

## MANEJO CONVENCIONAL Y ALTERNATIVO DE LA SIGATOKA NEGRA EN BANANOS: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

Luis Pérez Vicente

Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Calle 110 no. 514 e/ 5a. B y 5a. F, Playa, Ciudad de La Habana, CP 11600, lperezvicente@hotmail.com

### RESUMEN

La lucha contra *Mycosphaerella fijiensis* en bananos y plátanos se ha desarrollado dentro de sistemas de manejo que integran el saneamiento, medidas culturales que tienden a crear condiciones más desfavorables al desarrollo de la enfermedad y al control químico. Se revisa el estado del conocimiento de los mecanismos de acción bioquímico de los diferentes grupos de ingredientes activos, su efecto sobre el desarrollo del patógeno y los problemas de emergencia de poblaciones con sensibilidad reducida. Para el control de *Mycosphaerella fijiensis* se han utilizado fungicidas de contacto como los alquilenbisdithiocarbamatos y el clorotalonil, y sistémicos inhibidores de la mitosis como los benzimidazoles, inhibidores de la biosíntesis de ergosterol (principalmente triazoles y morfolinás), inhibidores del transporte de electrones en las mitocondrias Qol's (strobulurinas y oximino acetatos), inhibidores de la producción de enzimas en el patógeno (anilino pirimidinas) e inductores de resistencia (ASM), los que en general se han utilizado en emulsión de aceite y agua o directamente en aceite. El patógeno muestra una alta capacidad de variación y adaptación, desarrollo de poblaciones competitivas con las cepas salvajes, con baja sensibilidad a benzimidazoles, triazoles y metoxyacrilatos en diferentes países. La creciente preocupación de los consumidores sobre los residuos de agroquímicos en frutos, así como la emergencia de poblaciones con sensibilidad reducida y los costos crecientes de la protección contra sigatoka negra, han compulsado a la búsqueda de nuevas alternativas al manejo, entre las que se encuentran el uso de clones con resistencia parcial mediante mejora convencional e ingeniería genética, el estudio del efecto secundario de agroquímicos para la nutrición, así como el uso de compostaje y lixiviados de humus, los cuales muestran eficacia en diferentes sistemas de producción para el control de la enfermedad. La lucha biológica con antagonistas bacterianos no brinda resultados de interés práctico para el manejo de clones susceptibles en el trópico húmedo. Finalmente las alternativas del manejo son distintas para los diferentes escenarios climáticos epidemiológicos y sistemas de producción.

Palabras clave: *Mycosphaerella fijiensis*, bananos, plátanos

### ABSTRACT

The management of *Mycosphaerella fijiensis* in banana and plantains has been carried out integrating sanitation measures, cultural practices conducing to create unfavorable conditions to disease development and the chemical control. The stage of the current knowledge is reviewed on the biochemical action mechanism of different active ingredient groups, its effects on pathogen development and the problem of emergence of populations with reduced sensibility to them. For *Mycosphaerella fijiensis* control, contact fungicides as bisdithiocarbamates and chlorotalonil, and systemics inhibitors of mitosis as the benzimidazole, has been used; inhibitors of ergosterol biosynthesis (mainly triazole and morpholines); inhibitors of electron transport in the mitochondria Qol's (strobulurines and oximino acetates); inhibitors of production of enzymes in the pathogen (anilino pyrimidines) and inductors of resistance (ASM), which has been in general used in plain oil or as oil in water emulsions. The pathogen shows a high capacity of variation and adaptation and has developed low sensitive competitive populations with the wild type populations to benzimidazole, triazole and methoxyacrilates in different countries. The raising concern of consumers on the agrochemical residues in fruits, as well as the emergence of resistant populations of the fungus and the rising costs of protection against Black Sigatoka has compelled the search of new alternatives of management, among them, the use of cultivars with partial resistance developed by conventional breeding and genetic engineering; the study of secondary effect of fertilizers as well as the use of compost and lixivates of humus which has been effective in different systems of banana production. Biological control by use of antagonists does not have brought practical results for disease control in susceptible cultivars particularly in the humid tropics. Finally, the alternative of management are different for the different climatic -scenario and production systems.

Key words: *Mycosphaerella fijiensis*, bananas, plantains

### INTRODUCCIÓN

Los bananos y plátanos no pueden producirse comercialmente sin control de las manchas de las hojas por *Mycosphaerella* spp. *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, agente causal de la raya negra o sigatoka negra, es sin duda, uno de los patógenos que mayor impacto económico, social y ambiental ha tenido en la historia de la agri-

cultura, y particularmente en la producción mundial de bananos y plátanos. La enfermedad puede reducir entre el 25 y el 90% los rendimientos [Fouré, 1985; Stover, 1983]. Los costos de manejo de la enfermedad en plantaciones comerciales oscilan usualmente entre 15 y 25% de todos los costos de producción [Stover, 1980, Pérez *et al.*, 2002b].

El manejo de la enfermedad se basa en la implementación de medidas culturales —drenajes para reducir la humedad interna de la plantación, una adecuada densidad de plantas, saneamiento de hojas enfermas, nutrición equilibrada para garantizar una rápida salida de hojas y potenciar las defensas naturales de la planta, y un adecuado sistema de cosecha—, el uso de clones con resistencia parcial, donde estos son aceptados, y el empleo de agroquímicos y compuestos de origen natural para el control [Pérez, 1997; 1998; Romero, 2000]. La implementación de programas de manejo eficientes requiere disponer además de tres tipos de informaciones básicas: 1) climáticas: particularmente cantidad y frecuencia de la lluvia y duración de la humectación de las hojas, que permite valorar la evolución epidemiológica futura [Gauhl, 1990; Pérez, 1998; Pérez *et al.*, 2000a,b]; 2) biológicas: velocidad o ritmo de salidas de hojas, hojas más jóvenes con síntomas y manchas necróticas; severidad en la floración y a las 7-9 semanas de paridas [Stover y Dickson, 1970; Robert *et al.*, 1982]; velocidad de la evolución de la enfermedad [Fouré, 1988c]; 3) sensibilidad de las poblaciones a los principales fungicidas utilizados.

### El manejo químico de sigatoka negra

El uso de fungicidas para la protección contra la enfermedad recibe una atención importante, porque en áreas con una adecuada pluviometría para la producción bananera de clones susceptibles las medidas no químicas no permiten alcanzar un control satisfactorio de la enfermedad. El 41,6% de los más de setecientos setenta artículos publicados hasta 1990 en relación con *Mycosphaerella musicola* y *M. fijiensis* se referían al manejo químico de ambas enfermedades [Barrantes, 1990]. Se han realizado además revisiones sobre este tópico [Meredith, 1970; Stover, 1972; 1990; Romero, 2000].

El manejo químico de la sigatoka negra se ha llevado a cabo con el uso de fungicidas protectores y sistémicos en suspensión acuosa, en emulsiones de aceite y agua, o en mezcla directamente con aceite mineral solo, con activadores de mecanismos de resistencia del hospedante, y últimamente mediante el uso de compuestos relacionados con la nutrición, tanto de origen químico como naturales, con efecto sobre la fisiología de la planta y el desarrollo de la enfermedad.

**Fungicidas protectores.** Al no penetrar al interior de los tejidos de las hojas, su actividad sobre el patógeno es principalmente por inhibición de la germinación y el

crecimiento de los tubos de las esporas que se depositan sobre la superficie tratada antes de la penetración por los estomas, así como la formación de conidios al contaminar los conidióforos durante el tratamiento de las hojas o mediante la redistribución del ingrediente activo que ocurre en el agua del rocío o la lluvia que se deposita en la lámina foliar.

**Fungicidas cúpricos.** Entre 1930 y 1957 *Mycosphaerella musicola* estuvo sometida a control mediante aspersiones a alto volumen de mezcla bordeleza en muchos países [Meredith, 1970]. Estas aspersiones se realizaron con la utilización de aspersores portátiles, máquinas de aspersión y por sistemas de tuberías permanentes alimentadas por estaciones centrales de bombeo. Se asperjaron volúmenes de hasta 2 500 L.ha<sup>-1</sup> a intervalos de 2-5 semanas, de acuerdo con las condiciones locales.

**Alquilenbisdithiocarbamatos.** Se han utilizado ampliamente Maneb y Mancozeb para el control de las manchas de hojas tipo sigatoka [Guyot y Cuillé, 1954a,b; Cuillé y Guyot, 1956; Meredith, 1970; Stover, 1972; Pérez, 1978a]. En general reaccionan de forma inespecífica con grupos tiol (SH) que causan bloqueo de la respiración y de otros procesos metabólicos donde median proteínas con estos grupos [Kaars Sijpesteijn *et al.*, 1977]. En la actualidad existen diferentes formulaciones de mancozeb que permiten realizar tratamientos en emulsiones de aceite y agua, o directamente en aceite, solos o como parte de cocteles con fungicidas sistémicos para reducir la presión de selección de poblaciones tolerantes a los fungicidas de alto riesgo de selección de poblaciones resistentes en los programas de tratamientos contra sigatoka negra. Se ha utilizado en aspersiones foliares a dosis de 1,5-2,0 kg del ingrediente activo.ha<sup>-1</sup>. Inhiben la germinación de las esporas del patógeno que entran en contacto con la superficie de la hoja tratada o que se contaminan durante su desarrollo debido a la redistribución del ingrediente activo por el agua libre disponible en la superficie de las hojas.

**Derivados de phtalimidas (clorotalonil).** El clorotalonil presenta una baja solubilidad en agua. Su mecanismo de acción está relacionado con la reacción del glutatión, coenzima A, 2-mercaptoetanol y otros compuestos que forman derivados del S [Vincent y Sisler, 1968; Kaars Sijpesteijn *et al.*, 1977]. Por esto, el contenido de SH de la célula se reduce significativamente, lo que resulta en inhibición de todas las reacciones dependientes de los grupos tiol. El glutatión es un componente importante

del metabolismo celular y se afecta rápidamente por el clorotalonil, por lo que su acción es inespecífica y multisitio. Existe la formulación Bravo 500 SC que presenta una fuerte resistencia al lavado por la lluvia y el rocío [Washington *et al.*, 1998b], y en aspersiones a intervalos semanales inhibe la germinación de los conidios y su formación sobre las manchas [Washington *et al.*, 1998a,b]. La aparición de poblaciones con sensibilidad reducida a los benzimidazoles y triazoles en los últimos años ha determinado un incremento del uso de clorotalonil a dosis de 1-2 kg.ha<sup>-1</sup>, en aspersiones acuosas sin aceite, porque la mezcla con aceite causa daños a las hojas. Se debe tener cuidado con los tratamientos de clorotalonil a hojas que presentan depósitos anteriores de aceite y viceversa.

