

MAL DE PANAMÁ

Fusarium oxysporum f. sp.

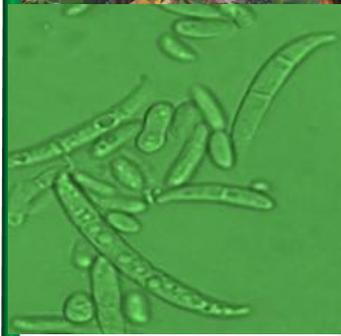
Cubense raza 4 tropical

(FOC)

(E.F. Sm.) W. C.

Snyder & H. N. Hansen Raza

Ficha Técnica No. 02



Fuente: DAF, 2016., Dita, s/a., PaDIL, 2017., Velázquez, s/a.

Para mayor información escanear el siguiente código:



O bien visita el siguiente sitio web:
<http://sinavef.senasica.gob.mx>

ISBN: 978-607-715-140-1

Marzo, 2017

Contenido

IDENTIDAD	3
Nombre	3
Sinonimia	3
Clasificación taxonómica	3
Nombre común.....	3
Código EPPO	3
Categoría reglamentaria	3
Situación de la plaga en México	3
IMPORTANCIA DE LA PLAGA.....	4
Impacto económico a nivel mundial.....	4
Potencial de impacto económico en México.....	5
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLAGA.....	5
HOSPEDANTES	6
Distribución nacional de hospedantes	6
ASPECTOS BIOLÓGICOS.....	10
Ciclo biológico.....	10
Descripción morfológica.....	12
Síntomas.....	13
ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS	15
Epidemiología de la plaga	15
Patogénesis	15
Sobrevivencia.....	16
Diseminación.....	16
Método de diagnóstico.....	16
MEDIDAS FITOSANITARIAS	17
Control cultural	17
Control biológico.....	17
Control genético.....	17
Control químico	18
Exclusión.....	18
Erradicación.....	18
Manejo integrado de la enfermedad.....	19
Medidas regulatorias.....	19
VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA FITOSANITARIA.....	20
Toma y envío de muestras.....	20
Alerta fitosanitaria.....	20
BIBLIOGRAFÍA.....	21

IDENTIDAD

Nombre científico

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* (E.F. Sm.)
W.C. Snyder & H.N. Hansen raza 4 tropical.



Wageningen, s/a.

Sinonimia

Fusarium cubense E.F. Sm. (Anamorfo)
Fusarium var. *cubense* (E.F. Sm.) Wollenw.
[Anamorfo] (E. F. Sm.) Wollenw
Fusarium cubense var. *inodoratum* E.W.
Brandes [Anamorfo] E.W. Brandes

Clasificación taxonómica

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especie: *Fusarium oxysporum* f. sp.
cubense raza 4 tropical

Nombre común

Nombre común	
Español	Mal de Panamá
Inglés	Banana wilt; Fusarium wilt of banana; vascular wilt of banana and abaca
Francés	Fusariose du bananier; Maladie de Panama bananier.

Código EPPO:

FUSACB.

Estatus fitosanitario

De acuerdo a la Norma Internacional para Medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 5, Glosario de términos fitosanitarios, cumple con la definición de plaga cuarentenaria, ya que se encuentra ausente en el país y puede potencialmente causar pérdidas económicas en cultivos hospedantes (IPPC, 2016a).

Situación de la plaga en México

De acuerdo a la NIMF No. 8, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical se cataloga como una plaga ausente en México: no hay registros de la plaga (IPPC, 2016b). Sin embargo, se ha reportado la presencia de las razas 1 y 2 de este hongo en México (CONACYT, 2009).

IMPORTANCIA DE LA PLAGA

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* raza 4 tropical es una plaga clasificada como cuarentenaria por la European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO), Caribbean Plant Protection Commission (CPPC), Organización Norteamericana de Protección a las Plantas (NAPPO), y el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA), debido al riesgo de establecimiento en áreas donde la plaga no se encuentra presente. Por lo anterior, las medidas de cuarentena son esenciales para prevenir su introducción.

De acuerdo al listado de priorización de plagas a vigilar para el 20178, y conforme a la metodología establecida para tal, se determinó que *Fusarium oxysporum* f.sp. raza 4 Tropical representa un riesgo latente de introducción a México, el cual podría afectar a estados bananeros como lo son: Chiapas, Tabasco, Veracruz y Colima, los cuales agrupan el 80% del volumen de producción, por lo que se establecen estrategias de vigilancia epidemiológica fitosanitaria para evitar su ingreso al país.

Impacto económico a nivel mundial

La enfermedad de mal de panamá es causada por *Fusarium* sp., es considerada una de las más destructivas del plátano a nivel mundial (Ploetz y Pegg, 1997) y ha sido un problema de la industria bananera por muchos años. Aunque la enfermedad probablemente se originó en el sudeste asiático, se reportó por primera vez en Australia en 1874 (Bancroft, 1876).

Existen cuatro razas de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*, la raza 1 ataca al plátano Gros Michel, también afecta al clon Manzano. La raza 2 afecta plátanos de cocción como el Bluggoe o cuadrado y algunos tetraploides mejorados. La raza 3 se ha reportado afectando especies de *Heliconia* y muestra muy poco o ningún efecto sobre plátanos de mesa (Manzo, 2013). La raza 4 es la más destructiva, ya que afecta clones susceptibles a las razas 1 y 2, así como a los cultivares del grupo Cavendish (Ploetz y Pegg, 1997; Su et al., 1986).

En América el mal de Panamá asociado a *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* fue reportado por primera vez en Panamá en la década de 1940, afectando a más de 50,000 ha de cultivo y ocasionando pérdidas de \$2,300, 000.00 USD (OIRSA, 2009). En dicho continente la raza 1 causó una gran epidemia que impactó la industria bananera de exportación, basada en la variedad Gros Michel y provocó la desaparición de la mayoría de las plantaciones comerciales en la década de los años 50 a los 60 's (Stover, 1962).

Esta enfermedad ha tenido efectos devastadores en la economía de muchos países del Caribe, convirtiéndose en la primera causa de cambios en el uso de la tierra (OIRSA, 2009).

Sin embargo, la reciente emergencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 Tropical (*Foc* R4T) en Asia, ha sido sorprendente y alarmante y ha causado importantes pérdidas en plantaciones de Taiwán, Malasia, Indonesia, China, Filipinas, y Norte de Australia (Molina, 2009a); más de 8 millones de plantas en sistemas

tradicionales y más de 5,000 ha de plantaciones comerciales del cultivar Cavendish han sido afectadas por *Foc* R4T, con pérdidas anuales que superan los 75 millones de dólares, afectando los ingresos de las familias y trabajadores (Lara, 2009).

La raza 4 Tropical, es considerada una forma altamente virulenta del hongo y ha provocado pérdidas millonarias en la industria bananera del sudeste asiático. En Sumatra se reporta que ha causado pérdidas de 11 millones de dólares (Pérez-Vicente *et al.*, 2014).

Hasta el momento, esta raza no ha sido reportada en América, pero se presume que la entrada y establecimiento de *Foc* R4T al continente americano, ocasionaría una gran afectación en la producción de plátano y banano de exportación, además de cuantiosas pérdidas económicas y un fuerte impacto social (OIRSA, 2009).

Potencial de impacto económico en México

La dispersión de este patógeno representa una amenaza muy seria, puesto que más del 80 % de los bananos y plátanos producidos en el mundo son susceptibles (FAO, 2009), lo cual pondría en riesgo la seguridad alimentaria de millones de personas en el mundo, incluyendo México debido a que el cultivo de plátano es el principal hospedante y tiene una amplia distribución en el país, además de ser uno de los sistemas producto más redituables. Asimismo, de introducirse al país, se pondrían en riesgo 300, 000 empleos directos en campo, y alrededor de 150, 000 indirectos (Sagarpa, 2015 y CSPPN, 2010).

Las exportaciones se verían afectadas y de las 28 empresas exportadoras existentes del cultivo reducirían significativamente por escasez del fruto (Mexbest, 2016).

De acuerdo con el SIAP (2017), durante el ciclo agrícola 2015, este cultivo presentó una superficie de 79, 182 ha, alcanzando una producción de 2, 262, 028 toneladas, y un valor de producción de alrededor de 6,209 millones de pesos.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLAGA

La principal dificultad para el seguimiento de la propagación y distribución de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*) es la caracterización genética de las razas y cepas.

Leong, *et al.*, (2010) estudiaron la variación genética entre aislamientos de *Foc*, mediante el uso de tres métodos moleculares, ERIC-PCR, RAMS, RFLP-IGS, y la secuenciación del gen TEF-1- α ; obtuvieron altos niveles de variación genética. Lo cual muestra que los aislados de *Foc* han coevolucionado con el cultivo de banano, y probablemente se han diseminado a través de rizomas infectados.

