel del peciolo. Imagen original de [Pegg et al., 2019](#).

Lección 4. Foc infecta las plantas de banano a través de las raíces

El proceso de infección de las plantas de banano por Foc puede apreciarse en la Figura 3. Todo inicia con (A) cuando las esporas (microconidias, macroconidias y clamidosporas) están en el suelo o en hospedadores alternativos como malezas. (B) Las clamidosporas germinan al ser estimuladas por los exudados radicales y el tubo germinativo penetra a las raíces. (C) Foc crece a través de la corteza a la epidermis y el micelio invade los tejidos vasculares. (D) Las conidias y las clamidosporas son

producidas en los tejidos vasculares y se distribuyen rápidamente a toda la planta por el sistema de transpiración. El micelio y otras sustancias producidas por el hongo bloquean los tejidos vasculares y producen el primer síntoma de Foc en banano, el amarillamiento de hojas viejas. (E) Foc coloniza y destruye más tejidos vasculares provocando una marchitez muy acentuada. (F) Las plantas infectadas mueren y la planta hija que fue contaminada con Foc por la planta madre a través de los tejidos vasculares muestra síntomas iniciales. La planta madre eventualmente cae y el ciclo inicia de nuevo.

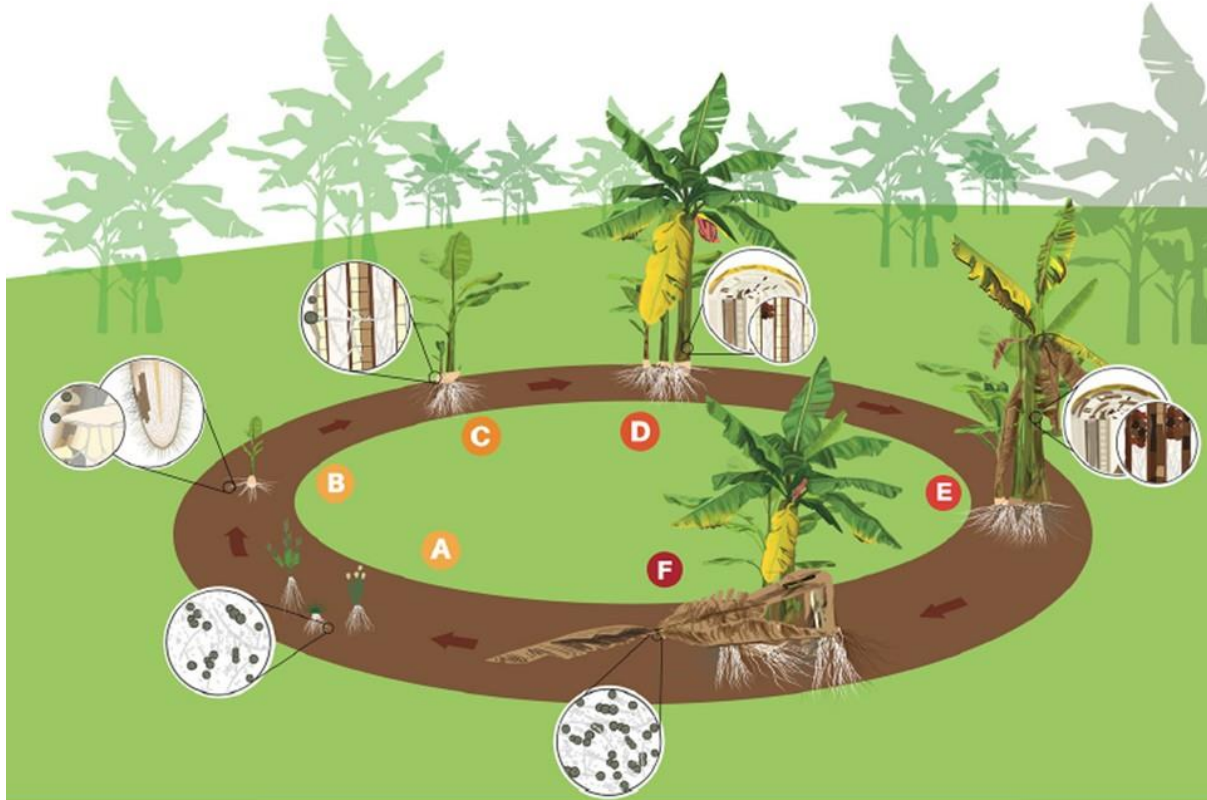


Figura 3. Ciclo de vida de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc) en banano. Imagen original de [Dita et al., 2018](#).

Lección 5. Entender cómo se forman los biofilms es muy importante para manejar la enfermedad

Algunas de las enfermedades en plantas más destructivas son el resultado de la formación de [biofilms](#). Los biofilms o biopelículas son una forma de crecimiento microbiana que ocurre en superficies en la que los microorganismos generan una matriz donde se mezclan con diferentes tipos de sustancias (Figura 3). Los biofilms son una forma de crecimiento común para muchos microorganismos en la naturaleza porque la

estructura intensamente entrelazada de estas formaciones evita la penetración de sustancias químicas potencialmente dañinas y les permiten mantenerse en ambientes que le son poco favorables.

Algunas especies de *Fusarium* han sido reportadas como productoras de biofilms, como es el caso de *Fusarium graminearum* y *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. Para el conocimiento del autor, no hay estudios específicos de biofilms por Foc en bananos, pero si este resultara ser un mecanismo importante durante el proceso de infección, podría ser otra forma de buscar

puntos débiles que pudieran mediar en el control de la enfermedad.