**Fungicidas sistémicos.** El uso de ingredientes activos que penetran las barreras estructurales naturales de la planta y se incorporan al apoplasto, donde son traslocados hacia los puntos de mayor transpiración, permitió una mejora importante del control de *M. fijiensis* debido a una distribución y protección de la superficie tratada de la hoja más completa, y en proceso de expansión a la posibilidad de acceso a estructuras fúngicas que se desarrollan en el interior de los tejidos, y a una mayor resistencia a los factores ambientales. La absorción y la traslocación de los ingredientes activos sistémicos, y por tanto sus propiedades fungicidas, dependen en gran medida de su lipofilia y solubilidad en agua. La lipofilia permite la penetración a nivel de las capas cerosas y la cutícula de la hoja; la traslocación sistémica está determinada por la solubilidad en agua. Mientras más alta es la lipofilia más reducida es la traslocación en el interior de la planta [Edginton y Petersen, 1977; Edginton, 1981; Pontsen y Wissfeld, 1996]. Como medida de la lipofilia se utiliza el coeficiente de partición octanol/agua ( $P_{ow}$ ) o el log  $P_{ow}$ , el cual muestra una adecuada correlación con la traslocación de diferentes fungicidas. La eficacia y la estrategia de uso de los fungicidas sistémicos en los programas de control de sigatoka negra se determina no solo por la actividad tóxica intrínseca del ingrediente activo sobre el patógeno, sino también por las propiedades físico-químicas, y por tanto de traslocación de la molécula en las hojas de la planta.

En la *Tabla 1* aparecen los valores de log  $P_{ow}$  de diferentes fungicidas utilizados en bananos. Entre las principales familias químicas de fungicidas utilizados en el control de sigatoka negra en bananos se encuentran los benzimidazoles y tiofanatos, aparecidos a principios de

la década del setenta del pasado siglo; los triazoles e imidazoles, las morfolinas, utilizados en bananos a mediados de la década del ochenta; las estrobilurinas y methoxyacrilatos aparecidas comercialmente en 1998; la spiroketalamina (spiroxamina) y las anilino-pyrimidina (pyrimethanil, informado en 1988) con uso a nivel comercial después del 2000 para el control de sigatoka negra en bananos.

**Derivados de benzimidazol.** Se utilizaron desde inicios de la década del setenta en el control de sigatoka negra. En este grupo se incluyen el benomyl, thiabendazol, carbendazim (metil benzimidazol carbamato o MBC) y metil tiofanato, entre otros. Este último no es un benzimidazol hasta que ocurre su metabolización en la célula del hongo [Delp, 1995]. El benomyl se ha usado ampliamente a la dosis de 140-150 g.ha<sup>-1</sup>, en emulsión de aceite agua o solo en aceite. Presenta una excelente actividad sistémica y terapéutica, y muestra un fuerte efecto sobre la formación de fructificaciones en las manchas. Todos, en dilución acuosa, forman por diferentes vías el compuesto MBC o carbendazim (agente fungitóxico), que bloquea la formación de microtúbulos, al unirse selectivamente con las  $\beta$ -tubulinas fúngicas (no así en mamíferos), e impiden el acoplamiento de los dímeros de  $\alpha$  y  $\beta$ -tubulinas, y por tanto la mitosis celular [Davidse, 1981]. Las ascosporas de poblaciones sensibles de *M. fijiensis* descargadas en agar envenenado con concentraciones letales de benzimidazoles presentan inhibición total de la germinación o tubos germinativos deformados. Los cambios de un solo aminoácido en la  $\beta$ -tubulina determina la pérdida de sensibilidad al ingrediente activo en diferentes especies de hongos (*Tabla 2*). Las mutaciones ocurridas en campo han sido restrictas a los codones 198 y 200, las cuales aparentemente no tienen implicaciones en la habilidad competitiva de las líneas [Davidse e Ishii, 1995].


Para el monitoreo de los cambios de la sensibilidad de las poblaciones usualmente se determina la germinación normal o anormal de las esporas en medio de cultivo, con una concentración umbral de 5-10  $\mu\text{g.mL}^{-1}$  de benomyl. Según recomendaciones del Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) del Banana Working Group, se deben considerar resistentes las poblaciones que tienen >10% de germinación normal a 10  $\mu\text{g.mL}^{-1}$ . Se ha desarrollado una técnica para el diagnóstico de la resistencia al carbendazim mediante la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) [Martin *et al.*, 1992]. Cañas *et al.* (2004) amplificaron un fragmento de 527pb de cepas de *M. fijiensis* resistentes al

benomyl, con los cebadores Resistencia 1 reverse y Diagnóstico forward, que muestran un cambio en el codón 198 de una citosina por una adenina, lo cual se corresponde con un cambio de un ácido glutámico por una alanina a nivel del de la  $\beta$ -tubulina, así como un fragmento de 635 pb de

cepas sensibles con los cebadores Sensible 2 forward y B<sub>2</sub>Ali. Estos dos cebadores permiten diferenciar de forma confiable, mediante una PCR, las cepas del patógeno resistentes y sensibles al benomyl, por medio de la utilización de la enzima Bsh12361 (*FunDII*; MBI Fermentas).

**Tabla 1. Valores de los coeficientes de partición octanol/agua (como  $\log P_{ow}$ ) de diferentes ingredientes activos sistémicos utilizados en el control de *M. fijiensis* en bananos y plátanos (valores de  $\log P_{ow}$  tomados de Tomlin (2003))**

***Fungicidas estudiados para control de *Mycosphaerella* spp. en banano***

	$\log P_{ow}$	
Benomyl	1,4	Alta
Carbendazim	1,5	
Tiofanato metilo	1,5	
Azoxystrobin	2,5	
Spiroketalamina	2,8	
Pirimethanil	2,8	
Cyproconazol	2,9	
Tetraconazol	3,1	
Triadimefon	3,1	
Fenbuconazol	3,2	
Triadimenol	3,3	
Epoxyconazol	3,4	
Tebuconazol	3,7	
Propiconazol	3,7	
Flusilazol	3,7	
Imazalil	3,8	
Hexaconazol	3,9	
Pyraclostrobin	3,9	
Bitertanol	4,1	
Tridemorph	4,2	
Difenoconazol	4,3	
Trifloxystrobin	4,5	Baja

La pérdida de sensibilidad es un proceso gobernado por un solo par de genes, y los riesgos de selección de poblaciones tolerantes competitivas con las poblaciones salvajes son elevados [Wolfe, 1981, Georgopoulos, 1985]. La selección de poblaciones de *M. musicola* y *M. fijiensis* con resistencia a benzimidazoles (selección disruptiva) ha sido ampliamente informada en casi todas las áreas productoras de bananos y plátanos [Stover, 1977; Pérez *et al.*, 1985; Jiménez y Rodríguez, 1985; Romero y Sutton, 1998; Marín *et al.*, 2003]. Las poblaciones de *M. musicola* y *M. fijiensis* resistentes al benomyl son frecuentemente insensibles a altas dosis del ingrediente activo y competitivas con las poblaciones salvajes. Puede presentarse una alta frecuencia de individuos resistentes en la población aun después de no utilizar el ingrediente activo por muchos años [Pérez, inédito; Marín *et al.*, 2003].

En la actualidad el FRAC recomienda para las áreas en que aún puede utilizarse no realizar más de tres tratamientos por año [Kuck *et al.*, 2004].

**Inhibidores de la síntesis de ergosterol (EBI).** Los EBI son de dos tipos: 1) inhibidores de C<sub>14</sub>  $\alpha$ -demetilasa o DMI [Sisler *et al.*, 1984; Köller y Scheinflug, 1987; Sisler, 1996]. En bananos y plátanos se utilizan esencialmente triazoles e imidazoles; 2) aminas cíclicas (inhibidores de D8-D7 isomerasa, C<sub>14</sub> reductasa y escualeno epoxidasa). En bananos y plátanos se utilizan morfolinas y spiroketalaminas.

**Inhibidores de demetilasa (DMI).** Los DMI utilizados para el control de *Mycosphaerella* spp. en *Musa* spp. son esencialmente triazoles. El primero y más ampliamente utilizado de los triazoles es el propiconazol, que se introdujo en Cuba para el control de sigatoka en

1982 [Pérez *et al.*, 1983] debido a los frecuentes problemas de resistencia al benomyl y comercializado para su uso en bananos en América Central a partir de 1987 [Carlier *et al.*, 2000]. Al inicio de su uso (a 100 g.ha<sup>-1</sup> tanto en aceite como en emulsiones de aceite y agua) mostró una alta eficacia y una reducción apreciable del número de tratamientos requeridos para obtener elevados niveles de control de la enfermedad, una significativa reducción del tamaño de las manchas en las hojas tratadas y de la frecuencia e intensidad de la formación de fructificaciones [Pérez *et al.*, 1983; Pérez y Mauri, 1994]. Otros triazoles utilizados son el flusilazol, fenbuconazol, tebuconazol, hexaconazol (utilizados a 100 g.ha<sup>-1</sup>, bitertanol a 150 g.ha<sup>-1</sup>), epoxiconazol, difenoconazol y cyproconazol (80 g.ha<sup>-1</sup>), que muestran diferencias de eficacia entre sí y del nivel de la traslocación sistémica en las hojas, demostrada por los diferentes patrones de daños de la enfermedad [Fouré, 1983; 1988a, 1988c, 1988d, 1990; Pérez *et al.*, 1993a; Pérez, 1998]. Los de mayor actividad sistémica se mueven rápidamente hacia el borde de las hojas, así permiten dosis subletales alrededor del nervio central de la hoja y la aparición de un patrón típico de lesiones a ambos lados. El fenbuconazol y el hexaconazol presentan una menor traslocación en las hojas que el propiconazol y el cypendazol, mientras el bitertanol y el difenoconazol son esencialmente translaminares y no se observan estos patrones de daños alrededor de la nervadura central.