Las cepas se identifican mediante un análisis del grupo de compatibilidad vegetativa, agrupándose en 4 razas, basadas en la especificidad del huésped (FAO, 2009).

La EPPO, 2012, señala que *Foc* tiene una amplia distribución en algunos países del Centro y Sudamérica, Asia, África y Oceanía; sin embargo, no se define la raza presente en cada uno de los países (Figura 1).

Respecto a la distribución de *Foc* R4T Manzo (2013), refiere que se encuentra presente en Australia, China, Filipinas, Islas Canarias, Sur África y Taiwán. Su *et al.*, (1978), Sun *et al.*, (1986), Hwang y Ko (2004) señalan que los primeros aislamientos de esta enfermedad, fueron identificados en Taiwán en 1967. Actualmente la raza 4 tropical se reporta en Malasia, Indonesia, Papúa Nueva Guinea, Australia, China, Filipinas, Jordania, Mozambique y recientemente en 2015 se mencionan detecciones en Líbano y Pakistán (Wageningen, 2015) (Cuadro 1 y Figura 2) (Pérez-Vicente *et al.*, 2014; García-Bastidas *et al.*, 2014; IITA, 2013; OIRSA, 2013; Molina, 2009a; Molina, 2009b; Molina *et al.*, 2008; Qi *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2004; Meng *et al.*, 2001; Qi, 2001; Davis *et al.*, 2000). En cuanto a las otras razas de *Foc*, muy pocas zonas se consideran libres de las razas 1 y 2 (FAO, 2009).

En el Cuadro 2 se muestran las especies hospedantes primarias y silvestres de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 4 tropical.

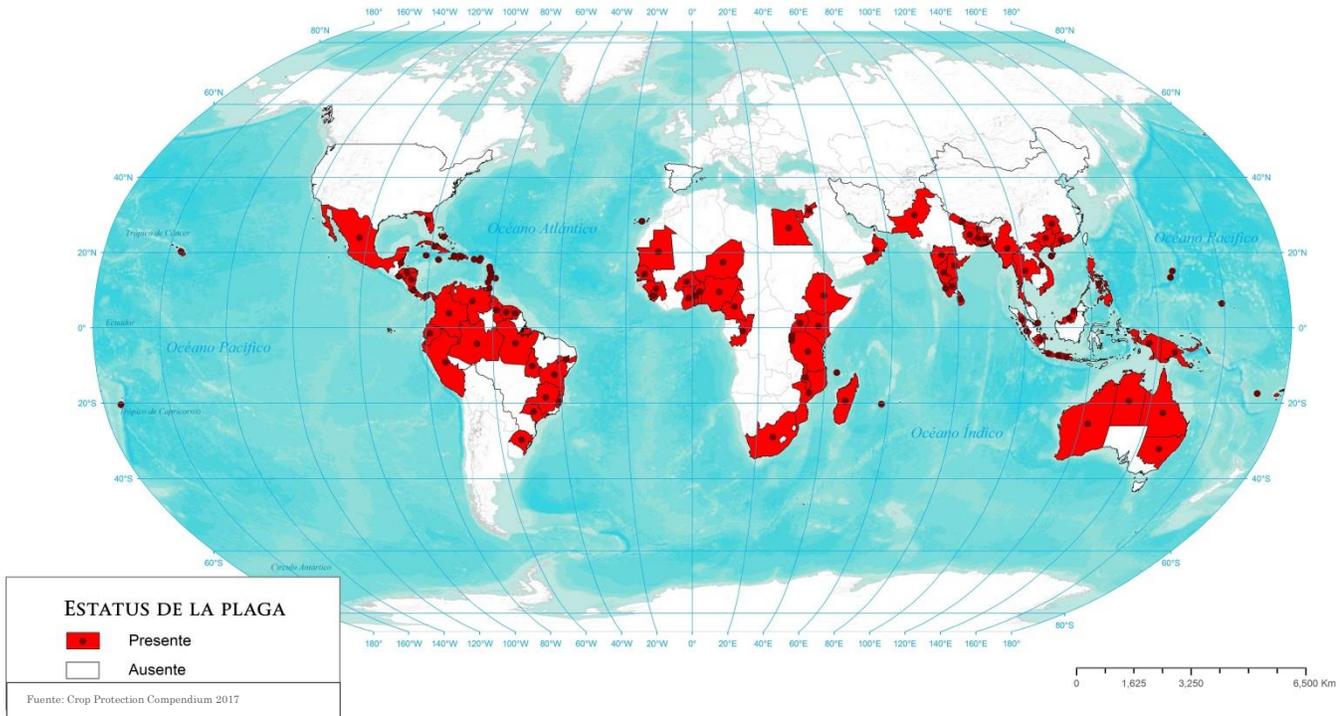
HOSPEDANTES

Leong *et al.* (2009) mencionan que *Foc* R4T es la cepa más virulenta la cual ataca al cultivar Cavendish, así como a Gros Michel y Bluggoe. Por otra parte, Thurston (1989), señala que el mal de Panamá es un hongo saprófito facultativo, por lo que la habilidad para sobrevivir en malezas y pasto podría explicar la persistencia del hongo en suelos sin banano.

Distribución nacional de hospedantes

En México el hospedante principal potencial para este hongo es el cultivo del plátano.

Distribución geográfica del Mal de panamá *Fusarium oxysporum* f.sp. cubense



DGSV-SENASICA. Derechos reservados © 2017

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

Figura 1. Distribución geográfica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (**raza por país no especificada**) Fuente: Elaboración propia con datos de CAB International, 2016 y EPPO, 2016.

Cuadro 1. Distribución geográfica de *Fusarium oxysporum*

África	América	Asia	Oceanía	Europa
Mozambique	Ausente	Taiwán, Malasia, Indonesia, China, Filipinas, Jordania	Papúa Nueva Guinea, Australia	Islas Canarias

Elaboración propia con datos de Davis *et al.*, 2000; Meng *et al.*, 2001; Qi, 2001; Chen *et al.*, 2004; Qi *et al.*, 2008; Molina *et al.*, 2008; Molina 2009 a Molina, 2009b; OIRSA 2013; IITA, 2013; IPPC, 2013; Pérez-Vicente *et al.*, 2014; García-Bastidas *et al.*, 2014.