Fusarium no es el único microorganismo capaz de producir biofilms. Bacterias como *Bacillus* son capaces de producir estas estructuras en partes de la planta para ejercer su efecto benéfico. Promover este tipo de crecimiento a través de biofilms, puede ayudar a mejorar la eficiencia de las aplicaciones de este tipo de biocontroladores.

Algunos investigadores piensan que esta es la mejor forma que tienen los microorganismos benéficos de colonizar la rizosfera con mezclas de otras bacterias competidoras. De esta forma, es necesario proveer condiciones adecuadas para la formación de biofilms de bacterias biocontroladoras, la cual es influenciada por los siguientes factores:

1) **Condiciones ambientales.** Las plantas de banano se ven afectadas tanto por el déficit y el exceso de agua. Así, es difícil mantener un suministro de agua adecuado de agua durante todo el ciclo, por lo que es inevitable momentos en los que el agua es un factor limitante. Estos cambios en el estatus hídrico conllevan también a cambios en la diversidad microbiana que pueden hacer que estos microorganismos no sean tan efectivos en la práctica. Una humedad adecuada y constante es fundamental para la formación de biofilms. Por ello, es recomendable el riego para mantener la humedad o en su defecto el uso de agentes humectantes que retengan humedad como el ácido γ poliglutámico. La temperatura y el pH también afectan la formación del biofilm y depende de la especie.

2) **Nutrientes.** La formación de biofilms está influenciada por la presencia de componentes nutricionales como la fuente de carbono como la glucosa, nitrato, fósforo, calcio y magnesio, viéndose también influenciada negativamente por exceso de sales como el NaCl y el sorbitol.

De esta forma, un agente de biocontrol debe ser evaluado para tratar de darle condiciones para que pueda formar el biofilm. Los desbalances nutricionales en el suelo o el exceso de fertilizantes debido al uso excesivo durante años desfavorecen la formación de biofilm, lo cual puede hacer que disminuyan las poblaciones de microorganismos biocontroladores y la eficacia del método.

Lección 6. Las medidas de control contra Foc en banano y las actuales variedades tolerantes/resistentes no son del todo eficientes

Hasta ahora no existe un control totalmente eficiente contra esta enfermedad, aunque se han hecho esfuerzos rotando cultivos y desinfectando suelos con productos químicos. Las investigaciones con cultivares resistentes avanzan lentamente y por ahora no son de uso extendido.