Todos inhiben la síntesis *de novo* de ergosterol en la células fungosas al bloquear la citocromo P<sub>450</sub> esterol C<sub>14</sub> demetilasa [Sisler *et al.*, 1984; Köller y Scheinflug, 1987; Sisler, 1996]. Las esporas depositadas en un medio envenenado con propiconazol u otro IBE germinan y se desarrollan a partir del ergosterol constitutivo hasta su agotamiento. En una población de *M. fijiensis* se pueden encontrar diferentes niveles de inhibición del crecimiento de los tubos germinativos de ascósporas y conidios a una concentración dada del fungicida; por lo tanto, la determinación de la pérdida de sensibilidad es más complicada en los IBE que en el caso de los benzimidazoles. En la Fig. 1A se observa la distribución de frecuencias del crecimiento de los tubos germinativos de ascósporas de *M. fijiensis* en PDA envenenado con 0,01 µg.mL<sup>-1</sup> de propiconazol. En ella se aprecian las diferencias de sensibilidad de las esporas en una población del patógeno. En la Fig. 1B se muestran las distribuciones de frecuencias de la inhibición del crecimiento de los tubos germinativos de dos fincas, una no tratada y otra tratada con triazoles en un medio envenenado con 0,01 µg.mL<sup>-1</sup> de tebuconazol,

donde se pueden ver las diferencias de la sensibilidad de las poblaciones de *M. fijiensis* de ambas [Pérez y Battle, 1993b; Pérez *et al.*, 2000c, 2003]. En la finca tratada las mayores frecuencias de esporas se encuentran entre los valores más bajos de inhibición.

Se han sugerido diferentes mecanismos de resistencia para los DMI [Buchenauer, 1995; Sisler, 1996]: pérdida de afinidad en el citocromo P450<sub>14DM</sub>, defectos en el citocromo P450<sub>14DM</sub>, detoxificación, sobreproducción del citocromo P450, falta de activación, la expulsión activa del ingrediente activo de la célula, protonación, circunvención al sitio de acción, tolerancia a esteroides tóxicos, entre otros. La evidencia fragmentaria de muchos estudios ha permitido establecer, por tanto, que operan diferentes mecanismos de resistencia, y que en general el proceso de pérdida de sensibilidad a los DMI es poligénico [Van Tuyl, 1977; Kalamarakis *et al.*, 1991], por lo que ocurre gradualmente y bajo un proceso de selección direccional [Wolfe, 1981; Georgopoulos, 1985]. Los cambios resultantes de la resistencia poligénica son menos factibles de conducir a pérdidas totales de control, y el gran número de mutaciones requeridas para una alta resistencia conducen a una alta probabilidad de que los individuos resultantes presenten una capacidad competitiva reducida [Buchenauer, 1995; Sisler, 1996].

La aparición de poblaciones tolerantes de *M. fijiensis* a benzimidazoles estableció una mayor dependencia en el uso de triazoles, y por tanto en el número de ciclos por año en la mayoría de las áreas de cultivo. Esto determinó cambios graduales en la composición de las poblaciones y la aparición de fenotipos del patógeno con diferentes niveles de sensibilidad. Los primeros síntomas en Cuba de la pérdida de sensibilidad al propiconazol fue la pérdida del efecto depresivo inmediato de los tratamientos sobre la velocidad de evolución de la enfermedad y de la reducción del tamaño de las lesiones junto a su inhibición de la formación de fructificaciones del patógeno. En los tratamientos con aviso bioclimático, la duración del período entre dos ciclos se acortó de 21-24 días hasta 14-12 días [Pérez *et al.*, 2000c]. El monitoreo de la sensibilidad se desarrolla por la determinación de los cambios en el tiempo de las frecuencias de ascósporas, obtenidas de muestras de hojas de fincas tratadas y no tratadas, con diferentes niveles de inhibición del crecimiento de los tubos germinativos, en PDA envenenado con concentraciones de 0; 0,001; 0,01; 0,1 y 1 µg.mL<sup>-1</sup> y de las DE<sub>50</sub> de las poblaciones [FRAC, 1996]. Todos los DMI presentan resistencia cruzada entre ellos [Chin *et al.*, 1996], aunque los factores de resistencia entre estos sean muy

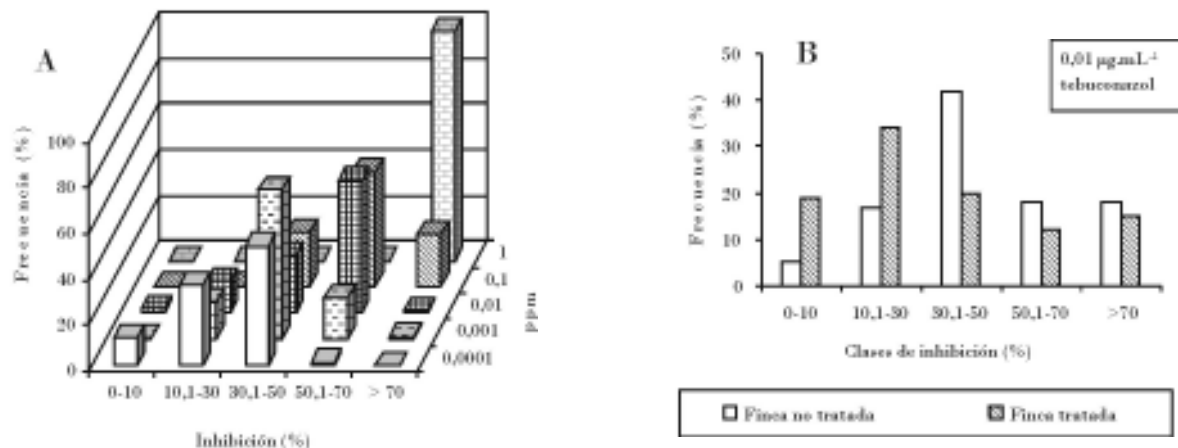
variables [Köller y Wubben, 1989]. La presencia de pérdida de sensibilidad a los triazoles se ha evidenciado a nivel mundial [Marín *et al.*, 2003]. Una variación significativa ocurrió en Costa Rica, Panamá y el norte de Guatemala [Kuck *et al.*, 2004], principalmente en fincas situadas en zonas de muy alta pluviometría, donde se requieren más ciclos [Guzmán *et al.*, 2004]. En el resto de áreas de Centroamérica, México, Colombia,

Ecuador, Camerún y Filipinas han ocurrido pérdida de sensibilidad más leves. La integración del uso de los triazoles en mezclas con tridemorph y mancozeb, y el uso de altas dosis de aceite junto a la adopción de medidas estrictas de saneamiento y drenaje de los campos, ha permitido que los triazoles se mantengan como la principal herramienta de control [Marín *et al.*, 2003; Guzmán *et al.*, 2004].

**Tabla 2. Sustituciones de aminoácidos en  $\beta$ -tubulinas de mutantes de laboratorio y aislados de campo con resistencia a benzimidazoles según revisión de Davidse y Ichii (30) modificada**

Codón	Sustitución	Organismo
6	His por Leu	<i>A. nidulans</i> (a) <sup>1</sup>
	His por Tir	<i>A. nidulans</i> (a) y <i>S. nodorum</i> (b)
50	Tir por Asn	<i>A. nidulans</i> (c)
	Tir por Ser	<i>A. nidulans</i> (c)
134	Gln por Lis	<i>A. nidulans</i> (c)
165	Ala por Val	<i>A. nidulans</i> (d)
167	Fen por Tir	<i>N. crassa</i> (e)
198	Glu por Ala	<i>B. cinerea</i> (f, g), <i>N. crassa</i> (b); <i>P. aurantiogriseum</i> (i); <i>P. expansum</i> (c); <i>P. puberulum</i> (i); <i>V. inaequalis</i> (c)
	Glu por Asp	<i>A. nidulans</i> (a)
	Glu por Gln	<i>A. nidulans</i> (a)
	Glu por Gly	<i>N. crassa</i> (b); <i>R. secalis</i> (i); <i>V. inaequalis</i> (i)
	Glu por Lis	<i>A. nidulans</i> (a); <i>B. cinerea</i> (g); <i>M. fructicola</i> (i); <i>P. digitatum</i> (c); <i>P. italicum</i> (c); <i>R. secalis</i> (i)
	Glu por Val	<i>P. expansum</i> (c)
	Cit por Ade	<i>M. fijiensis</i> <sup>2</sup>
200	Ala por Tir	<i>B. cinerea</i> (g); <i>P. aurantiogriseum</i> (i); <i>P. italicum</i> (i)
241	Arg por His	<i>S. saccharomyces</i> (j)
257	Met por Leu	<i>A. nidulans</i> (c)

Datos citados por Davidse y Ichii, (1995) tomados de: <sup>1</sup>a) Jung *et al.*, 1992; b) Cooley y Caten, 1993; c) Koenraadt *et al.*, 1992; d) Jung and Oakley, 1990; e) Orbach *et al.*, 1986; f) Martin *et al.*, 1992; g) Yarden y Katan, 1993; h) Fujimura *et al.*, 1992; i) Wheeler *et al.*, 1994; j) Thomas *et al.*, 1985; <sup>2</sup>: Cañas *et al.*, 2004.



**Figura 1.** Frecuencias de inhibición del crecimiento de los tubos germinativos de ascósporas de *M. fijiensis*. A) De una finca tratada –con poblaciones de *M. fijiensis* sensibles– en medios envenenados con diferentes concentraciones de propiconazol; B) de dos fincas, una no tratada nunca y otra tratada en un medio envenenado con 1 µg/mL<sup>-1</sup> de tebuconazol.