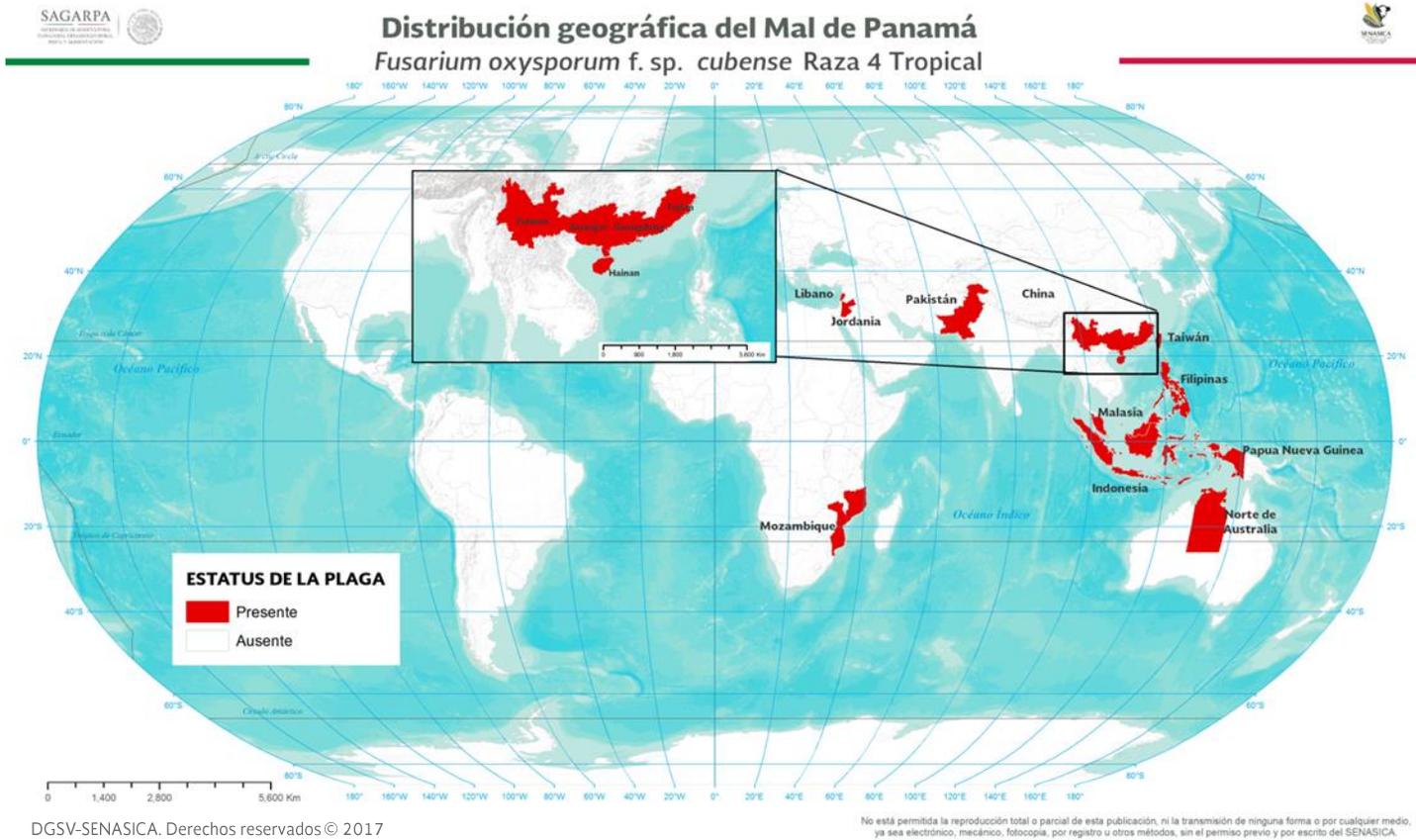


Figura 2. Distribución geográfica de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 Tropical. Elaboración propia con datos de Wageningen, 2015, Pérez-Vicente *et al.*, 2014; García-Bastidas *et al.*, 2014; OIRSA 2013; IITA, 2013; IPPC, 2013; Molina 2009; Molina *et al.*, 2008; Qi *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2004; Davis *et al.*, 2000; Meng *et al.*, 2001; Qi, 2001 y Davis *et al.*, 2000.

Cuadro 2. Hospedantes de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* raza 4 tropical.

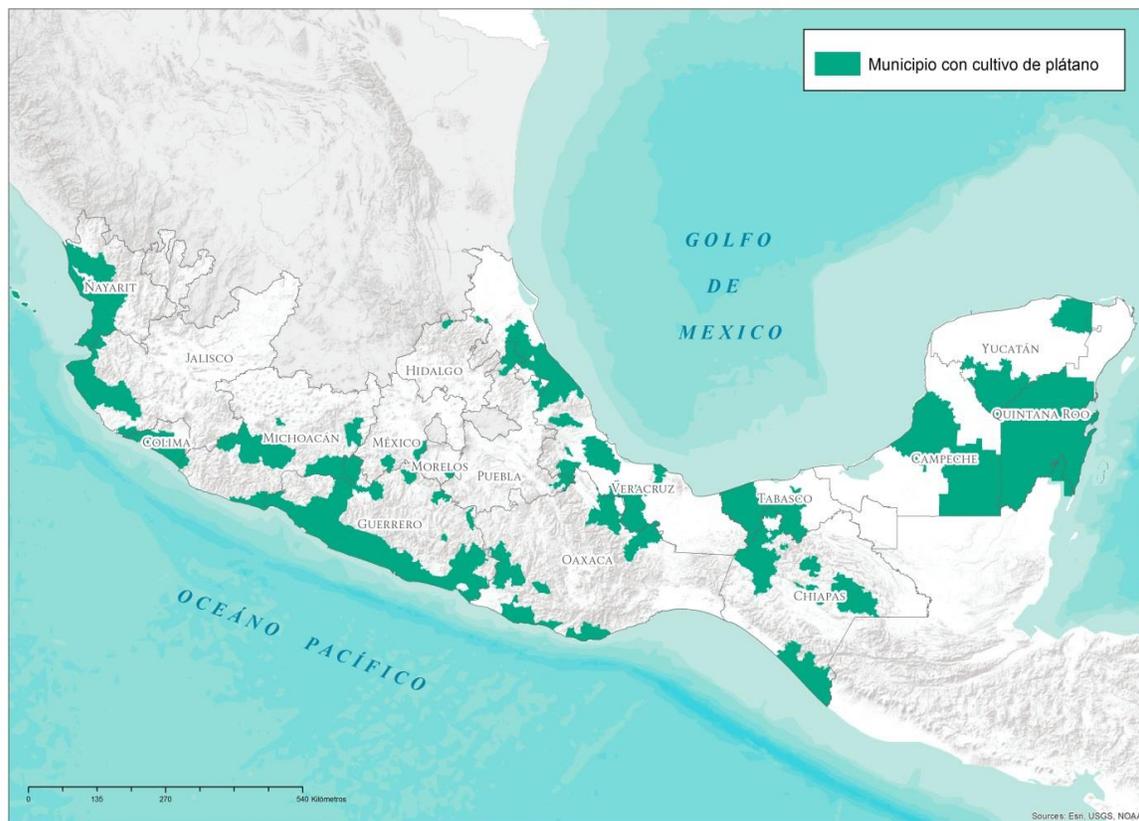
Familia	Nombre científico	Nombre común
Heliconiaceae	<i>Heliconia</i> sp. <i>Helioconia caribea</i> <i>Helioconia psittacorum</i> <i>Helioconia marie</i>	Heliconia
Commelinaceae	<i>Commelina diffusa</i>	Siempreviva
Poaceae	<i>Chloris inflata</i> <i>Panicum purpurascens</i>	Hierba borrego, Zacate pará
Asteraceae	<i>Tridax procumbens</i>	Mata gusano

Euphorbiaceae	<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leche de sapo
Musaceae	<i>Musa sp.</i> <i>Ensete ventricosum</i> <i>Musa textiles</i> <i>Musa acuminata</i> <i>Musa balbisiana</i>	Plátano y banano Ensete Abacá Bananos silvestres Plátano macho

Fuente: Manzo, 2013; OIRSA, 2008

En México el cultivo del plátano es uno de los agroecosistemas más redituables y de mayor distribución, se cultiva principalmente en 15 entidades federativas, destacando Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Guerrero, Nayarit y Puebla con 75, 725 ha equivalente al 98.6 % de la superficie nacional (Figura 3) (SIAP, 2017).

**SUPERFICIE SEMBRADA DE PLÁTANO
2015**



DGSV - CNRF - PVEF. DERECHOS RESERVADOS © 2017.
Fecha de elaboración: Febrero 2017

NO ESTÁ PERMITIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE ESTA PUBLICACIÓN, NI LA TRANSMISIÓN DE NINGUNA FORMA O POR CUALQUIER MEDIO, YA SEA ELECTRÓNICO, MECÁNICO, FOTOCOPIA, POR REGISTRO U OTROS MÉTODOS, SIN EL PERMISO PREVIO Y POR ESCRITO DEL SENASICA

DGSV-SENASICA © 2017.

Figura 3. Distribución de hospedantes potenciales de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* raza 4 tropical en México (SENASICA, 2017).

ASPECTOS BIOLÓGICOS

Ciclo biológico

De acuerdo con Nelson *et al.*, (1981), la temperatura óptima para el desarrollo de *Fusarium oxysporum* (no se especifica la raza), es de 25 a 28 °C, el crecimiento se inhibe cuando la temperatura es cercana a 33 °C y no es favorable por debajo de 17 °C (Cook y Baker, 1983). Es capaz de crecer y esporular sobre un amplio rango de valores de pH (óptimo, 7.5- 8.5); presentando un mayor crecimiento en condiciones de oscuridad continua.

Factores edáficos tales como un mal drenaje o condiciones físico-químicas desfavorables, juegan un papel importante en la predisposición del huésped a la enfermedad (Brake *et al.*, 1995).

En México existen condiciones climáticas adecuadas para el establecimiento del patógeno, de acuerdo con la Figura 4 se observa que los estados de Nayarit y Veracruz presentan un alto índice de similitud (color naranja-rojo) respecto a las condiciones climáticas favorables presentes en los países en donde ha sido reportada la enfermedad.

El mal de Panamá, es una de las enfermedades más nocivas que atacan a las musáceas (Batlle y Pérez, 2009). *Fusarium*

oxysporum f. sp. cubense puede permanecer en residuos de banano infectados en forma de clamidósporas, las cuales germinan estimuladas por secreciones radicales de plantas hospedantes y no hospedantes o por el contacto con tejido sano de un cultivar susceptible. Micelio y conidios son producidos después de 6 u 8 horas y nuevas clamidosporas a los 2 o 3 días (Stover, 1968).