El uso de plantas resistentes al patógeno es una de las medidas que pudiera ayudar a mejorar el problema. Sin embargo, esto no parece una opción, al menos en el corto y mediano plazo. Las variedades de banano resistentes a Foc son la estrategia más eficiente para el manejo de la enfermedad. Sin embargo, los cultivares resistentes han tenido problemas con el sabor y la calidad postcosecha del fruto. Los híbridos FHIA-01, FHIA-02 y FHIA-18 son resistentes a Foc pero tiene una baja relación pulpa-piel y no son muy dulces. La variedad Cavendish

Gigante es parcialmente resistente a Foc, pero su ciclo de cultivo es más largo.

La mayoría de los cultivares resistentes a Foc son producidos por cultivo convencional que puede tomar unos 15 años para ser desarrollados y probados. Sin embargo, la ingeniería genética puede proveer resistencia a los bananos contra Foc sin afectar las propiedades del fruto. El problema con las variedades modificadas genéticamente es la preocupación por los efectos de la transgénesis en la salud humana y el ambiente. Otras tecnologías como la edición de genes por CRISPR/Cas9 está revolucionando la habilidad de introducir modificaciones genéticas en poco tiempo. Con el paso de los años veremos la efectividad de esta técnica y la aceptación de esta por parte de los consumidores y su compatibilidad con las regulaciones internacionales para el comercio de alimentos.

Lección 7. Varios microorganismos se han reportado como biocontroladores de Foc

El biocontrol de Foc es una herramienta dentro del Manejo Integrado de la enfermedad e implica el uso de antagonistas como agentes de biocontrol. Se deben seleccionar organismos adecuados para aplicación en campo, eficientes y fáciles de producir, formular y almacenar.

Uno de los organismos con más potencial es *Bacillus* spp., ya que son tolerantes al estrés ambiental por producir esporas. Al realizar pruebas con posibles antagonistas, es recomendable hacerlo en condiciones limitantes, como pH fuera del rango óptimo, etc. Esto se debe a que los antagonistas que pueden tolerar estas condiciones, suelen ser buenos biocontroladores contra Foc.

Entre los microorganismos que han presentado antagonismo contra *F. oxysporum* están la bacteria *Pseudomonas fluorescens* y el hongo *Trichoderma harzianum*.

También pueden aplicarse cepas no patógenicas de *F. oxysporum*. Se ha demostrado que es posible adicionar cepas de microorganismos no antagonistas, ya que pueden ejercer un efecto benéfico al ocupar nichos y competir por nutrientes. Así, se han probado con cepas no patógenicas de *F. oxysporum* que pueden competir por nutrientes en el suelo y afectar la germinación de las clamidosporas de Foc. También pueden competir por sitios de infección en la planta y disparar reacciones de defensa en esta.

El uso de metabolitos secundarios producidos por microorganismos puede ayudar en el control de Foc. Estas sustancias tienden a formarse en cultivos en fase estacionaria de crecimiento bajo condiciones limitantes de nutrientes.

Para que estos organismos pueden controlar efectivamente a la enfermedad, estos deben colonizar la rizósfera y ocupar este nicho ecológico en el tiempo. Así, el antagonismo esta correlacionado con la humedad del suelo, la temperatura, aireación del suelo, salinidad, pH y de un suministro adecuado de nutrientes.

Debido a la diversidad genética y geográfica de Foc, existe mucha diversidad en cuanto a las características del patógeno. Por ello, este factor se debe tomar en cuenta al estudiar la capacidad de biocontrol de los microorganismos y probarlos contra varias cepas del patógeno.