**Aminas cíclicas.** En bananos y plátanos se utilizan morfolinas y spiroketalaminas.

**Morfolinas.** En control de sigatoka negra se ha utilizado esencialmente el tridemorph (450 g.ha<sup>-1</sup>) en emulsiones de aceite y agua y en aceite solo. La duración de su eficacia para el control de la enfermedad es más corta que la de los benzimidazoles y triazoles contra poblaciones sensibles a estos ingredientes activos, en tratamientos mediante aviso bioclimático; muestra excelente eficacia en tratamientos mezclados con triazoles al 75% de las dosis de ambos ingredientes activos [Pérez, 1993a]. El tridemorph inhibe la  $\Delta 8$ - $\Delta 7$  isomerasa y la C<sub>14</sub> reductasa [Leroux y Gredt, 1983; Kerkenaar, 1995] en la ruta metabólica de la síntesis de ergosterol—presenta un riesgo reducido de selección de poblaciones resistentes—, por lo que afecta seriamente la funcionabilidad de las membranas celulares fúngicas. Su traslocación es limitada en musáceas y es esencialmente translaminar [Cronshaw y Akers, 1990]. Con más de veinticinco años de uso en cereales no hay casos establecidos de selección de poblaciones resistentes [Hollomon, 1994]. Tampoco hay casos documentados de poblaciones resistentes a este ingrediente activo en bananeras de exportación. Es un importante componente en las estrategias antirresistencia a benzimidazoles, DMI y QoI. Las recomendaciones de FRAC [Kuck *et al.*, 2004] establecen no realizar más de doce tratamientos por año de morfolinas, ya sean solas o en mezclas. En Cuba se han estudiado además el fenpropimorph y el aldimorph, los que mostraron una eficacia comparable al tridemorph.

**Spiroketalaminas.** La spiroxamina, descubierta en 1987 e informada por primera vez en 1996 [Dutzmann *et al.*, 1996], después del 2000 se comercializa para el control de sigatoka negra en bananos en Centroamérica. La absorción por las hojas es rápida y su traslocación acropetal sistémica, y por tanto presenta una buena distribución en las hojas [Tomlin, 2002]. Su eficacia a la dosis de 240 g.ha<sup>-1</sup> es similar a la del tridemorph [Arias *et al.*, 2002]. La spiroxamina inhibe de forma principal la C<sub>14</sub> reductasa además de la  $\Delta 8$ - $\Delta 7$  isomerasa y la escualeno epoxidasa [Tiemann *et al.*, 1997], por lo que el riesgo de selección de poblaciones resistentes es muy reducido. El FRAC tiene establecida una recomendación de uso para el control de sigatoka negra similar a la del tridemorph [Kuck *et al.*, 2004].

**Inhibidores del transporte de electrones en el sitio QoI.** Los compuestos más utilizados en bananos en

emulsiones de aceite y agua son el azoxystrobin [Godwin *et al.*, 1992] usado a la dosis de 100 g.ha<sup>-1</sup> e introducido comercialmente en 1996, y el trifloxystrobin [Margot *et al.*, 1998], usado a dosis de 75 g.ha<sup>-1</sup> [Pérez *et al.*, 2000c y 2002a), los que muestran una excelente eficacia en el control de sigatoka negra. Se introdujo para el control de sigatoka en Centroamérica en el 2002 el pyraclostrobin [Ammermann *et al.*, 2000], que ha mostrado una eficacia similar a la del azoxystrobin a la dosis de 100 g.ha<sup>-1</sup> [Fariás-Larios y Orozco-Santos, 2002], y el picoxystrobin a la de 250 g.ha<sup>-1</sup> [Godwin *et al.*, 2000]. Los derivados de estrobilurinas mantienen su mejor eficacia en tratamientos tempranos previos a la infección. Inhiben la germinación de las esporas y el crecimiento de las hifas, y presentan por demás una buena eficacia sobre la formación de fructificaciones en las manchas tratadas. Al introducir el azoxystrobin se recomendaron entre seis y ocho tratamientos por año. Poco tiempo después de su entrada al mercado se informaron los primeros casos de resistencia de *M. fijiensis* en bananos [Wirtz y Chin, 2000; Chin *et al.*, 2001]. En la actualidad se han documentado casos de resistencia del patógeno a este grupo de fungicidas en varios países exportadores [Guzmán *et al.*, 2004].

El modo de acción se basa en el bloqueo de la transferencia de electrones a nivel del sitio o centro externo del citocromo bc<sub>1</sub> de la membrana externa de las mitocondrias, se inhibe la respiración y por tanto la síntesis de ATP [Sauter *et al.*, 1999]. Aunque se han reconocido once posibles puntos de mutaciones en dos regiones del citocromo b [Geier *et al.*, 1992, 1993], en la mayoría de los casos de pérdida de sensibilidad de fitopatógenos fungosos a los QoI, esta se ha determinado por una mutación puntual en el gen *cyt b* del gen mitocondrial que da lugar a un cambio de una glicina a una alanina en posición 143 (G143A) en el citocromo bc<sub>1</sub> en la mitocondria [Sierotsky *et al.* 2000a,b; Heaney *et al.*, 2000], la que se ha encontrado en poblaciones de *M. fijiensis* resistentes a azoxystrobin y trifloxystrobin, y se asocia a factores de resistencia típicamente altos (FR >100) en las poblaciones [Gisi *et al.*, 2000; Chin *et al.*, 2001]. Se ha planteado que esta mutación no afecta la eficiencia de la enzima, por lo cual no establece una penalidad sobre la compatibilidad de los mutantes, como se ha comprobado en *Blumeria graminis* s.sp. *tritici* [Gisi *et al.*, 2002], aunque esto requiere comprobación en otros patógenos.

Otro punto de mutación en el citocromo b es la sustitución de una fenilalanina con leucina en la posición

129 (F129L), que en contraste confiere una resistencia más moderada con un FR entre 10-50 [Kuck y Mehl, 2003]. Aunque esta mutación no se ha confirmado en *M. fijiensis*, la falta de correspondencia entre los resultados de ensayos de sensibilidad de laboratorio y de la frecuencia de la mutación G143A en las poblaciones pudiera estar condicionada por la presencia de esta mutación.

La enzima oxidasa alternativa (AOX) permite la circunvención de los complejos III y IV y la aceptación de electrones directamente de la ubiquinona, mientras que la dehidrogenasa alternativa permite oxidar tanto el NADH mitocondrial como citoplasmático sin involucración del complejo I de la cadena del transporte de electrones en las mitocondrias [Word y Hollomon, 2003]. De esta forma, existen tres posibles sistemas de transporte de electrones del NADH exógeno al oxígeno en las mitocondrias: 1) la ruta de los citocromos, la cual es sensible a los QoI (methoxyacrilatos y otros) y a los QiI (Antimycin A); 2) el sistema de la NADH-citocromo C reductasa con circunvención de la inhibición de los methoxyacrilatos en el complejo bc<sub>1</sub>; 3) la oxidasa alternativa, que es funcional solo en mitocondrias aisladas de mutantes resistentes a azoxystrobin y que es inhibida por el ácido salicilhidroxámico [Ziogas *et al.*, 1997]. Por este motivo es importante incluir en el medio para el monitoreo de la sensibilidad a QoI 100 µg.mL<sup>-1</sup> de SHAM para inhibir la oxidasa alternativa, la cual distorsiona los resultados de los tests de monitoreo de sensibilidad. Por cuanto la resistencia está controlada por genes mitocondriales, su herencia se asume que es no mendeliana [Gisi *et al.*, 2002].

*Anilinoimidazoles (pyrimethanil)*. El pyrimethanil [Neumann *et al.*, 1992] es un fungicida de más reciente introducción en los programas de control de sigatoka negra. Este ingrediente activo inhibe la extensión de los tubos germinativos y la biosíntesis de metionina al inhibir la cistationa-liasas, y por tanto la síntesis de proteínas [Pontzen, 1997], y da lugar a la inhibición de la secreción de cutinasas, pectinasas y celulasas, enzimas necesarias para la degradación de la pared celular del hospedante y para la infección [Milling *et al.*, 1993, Milling y Daniels, 1996]. Presenta actividad sistémica con una buena absorción dentro de la hoja y retención en la cera, lo que previene su arrastre por la lluvia. Su distribución es eminentemente translaminar. Se utiliza a razón de 250-300 g/ha<sup>-1</sup> en tratamientos en aceite mineral, y su actividad es comparable a la del tridemorph [González *et al.*, 2000; Orozco-Santos *et al.*, 2004].

Un estudio realizado con 469 aislamientos de *Venturia inaequalis* mostró que la sensibilidad de las poblaciones al pyrimethanil y al myclobutanil (DMI perteneciente al grupo de las pirimidinas) estuvieron significativamente correlacionadas, y se sugirió que uno de los múltiples genes que condicionan la resistencia a los DMI pudieran también condicionar la resistencia a las anilinoimidazoles [Köller *et al.*, 2004]. Se recomienda realizar el monitoreo de la sensibilidad de las poblaciones mediante la medición del crecimiento de los tubos germinativos de las ascósporas en 0; 1; 10,0; 30,0; 100,0 µg.mL<sup>-1</sup> [Duvert *et al.*, 2002].