El hongo penetra a la planta a través de las raíces terciarias, pero no por las raíces principales, a menos que haya exposición del cilindro central. Posteriormente ingresa al sistema vascular del rizoma y pseudotallo e invade los vasos de la xilema. Una vez dentro del xilema, el hongo produce conidios, los cuales son llevados a lo largo de los haces vasculares donde inician nuevas zonas de infección, ocasionando su obstrucción y, como consecuencia, el movimiento del agua y nutrientes se reduce.

En estados más avanzados de la enfermedad el hongo crece fuera del sistema vascular, en el parénquima adyacente, produciendo grandes cantidades de conidios y clamidosporas; estas últimas retornan al suelo cuando la planta muere permaneciendo en dormancia por más de 20 años (Pérez-Vicente *et al.*, 2014).

El ciclo se repite cuando las clamidosporas germinan e infectan nuevamente la planta (Davis, 2005; Nel, 2005).

Descripción morfológica

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* (Foc) se divide en cuatro razas de acuerdo a su patogenicidad sobre cultivares de banano (Gloenewald *et al.*, 2006). La raza 1 es patogénica sobre el cultivar Gross Michael (genotipo AAA) y Silk (AAB), Pome, y Pisang Awak (Stover y Malo, 1972); mientras que la raza 2 infecta a plantas Bluggoe (ABB) y especies relacionadas a bananos de cocción (Moore *et al.*, 1995).

La raza 3 afecta a *Heliconia* spp. (Waite, 1963), y la raza 4 afecta principalmente al banano en cultivares del grupo Cavendish, así como a especies susceptibles a la raza 1 y 2. Esta raza es subdividida en Tropical (R4T) y Subtropical (R4S).

Foc R4S ataca a cultivares de banano del grupo Cavendish en regiones subtropicales como Taiwán, Islas Canarias, Sudáfrica y Australia. Mientras que Foc R4T afecta a cultivares de banano del grupo Cavendish en Australia y las regiones tropicales del sur y este de Asia: China, Indonesia, Malasia, y Filipinas (Ploetz y Pegg, 2000; Molina, 2009).

Fusarium oxysporum es un hongo anamorfo del cual no se conoce su fase sexual (teolomorfo), sus cepas no pueden distinguirse morfológicamente, produce macroconidios, microconidios y clamidosporas como mecanismos de dispersión y reproducción. Los microconidios presenta una forma ovalada y están constituidos por una sola célula, mientras que los macroconidios, ligeramente curvados y relativamente delgados, presentan de 4 a 8 células.

Micro y macroconidios se producen sobre cortas monofiáles ramificadas o no ramificadas (Leslie y Summerell, 2006; Burgess *et al.*, 1994; Nelson, 1981).

Las clamidosporas son generalmente globosas y se forman individualmente o en pares, estas esporas constituyen estructuras de resistencia del hongo, poseen paredes celulares gruesas, y su producción es abundante sobre los tejidos infectados en estados avanzados de la enfermedad.

Pueden estar intercaladas o en la parte terminal de las hifas (Figura 5) (Davis, 2005; Lara, 2009).

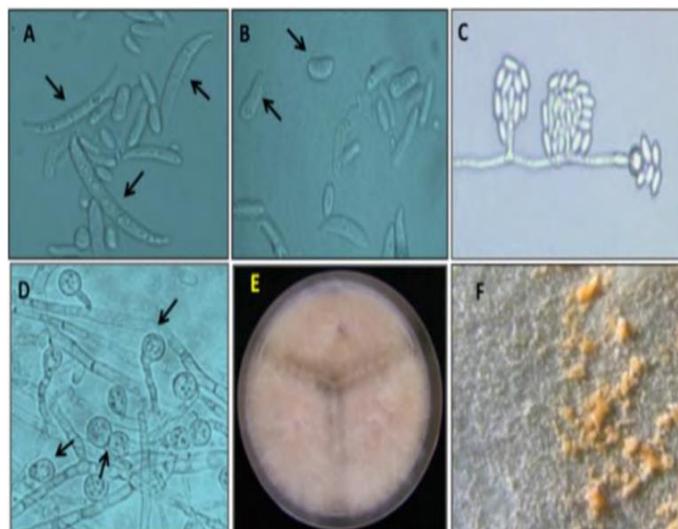


Figura 5. Estructuras reproductivas de *Fusarium Oxysporum* f. sp. *cubense*. A= macroconidio; B= microconidio; C= fialides y microconidios agrupados en falsas cabezas; D= clamidósporas; E= Foc R4T en medio PDA; F= coloración naranja de esporodocios desarrollados en PDA. Créditos: Dita y Pérez Vicente, 2014.

Síntomas

En banano los síntomas externos producidos por el mal de Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*) se caracterizan por un amarillamiento uniforme de las hojas adultas a lo largo del margen foliar, el cual se extiende hacia la nervadura central de la hoja, hasta que esta queda completamente seca y de color café; puede o no manifestarse un agrietamiento en la base del pseudotallo. En la fase inicial de la enfermedad, estos síntomas pueden confundirse con los producidos por deficiencia de potasio, especialmente bajo condiciones de sequía y frío. Posteriormente, todas las hojas se marchitan, quedan suspendidas de la planta y unidas al pseudotallo (Figura 6a y 6b) (Thurston, 1989; Arroyo et al., 1993; Moore et al., 1995).

En algunos cultivares las hojas permanecen verdes hasta que el peciolo se curva y colapsa (Pérez-Vicente et al., 2014).

Los síntomas internos se caracterizan por un cambio de color de los haces vasculares el cual se observa al cortar las raíces, el cormo o el pseudotallo. Esta decoloración del tejido vascular (amarilla o café-oscuro) avanza hacia los haces vasculares del pseudotallo y algunas veces en el raquis.

La primera decoloración vascular ocurre en las vainas de las hojas externas del pseudotallo, las más internas cambian de color al final (Thurston, 1989; Moore et al., 1995).

Al realizar un corte vertical del pseudotallo de una planta infectada por el mal de Panamá se observan líneas color café, rojo o amarillo; mientras que en un corte transversal se observan en forma de anillos (Figura 7).

Cuando se disecta un rizoma proveniente de una planta infectada por *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* se observan manchas y filamentos de color amarillo (Figura 8). Pérez-Vicente et al., (2014), mencionan que no hay diferencia en los síntomas causados entre las diferentes razas de Foc.

El mal de Panamá puede ser confundido fácilmente con el falso mal de Panamá, debido a los síntomas similares que ambos ocasionan. Sin embargo, el falso mal de Panamá se debe a factores abióticos y comienza en las hojas más bajas o viejas.

El amarillamiento de las hojas no es uniforme y se caracteriza por que el margen de cada hoja se torna de color verde claro a amarillo, y aparecen líneas necróticas rodeadas por un margen amarillo (Figura 9) [De Beer et al., 2001].

Cuando el pseudotallo de una planta que muestra los síntomas del falso mal de Panamá se corta transversalmente, a unos 50 cm. por encima del nivel del suelo, se observan filamentos vasculares de color rojo sin la presencia de bolsillos gomosos como en el caso de Foc R4T. En las plantas afectadas por el marchitamiento causado por Foc R4T, la decoloración de los haces vasculares es continua. En el caso del falso mal de Panamá, la decoloración de los filamentos vasculares generalmente no es continua, observándose regiones cortas de unos 10 cm de largo, separados por áreas anchas.

Cuando se parte el rizoma de una planta afectada por el falso mal de Panamá, se observan manchas de color café y filamentos blancos (De Beer et al., 2001).



Figura 6a y 6b. Plantas de banano con las hojas jóvenes erizadas y el resto de las hojas suspendidas del pseudotallo en forma de “falda”.



Figura 7. Pseudotallo de banano con una coloración café en forma de anillo, característico de la enfermedad.

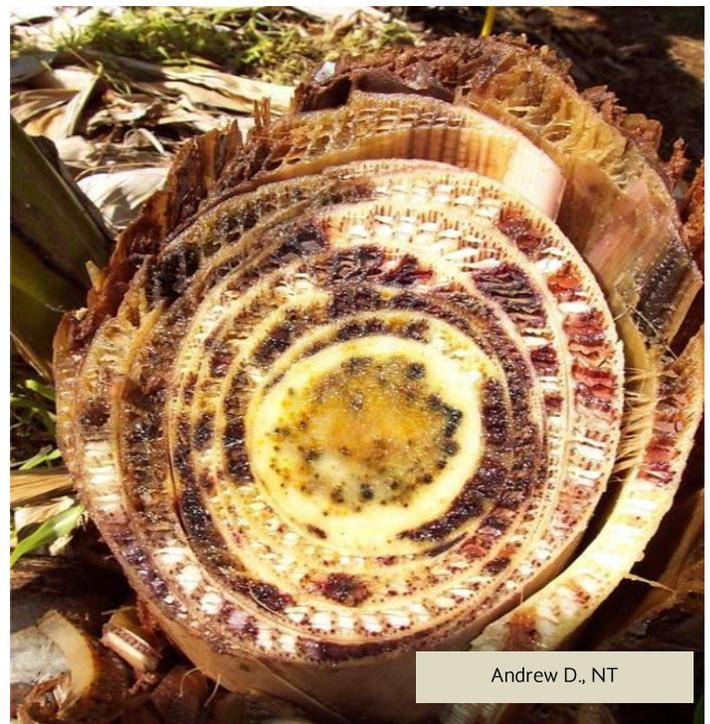


Figura 8. Corte transversal del rizoma infectado, donde se observan manchas y filamentos blanco-amarillos.