Lección 8. Para un biocontrol eficiente, hay que proteger a los microorganismos

La eficacia de los agentes de biocontrol depende de su capacidad de colonizar las raíces de la planta y la rizósfera y de producir sustancias que inhiban al patógeno. La colonización por los agentes de biocontrol es obstaculizada por la depredación y fagocitosis por protozoarios del suelo, inhibición por los exudados de otros microorganismos o las mismas raíces y la competencia por nichos y nutrientes. Todo esto puede reducir la población del biocontrolador rápidamente. Por estas razones, es muy importante ayudar a los agentes de biocontrol aplicando dosis de refuerzo.

Para evitar esto se ha propuesto inocular a los microorganismos directamente en las hojas y tallos a través de inyecciones por goteo y permitir que se esparzan de célula a célula.

La heterogeneidad espacial del suelo puede ayudar a resolver el problema de la depredación de los microorganismos biocontroladores. Se ha reportado que algunas estructuras del suelo como los agregados, pueden ayudar a la sobrevivencia de bacterias ya que se hacen inaccesible a los protozoarios. Estos agregados son partículas del suelo que se mantienen unidas por la humedad, la materia orgánica, sustancias secretadas por los microorganismos, entre otros factores. Los agregados le dan a los microorganismos un microambiente protector con recursos para su subsistencia. De esta forma, las formulaciones de aplicación apropiadas (adicionando agentes protectores, estimulantes, encapsulantes, etc.) pueden ayudar a promover la formación de estos agregados y favorecer la actuación de los biocontroladores en el suelo.

El exudado de plantas y microorganismos nativos del suelo pueden afectar a los biocontroladores aplicados, impidiendo la colonización de las plantas. Para evitar esto se sugiere aislar microorganismos endófitos con alto potencial a partir de plantas sanas. Esta práctica tiene la gran ventaja de que estos microorganismos puede colonizar los tejidos vegetales y producir sustancias antimicrobianas.

Lección 9. La presencia de nematodos y malezas complica la enfermedad causada por Foc

Se debe realizar un control integral de nemátodos en el suelo, ya que se sabe que su presencia aumenta la sensibilidad del banano a Foc, incluso en variedades tolerantes. Una de las causas por las que Foc y los nemátodos causan tanto daño es por la pérdida de biodiversidad del suelo. Por esta razón, se recomienda controlar ambos patógenos de forma conjunta.

Aunque se conoce poco sobre la epidemiología de Foc en malezas y su transfección a banano, el manejo de malezas parece ser una práctica lógica para controlar al patógeno.

Lección 10. La pérdida de biodiversidad en el suelo favorece la enfermedad

Ya se había mencionado que uno de los principales problemas en las plantaciones de banano atacadas por Foc es la disminución de la biodiversidad microbiana del suelo. De esta forma, la pérdida de especies que son clave en el ecosistema edáfico afecta en gran medida el equilibrio ecológico, favoreciendo condiciones para el ataque de Foc. El crecimiento de plantas de banano está muy relacionado con la diversidad presente en la rizósfera. Cuando las plantas tienen un suministro adecuado de nutrientes esta

produce exudados radicales que promueven el crecimiento de microorganismos rizosféricos, lo cual promueve el aumento de la biodiversidad. Así, plantas

nutricionalmente aptas, alto contenido de materia orgánica y la inoculación de microorganismos benéficos, redundarán en un mejor manejo de Foc en banano.

Hemos visto que la marchitez por *Fusarium* es una enfermedad multifactorial y muy complicada. No hay una sola metodología que garantice un control eficiente, por lo que mientras se logra resolver la obtención de cultivares resistentes o tolerantes, el conocimiento de la epidemiología de la enfermedad y la aplicación de medidas de manejo integrado, son las únicas opciones para lograr mitigar los efectos del Foc RT4 en bananos.

¡Comenta si quieres agregar alguna lección adicional!

Si quieres saber más, puedes leer algunos de los trabajos científicos que consultamos para hacer este artículo, además de los citados en las figuras. Descárgalos en los siguientes enlaces:

[Gang et al., 2023](#)

[Martínez et al., 2020.](#)



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 20 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.