*Inductores de reacciones de resistencia sistémica adquirida*. Las plantas pueden inducirse localmente o sistémicamente a hacerse más resistentes a las enfermedades mediante varios estreses bióticos o abióticos (resistencia sistémica adquirida (SAR)). A través de una red de señales, inducen un espectro de proteínas vinculadas a la resistencia (β-1,3 glucanasas y quitinasas, proteínas ricas en cisteína relacionadas a la taumatina) características de diferentes especies de plantas y sistemas de activación y por su dependencia del ácido salicílico [AS; Gaffney *et al.*, 1993; Delaney *et al.*, 1994; Kessman *et al.*, 1994a,b; Kessman *et al.*, 1996; Friedrich *et al.*, 1996; Oostendorp *et al.*, 2001]. El nivel del AS endógeno se ha correlacionado estrechamente con la inducción de proteínas PR y a una catalasa que se une al AS, la cual potencia la generación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [Chen y Klessig, 1991; Chen *et al.*, 1993; 1994; Lawton *et al.*, 1996]. Se ha informado de la presencia de otra proteína de enlace con el AS con una afinidad ciento cincuenta veces mayor que entre el SA y la catalasa, y de mayor nivel de producción de radicales superóxido [Du y Klessig, 1997]. Diferentes ingredientes activos mostraron inducir SAR, pero el más estudiado y conocido es el acybenzolar-S-methyl (ASM) [Görlach *et al.*, 1996], el cual se trasloca sistémicamente en las plantas y que puede tomar el lugar del ácido salicílico en la ruta metabólica natural del SAR, e inducir el mismo espectro de resistencia y los mismos marcadores moleculares. Su actividad en la inducción de SAR se ha relacionado a la capacidad de unirse a la proteína para generar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Está demostrada la eficacia del ASM en el control de sigatoka negra y nemátodos en bananos [Madrigal y Ruess, 1998; Madrigal y Corrales, 2000] a dosis de 40 g.ha<sup>-1</sup> en mezclas con otros fungicidas en tratamientos a intervalos entre 35 y 40 días utilizando dosis mínimas de aceite mineral. El ASM supera la eficacia de los fungicidas mejorando su nivel de control y/



o extendiendo el intervalo entre tratamientos. En ensayos realizados en Costa Rica, Corrales *et al.* (2002) informaron una reducción de 46% de consumo de aceite mineral, de seis ciclos menos de fungicidas y de dos aplicaciones de nematicidas en un período de un año en las áreas tratadas con cuatro ciclos de ASM + fungicidas que en las tratadas con fungicidas en la forma convencional. Las manchas en las hojas tratadas con ASM adquieren un aspecto distintivo, pierden sus márgenes bien delimitados y reducen marcadamente la velocidad de evolución, su tamaño y la formación de fructificaciones [Pérez, 2000b].

*Aceites y su uso en el control de Mycospherella spp. en bananos y plátanos.* Los aceites como fungicidas pueden ser clasificados de acuerdo con su origen: del petróleo se derivan los aceites minerales constituidos por mezclas complejas o hidrocarburos; de las plantas y animales se derivan ácidos grasos constituidos por triglicéridos de ácidos grasos; de las plantas también se derivan los aceites esenciales volátiles y odoríferos constituidos por mezclas de terpenoides, aldehídos o ésteres. Los aceites minerales han sido ampliamente empleados para el manejo de manchas de las hojas por *Mycosphaerella* spp. en bananos, y se encuentran en estudio los aceites de ácidos grasos derivados de plantas, particularmente de palma aceitera (*Elaeis guineensis* J.).

Los aceites tienen un triple papel en los tratamientos en bananos para el control de manchas por *Mycosphaerella* spp.: 1) permiten reducir los volúmenes de aplicación al poderse producir una nube de aspersión compuesta de pequeñas gotas sin que se volatilicen, y que garantiza una adecuada distribución o repartición del fungicida sobre la hoja; 2) limitan el lavado de los fungicidas por la lluvia que permite una mejor penetración de los fungicidas sistémicos en las hojas; 3) inhiben los procesos de desarrollo del patógeno y de la evolución de la enfermedad, en tratamientos en las primeras fases del desarrollo de las lesiones.

*Aceites minerales.* Investigadores franceses introdujeron la utilización de aceites minerales (AM) para el control de sigatoka a principios de la década del cincuenta [Guyot, 1953; Guyot y Cuillé, 1954a,b, 1955 y 1956], así como la tecnología de su uso a bajo volumen en tratamientos aéreos [Cuillé y Guyot, 1954, 1956 y 1957]. Estos estudios brindaron las bases para los métodos de control actuales en la mayoría de las plantaciones bananeras del mundo.

Los AM pueden ser definidos en función de su composición química y su peso molecular, el contenido de residuos no sulfonados, la viscosidad y el rango de destilación.

*Composición química y peso molecular (número de átomos de carbono).* Los AM pueden ser de estructura parafínica, nafténica, olefinica y aromática [Calpouzoz *et al.*, 1961; Calpouzoz y Colberg, 1964]. Los olefinicos y aromáticos contienen grupos no saturados con dobles enlaces entre dos carbonos, mientras que los parafínicos y nafténicos tienen todos sus carbonos saturados y no presentan doble enlaces. Los aceites parafínicos tienen la mayor actividad como pesticidas, y es deseable que su contenido sea alto (> 60%) en los aceites de uso agrícola con este fin. La presencia de enlaces no saturados dobles en los aromáticos los hace más químicamente reactivos y presentan una mayor fitotoxicidad y riesgo a la salud humana [Jacques y Kuhlmann, 1999].

La eficacia está relacionada con el tamaño de la molécula de parafina, y es óptima cuando se acerca a 23 átomos de C. El riesgo de fitotoxicidad aguda se incrementa cuando el número de C es menor de 18 [Madsen y William, 1967]. La fitotoxicidad crónica se incrementa con el aumento del peso molecular, especialmente por encima de 25 átomos de C.

*Residuos no sulfonados (RNS).* El residuo no sulfonado es el volumen porcentual del aceite que no reacciona con ácido sulfúrico 37 N. Los grupos no saturados o los dobles enlaces de C en las moléculas aromáticas reaccionarán o se volverán sulfonados en presencia de ácido sulfúrico 37 N. Los aromáticos se consumen según avanza la sulfonación. El nivel de compuestos no saturados en un aceite tiene un significativo efecto en su potencial de daño agudo a las hojas. La fitotoxicidad de un aceite aumenta en la misma medida en que disminuyen los residuos no sulfonados por debajo del 90%. Debido a la precisión y reproducibilidad de los sistemas de análisis (ASTM D 483) se ha fijado un nivel mínimo del 92% para los aceites de uso en protección de plantas [Calpouzoz y Colberg, 1964; Calpouzoz *et al.*, 1961; Walker, 1972].

*Volatilidad.* La volatilidad está considerada también como una característica importante que ha de tenerse en cuenta en relación con la calidad de los aceites minerales para el control de sigatoka [Calpouzoz *et al.*, 1959; Delfel *et al.*, 1962; Calpouzoz, 1968; Walker, 1972]. La volatilidad del aceite determina la cantidad que queda

en la hoja posterior al tratamiento, y por tanto tiene influencia sobre el control y la fitotoxicidad [Riedhart, 1961]. A medida que su volatilidad es menor mejora el control y son mayores los riesgos de fitotoxicidad. Lo más deseable es disponer de un aceite con un balance óptimo de sus parámetros principales. En la *Tabla 3* se reproducen las características de varios aceites minerales [Jacques y Kauffman, 1999].

El efecto biológico de los AM y su papel en el control se ha estudiado ampliamente [Brun, 1958; Calpouzoz *et al.*, 1959; Klein, 1961; Calpouzoz, 1968; Stover y Dickson, 1968; Pérez 1978a,b; Pérez *et al.*, 1981]. Los AM se utilizan a dosis entre 5 y 15 L.ha<sup>-1</sup>. Su dosis de empleo depende de la severidad de la infección, de la epidemiología de la enfermedad y de la sensibilidad de las poblaciones de *Mycosphaerella* spp. a los fungicidas en uso, así como de las condiciones ambientales predominantes cuando se realizan los tratamientos. A dosis de 5 L/ha<sup>-1</sup> e inferiores actúa fundamentalmente como

vehículo para permitir obtener gotas finas, bajos volúmenes de aplicación y mejorar la penetración de algunos ingredientes sistémicos. En el caso de los tratamientos a dosis mayores de 10 L.ha<sup>-1</sup> inhiben además la germinación, el crecimiento de los tubos germinativos y formación de apresorios, la penetración y, sobre todo, la evolución de los estados de síntomas primarios de rayas a manchas. Brun (1958) informó de la inhibición de la germinación de conidios de *M. musicola* y de la evolución de los síntomas en función de su estado al realizar el tratamiento de AM, propiedad en la que se basó Klein (1960) para desarrollar un sistema de tratamientos contra sigatoka basado en conteos de rayas en hojas. En Cuba Pérez *et al.* (1981) encontraron en tres ensayos repetidos en diferentes momentos del año una inhibición altamente significativa de la germinación de los conidios y la penetración de los tubos germinativos por los estomas en hojas tratadas con aceite con 10 y 15 L.ha<sup>-1</sup>, así como una inhibición marcada de la evolución de los síntomas de rayas 1 y 2 a manchas.

**Tabla 3. Características físico-químicas de diferentes aceites minerales**

Parámetro	Orchex 796	Prorex 38	Banole HV	Spraytex M
RNS (%)	95,4	90	97	93,8
Parafinas (%)	67,5	65,3	75,5	60,6
Nafténicos (%)	29,8	29,6	21,1	36,4
Destilación (°C)				
50% (punto medio)	227,3	216,3	216,3	225,7
90-10% (rango)	36,7	79,1	47,8	43,8
Número de carbono				
% < C <sub>18</sub> (riesgo fitox. aguda)	2	5	10	3
% < C <sub>20</sub> (menor eficacia)	9	22	22	14
% < C <sub>20</sub> -C <sub>26</sub> (zona óptima)	77	54	70	64
% < C <sub>26</sub> (riesgo de fitox. crónica)	14	24	8	22
% < C <sub>28</sub> (mayor riesgo de fitox. crónica)	3	15	3	10

Pérez *et al.* (1993c) informaron de la eficacia de los tratamientos con fungicidas sistémicos en mezcla con aceite mineral de 10-12 L.ha<sup>-1</sup> en el control de sigatoka negra al utilizar tratamientos por pronóstico bioclimático (preaviso). La eficacia de los tratamientos sobre la evolución de los síntomas de la enfermedad mejoró significativamente al usar más aceite a razón de 10 L.ha<sup>-1</sup>. Guzmán y Romero (1996) encontraron una relación lineal entre la dosis de AM utilizado y la severidad del ataque de sigatoka negra en campo. Según aumentó la dosis de 5 a 10 y 15 L.ha<sup>-1</sup>, disminuyó el área foliar afectada significativamente; observaron períodos de incubación más largos y menor severidad de los ata-

ques en plantas tratadas con 10 L de aceite que las no tratadas, y que las tratadas con clorotalonil a 1,44 kg.ha<sup>-1</sup>.