Figura 9. Amarillamiento no uniforme y formación de áreas necróticas rodeadas por un margen amarillo. Síntomas característicos del falso mal de Panamá. Créditos: De Beer *et al.*, 2001.



Figura 10. Corte transversal del pseudotallo afectado por el falso mal de Panamá, donde se observa la coloración rojiza de los haces vasculares sin la presencia de bolsillos gomosos.

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS

Epidemiología de la plaga

Existen pocos estudios, respecto a la biología, ecología y epidemiología del patógeno, en este sentido, el conocimiento del patosistema banano Cavendish-Foc R4T, o cepa 01213 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* aún es desconocido (Buddenhagen, 2009).

Foc R4T se distingue de la raza sub-tropical (Foc R4S), debido a que es genéticamente distinta y por su rango de hospedantes. Foc R4T infecta plátanos Cavendish en las regiones tropicales tales como sureste de Asia y Australia, mientras que la variante subtropical raza 4 infecta plátanos Cavendish en el sur de África, Australia, Taiwán e Islas Canarias (Ploetz y Churchill, 2011; Pegg *et al.*, 1994; Bentley *et al.*, 1998; Ploetz and Pegg, 2000; Su *et al.*, 1986).

Infección

El hongo tiene la habilidad para establecerse sistémicamente en los vasos del xilema de las plantas de banano, causando una decoloración vascular, amarillamiento y marchitez (Kidane y Laing, 2010).

Patogénesis

Cuando esta enfermedad infecta los tejidos de la planta hospedante provoca la secreción de un gel y la formación de tilosas en los haces vasculares, de esta manera se obstruye el movimiento del agua a la parte superior (follaje) de la planta, lo que ocasiona el amarillamiento, marchitez y eventualmente, la muerte de la planta (Leong, *et al.*, 2009).

Sobrevivencia

El patógeno sobrevive en el suelo y penetra a las raíces, de donde se desplaza lentamente hacia el cormo de la planta de banano (Raguchander *et al.*, 1997). Foc produce clamidosporas que habilita al hongo a persistir en el suelo en ausencia de su hospedante principal, incluso, una vez que el suelo es infestado los cultivares susceptibles no pueden ser replantados de manera exitosa por más de 30 años (Stover, 1990; Dita, *et al.*, 2010).

Diseminación

Foc raza 4 se disemina principalmente a través del movimiento de material de propagación y residuos de plátano infectados (Davis, 2005). También se puede propagar a través del suelo adherido a los implementos de siembra o a los vehículos. Las esporas del patógeno, así como el material infectado, son transportados hacia los canales de drenaje por el agua de lluvia y, a través del agua de riego, estas esporas infectan nuevas áreas agrícolas. Por otra parte, el patógeno puede infectar raíces de ciertas malezas sin provocar síntomas visibles y puede permanecer en ellas en ausencia de plátano o banano (Moore *et al.*, 1995). Se ha observado que el exceso de humedad en suelos arcillosos con mal drenaje, favorecen su desarrollo y dispersión; los suelos ácidos y pobres en calcio reúnen condiciones adecuadas para el desarrollo del hongo (Moore *et al.*, 1995).

También existe la posibilidad de la diseminación del hongo por insectos vectores. Estudios realizados en Australia confirmaron por PCR la presencia de Foc R4T en el exoesqueleto de *Cosmopolites sordidus* (Pérez-Vicente *et al.*, 2014)

Métodos de diagnóstico

Diagnóstico Molecular

Debido a la importancia mundial que representa el cultivo de banano, el diagnóstico e identificación de las formas especiales de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* es imprescindible, en el sentido de implementar cuarentenas a patógenos que son de importancia económica, en este caso, Foc R4T (Dita *et al.*, 2010).

El diagnóstico molecular de Foc R4T, implica el aislamiento del ADN del patógeno a partir de tejidos enfermos, como pseudotallos o cormos de banano. El crecimiento del patógeno se realiza sobre medio Komada e incubación a 25 °C. El ADN genómico total se extrae del crecimiento micelial o esporas mediante un sistema de purificación de ADN Wizard (Promega, Madiso, USA) (Waalwijk, *et al.*, 2011). El gen TEF 1- α y la región IGS pueden ser secuenciados mediante el uso de primers: FocR4T-F (5'-CACGTTTA-AGGTGCCATGAGAG-3') y FocR4T-R (5'-GCCAG GACTG CCTCG TG A-3') Foc R4T (O'Donnell, *et al.*, 2009; Dita, *et al.*, 2010).

MEDIDAS FITOSANITARIAS

Control cultural

Uso de Vitroplantas. Puesto que el patógeno se disemina mediante el uso de cormos enfermos, la producción de banano debe sustentarse en el uso de plántulas provenientes de cultivo de tejidos, sobre todo al establecer nuevas áreas de cultivo.

Rotación de cultivos. Con el objetivo de reducir la cantidad de inóculo, en Asia, el cultivo de banano Cavendish, enano gigante, se rota por 6 años con cultivos de cassava, arroz, piña y papaya (Buddenhagen, 2009). Realizar drenes profundos que faciliten el drenaje de los suelos, mitigando las condiciones que favorezcan el desarrollo de *Foc R4T*.

Control biológico

Lian *et al.* (2008) reportan el potencial de bacterias endofíticas en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. En este sentido, el análisis de comunidades demostró un incremento en la diversidad bacteriana en plantas infectadas por *Foc* en comparación a las plantas control. Las especies bacterianas presentes fueron: *Bacillus* spp. y *Pseudomonas* sp. Los resultados de este estudio, muestran un uso potencial de bacterias antagónicas endofíticas en el control de *Foc R4T*.

Control genético

La resistencia natural de las plantas de banano a enfermedades existe en materiales silvestres, pero estos bananos no son

De Ascensao y Dubery (2000), encontraron en plantas de banano cv Goldfinger (AAAB) un fortalecimiento de la pared celular debido a la deposición de lignina como un mecanismo de defensa inducido por las raíces de banano contra *Foc R4T*.

Van Den Berg y colaboradores, (2007) reportaron una selección de banano grupo Cavendish (GCTCV- 218), la cual presentó una menor incidencia y severidad de *Foc R4T* en relación al cultivar susceptible Williams. La tolerancia de GCTCV-218 se relacionó con la inducción al incremento de la pared celular asociado a compuestos fenólicos. El análisis molecular de fragmentos de genes, involucran a genes relacionados con el grosor de la pared celular.

De la Cruz *et al.* (2008) -reportan que derivado de una red de programas de mejoramiento y en colaboración con Bioversity International, la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), el Centro de Investigación de Agricultura de Francia de Desarrollo Internacional (CIRAD), el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) y el Instituto de Investigación de Banana de Taiwán (TBRI), se tienen las siguientes variedades:

FHIA-01 (variedad utilizada como poste presenta un ligero sabor a manzana, proviene de lugares fríos), es resistente a las razas 1 y 4 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (*Foc*), agente causal de la marchitez por *Fusarium*.

Cultivar Rose, resistente a la marchitez por *Foc*, pero no es comercial.

- GCTCV-119 es altamente resistente a *Foc* raza 4, pero susceptible a BTD (enfermedad del cogollo racimoso del banano).
- Yangambi Km 5 no es de importancia comercial, sin embargo, es moderadamente resistente a BBTB y altamente resistente a marchitez de por *Foc*, sigatoka y al nematodo *Radophulus similis*.

Control químico

A nivel in vitro los fungicidas procloraz y propiconazol inhiben el crecimiento micelial de *Foc*, a 1 y 5 $\mu\text{g.ml}^{-1}$, respectivamente; mientras que al realizar aplicaciones a las raíces de benomil y fungicidas del grupo DMI's como imidazoles (procloraz) y los triazoles (propiconazol y cyproconazol), reducen de manera significativa la severidad de la enfermedad (Nel et al., 2007). Los fungicidas eficientes, como el propiconazol, pueden utilizarse bajo un sistema de protección temprana, puesto que, el mayor número de casos de la enfermedad ocurren durante los primeros seis meses. De igual forma, la inmersión de las raíces en fungicidas adecuados debe realizarse durante la etapa de vivero de las plántulas (Buddenhagen, 2009).

El control químico puede ser combinado con productos de control biológico, en este sentido, los fungicidas pueden ser aplicados a las plantas de banano mediante humedecimientos dirigidos al suelo o inyecciones al sistema radicular.

Respecto al manejo de superficies, las sales cuaternarias de amonio, son efectivas a bajas concentraciones y de rápida acción contra-

conidios de *Foc* R4T, las cuales además pueden ser utilizadas para la desinfección de equipos, maquinaria, herramientas, y en tapetes fitosanitarios (Nel et al., 2007). Adicionalmente, las sales cuaternarias de amonio son relativamente baratas, no tóxicas, no corrosivas y ambientalmente amigables.

Exclusión

La exclusión de patógenos en áreas de producción puede ser difícil, pero es la estrategia con mejor relación costo beneficio para el manejo de esta enfermedad. La detección temprana y adecuada identificación del patógeno, son los principales pasos para la exclusión; además de la certificación del estatus libre del patógeno y el manejo seguro del germoplasma, las cuarentenas son una importante estrategia de defensa contra el movimiento de patógenos importados, en este sentido muchos países tienen una lista de patógenos y plantas prohibidas o restringidas. Sin embargo, estas normas no son suficientes para mantener un área libre de la plaga. Por ejemplo, la diseminación de este patógeno en Asia es un ejemplo del movimiento continuo de un problema importante, a pesar de generar una conciencia en la región sobre la seriedad y alcance del problema.

Erradicación

La erradicación de un patógeno es por lo general muy difícil, y no existen ejemplos exitosos de erradicación de hongos fitopatógenos del suelo en áreas infestadas inicialmente.

La erradicación de *Foc R4T* podría ser muy difícil ya que el hongo sobrevive por décadas en suelos infestados, debido a la formación de clamidósporas con paredes celulares gruesas y su capacidad para infectar malezas hospedantes alternas que no desarrollan síntomas; sin embargo, perpetúan al patógeno en ausencia del banano.

Manejo integrado de la enfermedad

La prevención y manejo de la marchitez por *Foc R4T* implica la aplicación varias estrategias:

- 1) Detección temprana del patógeno y erradicación de tejidos enfermos mediante incineración.
- 2) Prevención de la diseminación mediante la implementación de cuarentenas y una vez dentro de una región determinada, usar tapetes fitosanitarios.
- 3) Implementación de sistemas de cultivos.
- d) Uso de cultivares de banano resistentes como GCTCV 119 (Molina et al., 2010).

La integración del biocontrol, como es el uso de *Trichoderma harzianum* e inoculación de cepas endofíticas no patogénicas de *Fusarium oxysporum*, con prácticas agronómicas, uso de mulch o cubiertas de residuos de cosecha, puede incrementar la eficacia de los organismos de biocontrol de *Foc R4T* y la sanidad de las plantas de banano. En el caso de los residuos de cosecha, estos incrementan el desarrollo de raíces secundarias, además generan un ambiente propicio para el incremento de la actividad microbiana en el suelo (Kidane y Lainng, 2010). El desarrollo de medidas profilácticas es la base para evitar la diseminación de *Foc R4T*.

Las medidas fitosanitarias referidas anteriormente, son técnicas que se aplican en los países donde hay presencia de la plaga cuyo resultado proviene de la investigación científica de expertos en el tema.

Los procedimientos de exclusión y cuarentena son efectivos para controlar la enfermedad puesto que restringen el movimiento de cormos, hijuelos y suelo, que podrían transportar al mal de Panamá de regiones infestadas a áreas libres (Moore et al., 1995).

Medidas Regulatorias

Fusarium oxysporum f. sp. *cupense* raza 4 Tropical actualmente no está referido como plaga de interés cuarentenario en ninguna Norma Oficial Mexicana, asimismo, no se encuentra incluido en el Módulo de requisitos fitosanitarios (SENASICA- SAGARPA, 2016); no obstante, se encuentra regulada en el Listado de Plagas Reglamentadas de México ante la CIPF (CIPF, 2015). A nivel nacional, la regulación del mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*) se realiza a través de la NOM-010-FITO-1995, por la que se establece la cuarentena exterior para prevenir la introducción de plagas del plátano (DOF, 2009).

VIGILANCIA FITOSANITARIA

EPIDEMIOLÓGICA

Con el fin de detectar de manera oportuna el mal de Panamá raza 4, la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), a través del Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (PVEF) realiza acciones para la detección temprana de esta enfermedad en entidades o regiones con elevado nivel de riesgo epidemiológico, a través de las siguientes estrategias operativas:

- **Áreas de exploración**, actividad de inspeccionar, con el uso de esquemas de muestreo, superficies de cultivos comerciales, con el fin de verificar la presencia o ausencia de plagas cuarentenarias;
- **Parcela centinela:** Hospedante preferencial o alterno, colocado expofeso en puertos, aeropuertos y fronteras con la finalidad de realizar la inspección visual de manera periódica y verificar la presencia o ausencia de una plaga cuarentenaria;
- **y rutas de vigilancia:** Puntos estratégicos establecidos sobre vías de comunicación, traspacios, zonas urbanas, áreas silvestres, centros de acopio, y distribución de productos agrícolas y fronteras, donde existen hospedantes tanto cultivables como silvestres, en los cuales se realiza la inspección visual periódicamente en busca de alguna plaga cuarentenaria

Las estrategias anteriores son establecidas estratégicamente con base en la distribución y superficie sembrada de hospedantes principales y potenciales, etapas fenológicas inductivas, condiciones climáticas inductivas, biología de la plaga, rutas de comercialización y vías de comunicación (SAGARPA-SENASICA-PVEF, 2017).

Toma y envío de muestras

La toma de muestras, se llevará a cabo toda vez que, en las inspecciones visuales y las revisiones realizadas en cada una de las estrategias operativas descritas, se encuentren hospedantes que presenten la sintomatología que causa la bacteria, por lo que una vez identificada, se procederá a la toma y envío de muestra referido en el siguiente enlace:
<http://sinavef.senasica.gob.mx/SIRVEF/ReporteCiudadano.aspx>.

Alerta fitosanitaria

En adición a las acciones del Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria para la detección oportuna de focos, la DGSV ha puesto a disposición la comunicación pública mediante el teléfono (01)-800-98-79-879 y el correo electrónico: alerta.fitosanitaria@senasica.gob.mx para atender los reportes sobre la posible presencia de brotes emergentes.

BIBLIOGRAFÍA

Arroyo, H. A., Cabrera C, J., Galán S, V., García, P. J. y Hernández H. J. 1993. El Mal de Panamá: recomendaciones técnicas para el cultivo de la platanera en Canarias. Publicaciones de la Secretaría General Técnica, S.L. Gobierno de Canarias, Consejería de Agricultura y Alimentación. Santa Cruz de Tenerife, Canarias. 23 pág.

Bancroft, J. 1876. Report of the board appointed to enquire into the cause of disease affecting livestock and plants. In: Votes and Proceedings 1877, Vol. 3, Queensland, pp. 1011-1038.

Batlle, V. A y Pérez, V. L. 2009. Variabilidad genética de las poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* en bananos y plátanos de Cuba. Rev. Fitosanidad. vol. 13 No. 3, septiembre 2009.

Bentley, S., Pegg, K. G., Moore, N. Y., Davis, R. D., and Buddenhagen, I. W. 1998. Genetic variation among vegetative compatibility groups of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* analyzed by DNA fingerprinting Phytopathology, 88: 1283-1293.

Brake, V. M., Pegg, K. G., Irwin, J. A. G., and Chaseling, J. 1995. The influence of temperature, inoculum level and race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* on the disease reaction of banana cv. Cavendish, Australian Journal of Agricultural Research, 46: 673-685.

Buddenhagen. 2009. Understanding strain diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense* and history of introduction of tropical race 4' to better manage banana production. Acta Horticulturae, 828:193-204. En línea: http://www.actahort.org/members/showpdf?booknrarnr=828_19. Fecha de consulta 27 de febrero de 2015.

Burgess, L. W., Summerell, B. A., Bullock, S., Gott, K.P., Backhouse, D. 1994. Laboratory Manual for *Fusarium* Research. 3th ed. United States. 133 p.

CAB International. 2016. Crop Protection Compendium. CAB International. United Kingdom. En línea: <http://www.cabi.org/cpc/datasheet/24621> Fecha de consulta: 24 de febrero de 2016.