La fitotoxicidad producida por los tratamientos con AM puede ser aguda o crónica. La aguda se manifiesta primeramente como pequeñas pecas de color claro que inmediatamente se tornan de violáceas a oscuras, producen quemaduras necróticas y se deben principalmente a la calidad del aceite, a la acumulación de depósitos excesivos. La crónica se manifiesta por la aparición de pequeñas lesiones, primeramente acuosas, que más tarde tornan la hoja de color bronceado, y se debe a la acumulación en tratamientos sucesivos que reduce el rendimiento debido a la interferencia con el intercambio

de gases y la fotosíntesis [Riedhart, 1961; Israeli *et al.*, 1993]. La aparición de este tipo de fitotoxicidad depende en buena medida de la calidad del aceite y del número de tratamientos que se realicen y la predisposición de la planta por presencia de estrés hídrico y de temperatura. Con los aceites utilizados en Cuba los síntomas fitotóxicos característicos se hacen evidentes en plantas que han recibido alrededor de 70 L de aceite aplicados en la estación.

Las plantas son además más susceptibles a mostrar síntomas cuando hay estrés hídrico y de temperatura, como el que ocurre a la salida de la estación más lluviosa y húmeda, y el inicio de la seca y más fría. En Costa Rica, Romero y Marín en 1993 [citados por Guzmán y Romero, 1996] encontraron un aumento de la fitotoxicidad cuando la dosis de aceite alcanzó los 330 L.ha<sup>-1</sup>, que se reflejó en una disminución del 5% del peso del racimo.

*Aceites de palma aceitera.* El aceite de palma se obtiene del mesocarpo del fruto de la palma de aceite *Eleasis guineensis* [Rutengwe, 2004; Choo, 2004]. El área mundial cosechada de aceite de palma en el 2004 fue de 12 115 000 ha, y la producción mundial fue de alrededor de 162 000 000 t, de los cuales Malasia (43,6%) e Indonesia (37,2%) fueron los mayores productores. Centroamérica y Colombia producen cada uno 3 100 000 t [FAOSTAT data, 2005].

El aceite de palma muestra utilidad en el manejo de plagas insectiles, como emulsificantes y coadyuvantes. En tratamientos a dosis entre 9 y 12 L.ha<sup>-1</sup> fue efectivo para el manejo de sigatoka negra tanto en mezcla con fungicidas en sustitución del aceite mineral como solo. No se conocen antecedentes de fitotoxicidad hasta la dosis de 12 L.ha<sup>-1</sup>. Se informa la inhibición de la germinación y de la esporulación en las manchas. Estas características lo hacen una alternativa natural adaptable en el manejo de sigatoka negra en la producción orgánica y como remplazo del aceite agrícola.

*Vías alternativas al uso de fungicidas químicos.* A pesar de que el control químico sigue siendo la vía más comúnmente utilizada para el control de sigatoka negra, los costos crecientes de las nuevas tecnologías para la protección, la cada vez más frecuente aparición de poblaciones del patógeno con sensibilidad reducida a los ingredientes activos en uso, y la casi universal preocupación por el contenido de residuos químicos en la fruta, ha establecido una creciente presión por encontrar vías alternativas al control químico. Estas son en ge-

neral solo factibles de uso en esquemas de manejo integrado de la enfermedad para reducir la presión del mal, ya sea junto al uso de los diferentes grupos de ingredientes activos en la producción convencional de bananos o solas en esquemas de producción orgánica.

*Uso de clones resistentes a la enfermedad.* El uso de clones resistentes es el método más económico y ambientalmente seguro de manejo de sigatoka negra, y prácticamente el único método de control disponible para pequeños agricultores en áreas de media y alta pluviometría [Hernández y Pérez, 2001]. Se han descrito los tipos de interacciones existentes entre *Mycosphaerella fijiensis* y *Musa* spp. [Fouré *et al.*, 1984; Fouré *et al.*, 1990; y Fouré, 1994]. Una de las interacciones más frecuentemente explotada en los programas de mejora para resistencia a sigatoka negra es la resistencia parcial utilizada ampliamente en el programa de obtención de híbridos de la FHIA [Rowe y Richardson, 1975; Rowe y Rosales, 1994]. La resistencia parcial se manifiesta por el alargamiento de la incubación, de la transición de las lesiones de los estados iniciales de rayas a manchas y de la formación de cuerpos de reproducción sexual y asexual del patógeno que permite llegar con más hojas funcionales a la cosecha [Pérez, 1998; Hernández y Pérez, 2001]. Se han desarrollado y distribuido por la FHIA y el IITA clones con resistencia parcial aptos para los mercados locales, lo que en algunos casos ha obligado al cambio de las preferencias gustativas. En Cuba se encuentran en producción más de 12 000 ha de clones tetraploides sintéticos de la FHIA (FHIA 23, FHIA, 18 y FHIA 21) con resistencia parcial, lo que ha permitido una importante disminución de los costos de producción [Pérez *et al.*, 2002b].

*Clones resistentes vía transgénesis.* Los bananos del grupo Cavendish, hoy comercializados a gran escala, presentan alta susceptibilidad a sigatoka negra y esterilidad femenina, por lo que son difícilmente mejorables mediante el mejoramiento convencional. Se han puesto a punto metodologías eficientes para la transformación genética de bananos para resistencia a sigatoka negra mediante uso de bombardeo de partículas y de plásmidos en *Agrobacterium tumefaciens* [Sági *et al.*, 1995a,b; Arinaitwe *et al.*, 2004; Gómez-Koski *et al.*, 2004]. En Cuba se han realizado transformaciones a partir de suspensiones de células embrionarias del clon Gran enano mediante *A. tumefaciens* cepa EHA 105 portadora de los plásmidos pHCG59 (gen de  $\beta$ -glucanasa, aislado de plantas de frijol), y con los genes pHA C58 y

pHGA91 (gen de quitinasa clase I y gen AP24 relacionado a la osmotina respectivamente, aislados de plantas de tabaco [Gómez-Koski *et al.*, 2004; 2005; Bermúdez *et al.*, 2005]).

Después de obtener los permisos correspondientes de la Agencia Nacional de Bioseguridad, se llevaron al campo 150 líneas, junto a los clones originales no transformados, y se seleccionaron un total de 15 líneas transgénicas (en total de las tres construcciones genéticas utilizadas de proteínas PR), las que tuvieron un comportamiento superior al control en relación con el índice de infección y la severidad de la enfermedad a la floración. Se transformaron además suspensiones embrionarias del clon de plátano Navolean (AAB) y se seleccionaron un total de cuatro líneas transgénicas, tres de estas con la construcción glucanasa + AP24 y una con la construcción quitinasa + AP 24. Los índices de infección en los controles (clones originales no transformados) variaron entre el 33,7 y el 40,2%, mientras que los de las líneas transformadas variaron entre el 7,35 y el 10,4%. Estos materiales tienen un gran valor para áreas de clones Cavendish bajo gran presión de enfermedad en regiones con altos patrones pluviométricos. Las perspectivas futuras del uso comercial de estos clones dependerá en gran medida de los cambios de la percepción pública sobre el consumo de alimentos procedentes de plantas transgénicas, y de la información futura que se genere sobre la inocuidad para el consumo humano de los productos de los genes procedentes de plantas de cultivo utilizados en las transformaciones.

**Antagonistas microbianos.** La lucha biológica en general se ha estudiado para el manejo de sigatoka negra debido a diferentes factores técnicos y de financiamiento. Jiménez *et al.* (1987) evaluaron contra sigatoka negra más de doscientos aislados de bacterias epifíticas de las hojas de plátanos, y encontraron en invernadero un solo aislado de *Pseudomonas* sp. que brindó una actividad comparable a la del clorotalonil. González *et al.* (1997) estudiaron la actividad de *Serratia marcescens* (cepas A23 y R1), *Serratia entomophyla* (cepa A100) y de *Bacillus cereus* (cepa A30) en aplicaciones de estos microorganismos con quitina, en comparación con la quitina sola y el fungicida en invernadero y campo, y obtuvieron una eficacia insuficiente para garantizar el control. Tratamientos realizados con un bioproducto basado en metabolitos purificados de *Pseudomonas aeuroginosa*, aislado Pss en estudios de campo, brindaron un control parcial e insuficiente de

la enfermedad, aun cuando fueron aplicados a intervalos cortos [Pérez, inédito]. En general, los niveles de control hasta el presente informados en la literatura científica hasta el presente no permiten considerar el control biológico con antagonistas como una vía alternativa al control químico para el manejo de la enfermedad en plantaciones de clones susceptibles en regiones con alta y media pluviometría (> de 200 mm/año).

**Uso de compuestos vinculados a la nutrición con actividad sobre sigatoka negra.** Entre estos se encuentran compuestos químicos y derivados orgánicos de compostaje.

**Vigor Cal-Phos.** El calcio y el fósforo tienen un efecto marcado sobre el desarrollo de las enfermedades en las plantas mediante la inhibición de enzimas pectolíticas utilizadas por los patógenos para destruir la pared celular y el engrosamiento de la cutícula. Jácome *et al.* (2004) y Pasbergh-Gauhl *et al.* (2004) informaron el efecto secundario de los tratamientos con Vigor Cal-Phos a dosis de 3 L.ha<sup>-1</sup> en combinación con triazoles y otros fungicidas convencionales en el control de sigatoka negra, los cuales permitieron mejorar el nivel de control, alargar el intervalo entre ciclos y reducir en consecuencia el número total de ciclos de fungicidas por año, así como el volumen de aceite en la mezcla fungicida sin pérdida de eficacia, adicionalmente a un mayor tamaño de las plantas, un mejor tamaño de los racimos y un mejor comportamiento frente a los diferentes tipos de estrés en las plantas.

El silicato de calcio y potasio induce la expresión de mecanismos de defensa a la infección de *Magnaporthe grisea* y *Tanathephorus cucumeris*, *Monographiella albensis*, *Cochliobolus miyabeanus* en arroz [Datnoff *et al.*, 1991; Rodrigues *et al.*, 2002a,b; Kim *et al.*, 2002], *Sphaeroteca fuliginea* y *Pythium ultimum* en cucurbitáceas [Cherif, *et al.*, 1994. Fawe *et al.*, 1998], *Cercospora coffeicola* en café [Pozza *et al.*, 2004]. Entre los mecanismos asociados a la inducción de resistencia se han mencionado incrementos significativos en la producción de quitinasas,  $\beta$ -1-3 glucanasa, peroxidasas, fenilalanina amonio liasas, polifenoloxidasas y acumulación de compuestos fenólicos, así como la formación de una capa de alta densidad de Si a los lados de la pared celular. Los resultados de los ensayos en invernadero y campo han permitido una inhibición marcada del desarrollo de estos patógenos y un aumento importante de los rendimientos, acompañado de una disminución marcada o abandono del uso de fungicidas. La ausencia de informes en revistas científicas indica que se le ha prestado poca o ninguna atención para su uso en el caso de las

musáceas, lo que sería un aspecto importante por estudiar en el futuro.

*Derivados de compostaje y lixiviados de humus de lombriz.* Hay antecedentes del uso de bioproductos resultantes del compostaje y de lixiviados de la humificación con lombrices de estiércol y residuos de cosechas (*casting*) para el control eficiente de sigatoka negra en plantaciones orgánicas, tanto de clones susceptibles como resistentes [Cañarte, 2003; Álvarez, 2004].

Cañarte (2003) informó de la eficacia de las aplicaciones semanales en una finca de 300 ha de banano Cavendish en zona tropical húmeda de Guayaquil, Ecuador, con una mezcla en aceite mineral de 2 L.ha<sup>-1</sup>, del bioproducto resultante de la fermentación en biorreactores artesanales durante 21 días, de estiércol vacuno en mezcla con melaza de caña, a la que se les añadió microorganismos de suelo. Los tratamientos inhibieron o retardaron la evolución de las manchas. Los productos de las fermentaciones son ricos en macro y microelementos, así como en ácidos orgánicos.

En Cuba se utilizan 2 L de lixiviado de la lombriz californiana *Eisenia foetida* obtenido de la suspensión en agua de humus, resultante de la descomposición bajo techo de estiércol y residuos de plantas de plátano, a una concentración del 50% v/v, la cual se aplica semanalmente a las plantas de bananos y plátanos a alta densidad [Álvarez, 2004]. Las plantas tratadas muestran un excelente control de la enfermedad y retardo de la evolución de los síntomas. Se requiere de estudios para dilucidar los mecanismos de acción de los lixiviados de humus de lombriz. Zhang *et al.* (1998) informaron que los tratamientos con suspensiones acuosas de humus de lombricultura indujeron SAR en cucurbitáceas y *Arabidiopsis*. No obstante, hay evidencias de la presencia en los lixiviados de una flora bacteriana con una fuerte actividad antagónica [Alvarado, comunicación personal].

#### **Balance de las alternativas para el manejo de la sigatoka negra**

El manejo de la sigatoka negra en el futuro seguirá enfocado en la integración de procedimientos culturales y químicos. Los cambios en la percepción de los consumidores de productos más sanos y en la preocupación pública por detener la contaminación ambiental tendrá una influencia marcada en el futuro en las tecnologías de control que se implementarán.

En este sentido hay que considerar los diferentes escenarios de producción de musáceas. Las producciones

tradicionales de bananos Cavendish y plátanos altamente susceptibles a la enfermedad en zonas de alta pluviometría en grandes superficies, por algunos años, mantendrán su dependencia del uso de fungicidas químicos, del saneamiento y de la mejora de las condiciones culturales para hacer más desfavorables las condiciones ambientales al desarrollo de la enfermedad. En estas áreas los antagonistas hasta el momento parecen tener pocas oportunidades como opción de control.

Mucho se ha avanzado en el desarrollo de grupos químicos más eficaces y menos riesgosos ambientalmente, y se ha ganado conocimiento en sus mecanismos de acción, lo que permite establecer recomendaciones sólidamente fundamentadas de las estrategias de utilización para disminuir la presión de selección de poblaciones resistentes a los ingredientes activos en uso. El patógeno ha mostrado en el tiempo una gran capacidad de variación y adaptación, y desarrollado poblaciones con baja sensibilidad a las diferentes familias de ingredientes activos que salen al mercado. La principal participación la tendrán en el futuro los productos de contacto apoyados por el uso de sistémicos, particularmente los triazoles, a pesar de que hay evidencias en estas regiones de problemas crecientes de pérdida de sensibilidad.

A largo plazo, para estas regiones con alta pluviometría y presión de infección la resistencia genética es la única solución económica y ambientalmente factible. Un poco de resistencia parcial brinda grandes beneficios desde el punto de vista epidemiológico, y puede ser integrada a los sistemas de manejo para complementar o sustituir los tratamientos químicos [Hernández y Pérez, 2001; Pérez y Pérez, 2003]. Esta puede obtenerse en el caso de las producciones de bananos Cavendish y plátanos mediante transgénesis, lo que dependerá de una amplia concientización del efecto de los productos de los genes antifúngicos provenientes de plantas cultivadas a la salud.

La situación de los productores pequeños de bananos y plátanos vinculados a la cadena de exportación, situados dentro de los grandes macizos bananeros en el trópico húmedo, es muy variable y requiere de más atención y asesoramiento en el manejo de fungicidas y de la enfermedad. Muchos no resisten un aumento de los costos de las medidas de protección.

Las producciones de bananos y plátanos en trópicos semihúmedo y seco tienen más opciones mediante integración de sistemas de manejo cultural (densidades de

plantación, nutrición, drenajes, número de manos/ra-cimo), adopción de sistemas de monitoreo de la enfermedad para optimizar los momentos de los tratamientos. En estas áreas hay fuertes oportunidades para las producciones orgánicas. Un caso exitoso que ha de seguirse investigando cómo funcionan son los tratamientos con lixiviados de compost y vermicompost que han venido estableciéndose en alguna extensión en Ecuador y Cuba en plantaciones de clones susceptibles y con resistencia parcial.

Se requiere continuar el estudio de compuestos que induzcan mecanismos de defensa para integrarlos a las estrategias de manejo de sigatoka negra. Entre estos habría que determinar la factibilidad del uso del silicato de calcio y potasio como inductor de mecanismos de resistencia contra patógenos de las raíces hojas y frutos en *Musa*.

## REFERENCIAS

- Álvarez, J. M.: *Una nueva concepción de producción de plátano fruta y vianda en Cuba*, Impresiones del Ministerio de Agricultura, 2004, pp. 1-16.
- Ammermann, E.; G. Lorenz; K. Schelberger; B. Mueller; R. Kirstgen; H. Sauter; «BAS 500 F—the New Broad-Spectrum Strobilurin Fungicide». Proceedings of the BCPC Conference—Pest and Diseases 2000, 2:541-548, 2000.
- Arias, O.; R. Ceciliano; R. González: «Use of Impulse 80 EC (Spiroxamine), for Combat of *Mycosphaerella fijiensis* in Bananas (*Musa* AAA)». Proceedings of the XV ACORBAT Meeting, Cartagena de Indias, 2002, pp. 126-129.
- Arinaitwe, G.; S. Remy; R. Strosse; R. Swennen; L. Sági: «*Agrobacterium* and Particle Bombardment-Mediated Transformation of a Wide Range of Banana Cultivars», *Banana Improvement: Cellular, Molecular Biology And Induced Mutations*. Proceedings of a Meeting Held Sept 24-28, 2001 in Leuven, Bélgica, FAO/AIEA Joint Division, INIBAP, Sience Publishers, Enfield, (NH, E.U.), 2004.
- Barrantes, N.: «Bibliometric Analysis of Sigatoka Literature», *Sigatoka Leaf Spots Diseases of Bananas*. Proceedings of an International Workshop Held at San José, Costa Rica, March 28, April 1. 1989, INIBAP, 1990, pp. 17-28.
- Bermúdez, I.; R. Gómez; B. Chong; M. Reyes; J. Machado; O. Portal; B. Ocaña; Y. Alvarado; M. Leiva; M. Acosta; M. Cruz; B. Roque; R. Swennen; L. Sagi; L. Hernández: «*Agrobacterium Tumefaciens*-Mediated Genetic Transformation of Banana *Musa* spp. cv. Grande Naine, (AAA) Using Chimerical Antifungal Genes for Black Sigatoka Resistance», *Plant Cell Report*, 2005.
- Brun, J.: «Les traitements pesticides a débit réduit en culture fruitière tropicale. Etude sur l'action des fongicides huileux dans la lutte contre la Cercosporiose», *Fruits* 13:3-14, 1958.
- Buchenauer, H.: «DMI-Fungicides-Side Effects on the Plant and Problems of Resistance», *Modern Selective Fungicides: Properties, Applications, Mechanism of Action*, Gustav Fischer, Verlag, Jena, Germany., 1995, pp. 259-290.
- Calpouzos, L.; T. Theis; C. M. Rivera; C. Colberg: «Studies on the Action of Oil in the Control of *Mycosphaerella musicola* on Banana Leaves», *Phytopathology* 49:119-122, 1959.
- Calpouzos, L.; N. E. Delfel; C. Colberg; T. Theis: «Relation of Petroleum Oil Composition to Phytotoxicity and Sigatoka Disease Control on Banana Leaves», *Phytopathology* 51:317-321, 1961.
- Calpouzos, L.; C. Colberg: «Importance of Source of Spray Oils for Sigatoka Disease Control and Phytotoxicity to Banana Leaves», *Phytopathology* 54:235-236, 1964.
- Calpouzos, L.: «Oliz», *Fungicides*, vol. 2, Academic Press, New York, 1968, pp. 367-393.
- Cañas, G. P.; E. Rodríguez; L. F. Patiño; R. E. Arango: «Identificación de cepas de *Mycosphaerella fijiensis* resistentes al benomyl, usando la reacción en cadena de la polimerasa PCR». Resúmenes, XVI Reunión Internacional ACORBAT 2004, Oaxaca, México, sept. 26-oct-1, 2004.
- Cañarte, S.: «Control de plagas en banano por la vía de la nutrición», Memorias del Taller Internacional para el Manejo Integrado de Sigatoka Negra y Otras Plagas en *Musa*. MUSALAC/INIBAP, Guayaquil, Ecuador, 2003.
- Carlier, J.; E. Fouré; F. Gauhl; D. R. Jones; P. Lepoivre; X. Murichon; C. Pasbergh-Gauhl; R. A. Romero: «Black Leaf Streak», *Diseases Of Banana, Abaca And Enset*, CAB International, Wallingford, Inglaterra, 2000, pp 37-79.
- Chen, Z.; D. F. Klessig: «Identification of a Soluble, Salicylic Acid-Binding Protein That May Function in Signal Transduction in the Plant Disease Resistance Response», *Proc. Natl. Acad. Science, E. U.* 88:8179-1886, 1991.
- Chen, Z.; H. Silva; D. F. Klessig: «Active Oxygen Species in the Induction of Plant Systemic Acquired Resistance by Salicylic Acid», *Science* 262 (5141):1883-1886, 1993.
- : «Involvement of Reactive Oxygen Species in the Induction of Systemic Acquired Resistance by Salicylic Acid in Plants», *Science* 242:1883-1886, 1994.
- Chérif, M.; A. Asselin; R. R. Belanger: «Defense Responses Induced by Soluble Silicon in Cucumber Roots Infected by *Pythium* spp.», *Phytopathology* 84:236-242, 1994.
- Chin, K. M.; T. Arroyo; B. Foster; C. Steden: «Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* to Demethylation-Inhibitors in Central America: Testing Methodology and Cross Resistance», Proceedings of the XII ACORBAT Meeting, Santo Domingo, oct 28-nov 1, 1996.
- Chin, K. M.; M. Wirz; D. Laird: «Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* from Banana to Trifloxystrobin», *Plant Dis.* 85:1264-127, 2001.
- Choo Y. M.: «Palm Oil Carotenoids», *Food and Nutrition Bulletin*. 1993/1994 (no 2 June, <http://www.unu.edu/unupress/food/8F152e/8F152E05.htm>, 2004.
- Corrales, O.; S. Knight; A. Madrigal: «Control of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) and the Red Burrowing Nematode (*Radopholus similis* Cobb) in Banana, Using the Plant Activator Boost 50 SC Within a Reduced-Input Crop Protection Program», Proceedings of the XVth ACORBAT Meeting, Cartagena de Indias, 2002, pp. 143-147.
- Cronshaw, K.; A. Akers: «Mode of Action of Tridemorph and Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet», *Sigatoka Leaf Spot Diseases of Bananas*. Proc. Int. Workshop, March 28-April 1, 1989, INIBAP, Montpellier, France. 1990.
- Cuillé, J.; H. Guyot: «Les traitements fongicides des bananeraies. Utilisation des appareils de traitement en bananeraie», *Fruits* 9 (7):269-288, 1954.
- : «Les traitements aériens en bananeraie contre *Cercospora musae*», *Fruits* 11:435-440, 1956.
- : «Le matériel du traitement, son utilisation. Les réglage des appareils a débit réduit», *Fruits* 12 (11):461-475, 1957.
- Datnoff, L. E.; R. N. Raid; G. H. Snyder; D. B. Jones: «Effect of Calcium Silicate on Blast and Brown Spot Intensities and Yields of Rice», *Plant Disease* 75:729-732, 1991.