Comité Sistema Producto Plátano Nacional, A.C. (CSPPN). 2015. Capacidad de consumo de banano en el mercado nacional. SAGARPA, México, D.F. P:2-12.

CIPF. 2015. Lista de Plagas Reglamentadas de México 2015. Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF): En línea: <http://www.ippc.int/es/>; fecha de consulta: 09 de marzo 2017.

Cook, RJ and Baker KF. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN, USA. 539 pp.

- CONACyT.** 2009. Producción bananera en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Consultado en línea el 3 de marzo de 2011 en: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/232/Articulos/SigatokaNegra/Sigatoka3.html>
- Chen H., Xu, C., Feng, Q., Hu, G., Li, J., Wang, Z., and Molina, B.** 2004. Screening of banana clones for resistance to fusarium wilt in China. *Advancing banana and plantain R&D in Asia and the Pacific - Vol 13.*
- Daly, NT.** 2017. Banana plant affected by Panama TR4. Australian Banana Grower's Council Inc. En línea: <http://abgc.org.au/news-media/photo-gallery/nggallery/gallery/panama-tr4>. Fecha de consulta. 20 de febrero de 2017.
- Davis, R., Moore, N, Y., Bentley, S., Gunua, T. H. and Rahamma, S.** 2000. Further records of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* from New Guinea. *Australasian Plant Pathology* 29: 224.
- Davis, R.** 2005. Fusarium wilt (Panama disease) of banana. Pest Advisory Leaflet No 42. Secretariat of the Pacific Community. Oceania.
- De Ascensao, A. R and Dubery, I. A.** 2000. Panama Disease: Cell Wall Reinforcement in Banana Roots in Response to Elicitors from *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Race Four. *Phytopathology*. 2000 Oct; 90 (10):1173-80.
- De Beer, Z., Hernández, J M y Sabadel, S.** 2001. Enfermedades de Musa: Hoja divulgativa No. 9. Enfermedad del Falso mal de Panamá en banano. Red Internacional para el Mejoramiento del Banano y el Plátano, Francia. En línea: <http://bananas.bioversity-international.org/files/files/pdf/publications/disease9sp.pdf> Fecha de consulta 27 de febrero de 2015.
- De la Cruz, F. S., Gueco, L. S., Damasco, O. P., Huelgas, V. C., De la Cueva, F. M., Dizon, T. O., Sison, M. L., Banasihan, I. G., Sinihin, V. O., and Molina, A. B.** 2008. *Farmers' Handbook on Introduced and Local Banana Cultivars in the Philippines.* Bioversity International, Rome, Italy, 67 pp.
- DGSV-CNRF.** 2016. Acciones operativas para las plagas bajo vigilancia epidemiológica fitosanitaria 2016. Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. SENASICA. Cd. de México.
- Dita R, M. A., Echegoyen R, P. E., and Pérez-Vicente, L. F.** 2013. Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en un país de la región del OIRSA. *Sanidad Vegetal. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria – OIRSA. Sanidad Vegetal.* 155 p. En línea: <http://www.oirsa.org/aplicaciones/subidoarchivos/BibliotecaVirtual/PlandecontingenciacontraFocR4TOIRSA.pdf> Fecha de consulta febrero de 2016.

- Dita**, M. A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I. W., Souza, M. T., and Kema, G.H. J. 2010. A molecular diagnostic for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen. *Plant Pathology* 59:348-357.
- DOF**. 2009. Diario Oficial de la Federación. Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-010-FITO-1995, por la que se establece la cuarentena exterior para prevenir la introducción de plagas de plátano. Modificada el lunes 12 de octubre de 2009.
- EPPO**. EPPO. 2014. PQR - EPPO database on quarantine pests. En línea: <http://www.eppo.int>. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2014.
- FAO**. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Principales enfermedades del banano y el plátano: información actualizada sobre su propagación, efectos y estrategias de respuesta. Reunión conjunta del Subgrupo sobre el Banano en su cuarta reunión y del Subgrupo sobre Frutas Tropicales en su quinta reunión.
- García-Bastidas** F., Ordóñez, N., Konkol, J., Al-Qasim, M., Naser, Z., Abdelwali, M., Salem, N., Waalwijk, C., Ploetz, R. C., and Kema, G. H. J. 2014. First Report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 Associated with Panama Disease of Banana outside Southeast Asia. *Plant Disease* 2014 98:5, 694-694.
- Gloenewald**, S., Van Den Berg, N., Marasas, W. F., and Viljoen, A. 2006. The application of high throughput AFLPs in assessing genetic diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Mycological research*, 110, 297-305.
- Hwang**, S. C., Ko, W.H. 2004. Cavendish banana cultivars resistant to *Fusarium* wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan. *Plant Disease*, 88: 580-588.
- IITA**. 2013. New banana disease to Africa found in Mozambique. International Institute of Tropical Agriculture. En línea: http://www.iita.org/2013-press-releases/-/asset_publisher/CxA7/content/new-banana-disease-to-africa-found-in-mozambique?redirect=%2Fhome#.VBcqmxil672
- IPPC. 2016a** International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) 5. Glossary of Phytosanitary Terms. International Plant Protection Convention (IPPC). En línea: https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2016/06/ISPM_05_2016_Es_2016-06-23_FullReviewLRG-CPAM.pdf. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2017.
- IPPC. 2016b** International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM) 8. Glossary of Phytosanitary Terms. International Plant Protection Convention (IPPC).

- En línea:
https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2016/01/ISPM_08_1998_Es_2016-01-14.pdf. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2017.
- Kidane E. G** and **Laing M. D.** 2010. Integrated Control of *Fusarium* Wilt of banana (*Musa* spp.). *Acta Horticultural*, 879:315-321.
- Lara F., D. F.** 2009. Uso de bacterias endofíticas para el control biológico del Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*) en el cultivar Gros Michael (AAA). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis de Maestría. 59 p.
- Leong S. K., Ltiffah, Z., and Baharuddin S.** 2009. Molecular characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* of banana. *American Journal of Applied sciences* 6 (7):1301-1307.
- Leong S. K., Ltiffah, Z., and Baharuddin S.** 2010. Genetic diversity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* isolates from Malaysia. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 4(11):1026-1037.
- Leslie, J. F., and Summerell, B. A.** 2006. *The Fusarium Laboratory Manual*. USA. Blackwell Publishing. 388 p.
- Lian J., Wang, Z., and Zhou S.** 2008. Response of endophytic bacterial communities in banana tissue culture plantlets to *Fusarium* wilt pathogen infection. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 54: 83-92.
- Manzo S, G.** 2013. Epidemiología y manejo del mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*) Raza 4 Tropical. *In: XL Congreso Nacional y XV Congreso Internacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología*. 36-37 pp. En línea:
<http://infit.org.mx/socmexfito/suplemento/docs/tropicales/2GilbertoManzoSanchez.pdf>. Fecha de consulta febrero de 2016.
- Meng, L. Y., Leng, T., Kim Ping, O.** 2001. *Fusarium* wilt of Cavendish banana and its control in Malaysia. 252-259 pp *In* *Banana Fusarium wilt management: towards sustainable cultivation*. Molina A. B., Masdek, N. H., and Liew, K. W. (eds). INIBAP-ASPNET.
- Mexbest** Safety and Quality Taste, 2015. *Mexican Agricultural Exporters Directory*. Consejo Nacional Agropecuario. Pp 136.
- Molina, A.B., Fabregar, E. G., Sinohin, V., Fourie, G., Viljoen, A,** 2008. Tropical race 4 of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* causing new Panama wilt epidemics in Cavendish varieties in the Philippines. *Phytopathology*, 98:108.
- Molina,** 2009a. Estado de la incidencia en Asia del marchitamiento por raza tropical 4 de *Fusarium* en el cultivo de banano. 9-11 pp. *In: Reunión de grupos de interés sobre los riesgos de la raza tropical 4 de Fusarium, BBTv y otras plagas de musáceas para la región del OIRSA, América Latina y el Caribe* 29-31 de julio de 2009.

- Molina, A.** 2009b. Fusarium Wilt Of Banana – Renewed Threat And Renewed R&D Interest. Abstract Presented at the International ISHS-Promusa Symposium on Global Perspectives on Asian Challenges, 14-18 Sept 2009, Guangzhou, China.
- Molina, AB, Fabregar E, Sinohin VG, Yi G, and Viljoen A.** 2009. Recent Occurrence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 in Asia. Acta Hort. 828: 109-114.
- Molina AB, Sinohin VG, and Baroña MLJ.** 2010. Status of Tropical race 4 of Panama Wilt in Asia. Bioersivity International.
- Moore, N. Y., Bentley, S., Pegg, K. G., and Jones D. R.** 1995. *Fusarium* wilt of banana. Musa Disease Fact Sheet No. 5. International Network for the Improvement of Bananan and Plantain (INIBAP). Montpellier, Cedex 5, France. 4. Page.
- Nel, B., Steinberg C, Labuschagne N, and Viljoen, A.** 2007. Evaluation of fungicides and sterilants for potential application in the management of *Fusarium* wilt of banana. Crop protection 26:697-705.
- Nel.** 2005. Management of *Fusarium* wilt of banana by means of biological and chemical control and induced resistance. Tesis Magister Scientiae Petroria, Sur África, University of Petroria. 179 p.
- Nelson, P. E, Tousson, TA, and Cook, RJ.** 1981. *Fusarium*: diseases, biology and taxonomy (The Pennsylvania State University: Pennsylvania State).
- Nelson, P. E.** 1981. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*: In: Fungal wilt disease of plants. 51-80 pp. Mace, M. E., Bell, A. A., Beckman, C. H. (eds.). Academic Press. New York, United States.
- O’Donnell K, Gueidan C, Sink S, Johnston P. R., Crous P. W., Glenn A., Riley K., Zitomer N. C., Colyer, P., Waawijk, C., Van Der, L. T, Moretti, A., Kang, S., Kim, H. S, Geiser, D. M., Juba, J. H., Baayen, R. P., Cromey, M. G, Bithell, S, Sutton, D. A, Skovgaard, K., Ploetz R., Kistler, H. C, Elliot, M., Davis, M., and Sarver B, A. J.** 2009. A two locus DNA sequence database for typing plant and human pathogens within the *Fusarium oxysporum* species complex. Fungal genetics and biology, 46:936-948.
- OIRSA.** 2009. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). América Latina discute programa para la protección del cultivo del banano y plátano. Mirador Agrosanitario. No. 3. septiembre 2009. San Salvador, El Salvador. 12 pág.
- OIRSA. 2008.** Raza 4 del mal de Panamá: Una seria amenaza para la producción de banano y plátano en América Latina y el Caribe. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). 3p.

Pegg, K.C., Moore, NY and Bentley, S. 1996. *Fusarium* wilt of banana in Australia: a review. *Austr. J Agric. Res.*47:637-50.

Pegg, K. G., Moore, N. Y., Sorensen, S. 1994. Variability in populations of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* from Asia/Pacific region 70-82 pp. *In: The improvement and testing of musa: a global partnership.* Jones, D. R. (ed.). Proceedings of the first global conference of the international musa testing program. Honduras.

Pérez- Vicente, L., M. A. Dita., Martínez- de la Parte, E. 2014. Technical Manual Prevention and diagnostic of *Fusarium* Wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (TR4). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Prepared for the Regional Workshop on the Diagnosis of *Fusarium* Wilt (Panama disease) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4: Mitigating the Threat and Preventing its spread in the Caribbean.

Ploetz, R. C. 2006. *Fusarium* wilt of banana is caused by several pathogens referred to as *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*. *Phytopathology* 96:653-656.

Ploetz, R. C., and Pegg, K. C. 2000. *Fusarium* wilt. *In* D.R. Jones (Ed). Diseases of banana, abaca and enset. 143 – 159 pp. Wallingford: CABI.

Ploetz, R. C. and Pegg, K. G. 1997. *Fusarium* wilt of banana and Wallace's line: Was the disease originally restricted to the Indo-Malayan region?. *Australasian Plant Path.* 24: 38-43.

Ploetz, R. C and Churchill A. C. L. 2011. *Fusarium* wilt: the banana disease that refuses to go away. *Acta Hort.* 897:519-526.

Qi, P. 2001. Status report of banana *Fusarium* wilt disease in China. *In* Molina, A.B., Nik Masdek, N.H.; Liew, KW. (eds.) *Banana Fusarium wilt management: towards sustainable cultivation.* Laguna, PH. INIBAP. p. 119-120. 71

Qi, Y.X., Zhang, X., Pua, J.J., Xie, Y.X., Zhang, H.Q., Huang, S.L. 2008. Race 4 identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* from Cavendish cultivars in Hainan province, China. *Australasian Plant Disease Notes* 3: 46-47.

Raguchander, T, Jayashree, K, and Samiyappan, R. 1997. Management of *Fusarium* wilt of banana using antagonistic microorganisms. *J. Biol. Control,* 11:101-105.

Research Program On Roots, Tubers And bananas, 2017. Diseased Plants in Mozambique. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4. Mozambique Department of Agriculture, Matanuska, IITA, Stellenbosch University and Bioversity International. En línea: <http://www.rtb.cgiar.org/blog/2013/12/13/new-banana-disease-to-africa-found->

in-mozambique/. Fecha de consulta: 20 de febrero de 2017.

Sabadell. SG. 2003. Etiología y epidemiología del “Falso mal de Panamá” de la platanera en Canarias. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 286 p.

SAGARPA-SENASICA-PVEF. 2016. Programa de trabajo de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)-Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA)-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria (PVEF).

SENASICA-SAGARPA. 2016. Módulo de Consulta de requisitos Fitosanitarios para la importación de productos. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). En línea: <http://sistemas.senasica.gob.mx/mcrfi/> Fecha de consulta: marzo 2017.

SENASICA-SAGARPA. 2017. Manual Técnico. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA).

SIAP-SAGARPA. 2017. Cierre de producción agrícola por cultivo (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación (SAGARPA). En Línea: http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp. Fecha de consulta: 21 de febrero de 2017.

SINAVEF-LaNGIF. 2011. Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria-Laboratorio Nacional de Geoprocesamiento de Información Fitosanitaria Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología Universidad Autónoma de San Luis Potosí. En línea: <http://langif.uaslp.mx/>

Stansbury C, McKirdy S, and Power G. 2000. Factsheet No. 12. Consultado en línea el 10 de julio en: www.agric.wa.gov.au

Su, H. J. Hwang, S. C., and Ko, W.H. 1986. Fusarial wilt of Cavendish bananas in Taiwán. *Plant Disease*, 70(9): 814-818.

Sun, E. J., Su, H. J. and Ko, W. H. 1978. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense Race 4 from soil or host tissue by cultural characters. *Phytopathology*, 68: 1672-1673.

Stover, R. H. 1962. Fusarium wilt (Panama disease) of bananas and other Musa species. Kew, UK. Commonwealth Mycological Institute. 117 p.

Stover, R. H. 1968. Banana Root Diseases Caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense, *Pseudomonas solanacearum*, and *Radopholus similis*: A Comparative study of Life Cycles in Relation to Control. In: International Symposium on

- Factors Determining the Behavior of Plant Pathogens in Soil. (1968, London, England). 1970. Proceedings. Eds. T.A. Toussoun; R.V. Bega; P.E., Nelson. Los Angeles, London. University of California. 252 p.
- Stover**, R., and Hand Malo, S.E. 1972. The occurrence of *Fusarium* wilt in normally resistance dwarf Cavendish banana. Plant disease reporter, 56, 1000-1003.
- Stover**, R. H. 1990. *Fusarium* wilt of banana: some history and current status of the disease. In: Ploetz RC, ed. *Fusarium* wilt of bananas. St Paul, MN, USA: APS Press, 1-7.
- Su**, H.J., Hwang, S.C., and Ko, W.H. 1986. *Fusarium* wilt of Cavendish bananas in Taiwan. Plant Disease, 70: 814-818.
- Thurston**, HD. 1989. Enfermedades de cultivos en el trópico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Pág. 118-124.
- Van** Den Berg, N., Berger, D.V., Hein I, Birch. Wingfield, P. R. J., and Viljoen A. 2007. Tolerance in banana to *Fusarium* wilt is associated with early upregulation of cell wallstrengthening genes in the roots. Molecular plant pathology 8(3): 333-341.
- Waalwijk** C, Dita, M. A., Buddenhagen, I., Paiva, L. V., Souza, M. T, and Kema, G. H. J. 2011. A detection method for tropical race 4 of banana pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. Acta Hort. 897:339-343.
- Waite** BH. 1963. Wilt of *Heliconia* spp. caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Race 3. Tropical Agriculture (Trinidad), 40:299-305.
- Wageningen U R**. 2015. Mal de Panamá se reporta en Pakistán y Líbano. En línea:<https://www.wageningenur.nl/es/news-8/Mal-de-Panama-se-reporta-en-Pakistan-y-Libano.htm> Fecha de consulta abril de 2015.
- Forma recomendada de citar:**
- SENASICA. 2017.** Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) raza 4 Tropical (Foc R4T). Dirección General de Sanidad Vegetal-Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. Con la colaboración del Dr. Luciano Martínez Bolaños. Cd. de México. Última actualización, marzo 2017. Ficha Técnica No. 2. 28 p.