- Davidse, L. C.: «Benzimidazole Compounds: Selectivity and Resistance», *Fungicide Resistance in Crop Protection*, Ed. PUDOC, Wageningen, 1981.
- Davidse, L.; H. Ichii: «Biochemical and Molecular Aspects of the Mechanism of Action of Benzimidazole Fungicides, N-Phenyl Carbamates and N-phenylformamidoximes and the Mechanism of Resistance to These Compounds in Fungi», *Modern Selective Fungicides: Properties, Applications, Mechanism of Action*, Verlag, Jena, Alemania, 1995, pp. 305-322.
- Delaney, T. P.; S. Uknes; B. Vernooij; L. Friedrich; K. Weymann; D. Negretto; T. Gaffney; M. Gut-Rella; H. Kessmann; E. Ward: «A Central Role of Salicylic Acid in Plant Disease Resistance», *Science* 266:1247-1249, 1994.
- Delfel, N. E.; L. Calpouzos; C. Colberg: «Measurement of Spray-Oil Volatility and Its Relation to Sigatoka Fungus Disease Control», *Phytopathology* 52:913-917, 1962.
- Delp, C.: «Benzimidazole and Related Fungicides», *Modern Selective Fungicides: Properties, Applications, Mechanism of Action*, Verlag, Jena, Alemania, 1995, pp. 291-303.
- Du, H.; D. F. Klessig: «Identification of a Soluble High-Affinity Salicylic Acid-Binding Protein in Tobacco», *Plant Physiol.* 113:319-327, 1997.
- Dutzmann, S.; D. Berg; N. E. Clausen; W. Kramer; K. H. Kuck. Proc. Br. Crop Prot. Conf-Pests Dis. 1(47):395-402, 1996.
- Duvert, P.; R. Milling; R. González-Quesada: «Monitoring the Sensitivity of *Mycosphaerella fijiensis* to Pyrimethanil», *Memorias de la XV Reunión de ACORBAT en Cartagena de Indias, Colombia, 27 oct.-2 nov., 2002*, pp. 153-157.
- Edginton, L. V.; C. A. Peterson: «Systemic Fungicides: Theory, Uptake and Translocation», *Antifungal Compounds*, vol. 2, *Interactions in Ecological Systems*, Marcel Dekker, New York, 1977, pp. 51-89.
- Edginton, L. V.: «Structural Requirements of Systemic Fungicides», *Ann. Rev. of Phytopathology* 19:107-124, 1981.
- FAO STAT, [www.fao.org/faostat](http://www.fao.org/faostat), 2005.
- Fariás-Larios, J.; M. Orozco-Santos: «Effect of Pyraclostrobin on Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) control in Banana», *Proceedings of the XV ACORBAT Meeting, Cartagena de Indias, 2002*, pp. 243-248.
- Fawe, A.; M. Aboud-Zaid; J. G. Menzies; R. R. Bélanger: «Silicon-Mediated Accumulation of Flavonoid Phytoalexins in Cucumber», *Phytopathology* 88:296-401, 1998.
- Fouré, E.: «Les Cercosporiose du bananier et leurs traitements. Sélection des molécules fongicides nouvelles. Activités comparées de différentes molécules fongicides sur *Mycosphaerella fijiensis* Morelet agent de la maladie des raies noires des bananiers et plantains au Gabon», *Fruits* 38:21-34, 1983.
- Fouré, E.: «Les Cercosporiose du bananier et leurs traitements. Etude de la sensibilité variétale des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* au Gabon», *Fruits* 40:393-399, 1985.
- : «Les Cercosporiose du bananier et leurs traitements. Efficacité comparée des différentes molécules fongicides sur *Mycosphaerella fijiensis* Morelet., agent de la maladie des raies noires des bananiers et plantains au Cameroun (I)», *Fruits*, 43:15-19, 1988a.
- : «Stratégies de lutte chimique contre le Cercosporiose noire du bananier et des plantains provoqué par *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, L'avertissement biologique au Cameroun. Evaluation des possibilités d'amélioration», *Fruits* 43:269-274, 1988c.
- : «Les Cercosporiose du bananier et leurs traitements. Efficacité comparée du pyrazophos et du triadimenol sur *Mycosphaerella fijiensis*. Sur *Mycosphaerella fijiensis* Morelet (agent de la Cercosporiose noire des bananiers et des plantains au Cameroun lors des traitements du grandes surfaces», *Fruits*, 43:143-147, 1988d.
- : «Stratégies de lutte chimique contre le Cercosporiose noire du bananier au Cameroun: efficacités comparées de différentes molécules fongicides, stratégies d'alternance», *Sigatoka Leaf Spots Diseases of Bananas*. Proceedings of an International Workshop Held at San José, Costa Rica, March 28, April 1, 1989, INIBAP, 1990, pp. 135-158.
- : «Leaf Spot Diseases of Banana and Plantains Caused by *Mycosphaerella musicola* and *M. fijiensis*», *The Improvement and Testing of Musa: a Global Partnership*. Proceedings of the First Global Conference of the International Testing Program held at FHIA, Honduras, April 27-30, INIBAP, Montpellier, France, 1994, pp. 37-46.
- Fouré, E.; M. Grisoni; R. Zurfluh: «Les cercosporioses du bananier et leurs traitements. Comportement des variétés. II. Etude de la sensibilité des bananiers et plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet et des quelques caractéristiques biologiques de la maladie des raies noires au Gabon», *Fruits* 39:365-378, 1984.
- Fouré, E.; A. Molium Pefoura; X. Mourichon: «Etude de la sensibilité variétale des bananiers et des plantains à *Mycosphaerella fijiensis* Morelet au Cameroun. Caractérisation de la résistance au champ des bananiers appartenant à divers groupes génétiques», *Fruits* 45:339-345, 1990.
- FRAC: «Banana Working Group», 4th. Meeting, Summary and Recommendations, Miami Airport Marriott Hotel, Miami, 25 & 26 January, Organized by BASF, 1996.
- Friedrich, L.; K. Lawton; W. Ruess; P. Masner; N. Specker; M. Gut-Rella; B. Meier; S. Dincher; T. Staub; S. Ukness; J. P. Metraux; H. Kessmann; J. Ryals: «A Benzothiadiazole Derivative Induces Systemic Acquired Resistance in Tobacco», *Plant J.* 10: 61-70, 1996.
- Gaffney, T.; L. Friedrich; B. Vernooij; D. Negretto; G. Nye; S. Uknes; E. Ward; H. Kessmann; J. Ryals: «Requirement of Salicylic Acid for the Induction of Systemic Acquired Resistance», *Science* 261:754-756, 1993.
- Gauhl, F.: «Epidemiología y ecología de la sigatoka negra», Traducción de la obra: «Untersuchungen zur Epidemiologie und Oxologie der Schwarzen Sigatoka Krankheit (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) an Kochbananen (*Musa* sp.) in Costa Rica». Tesis doctoral presentada en el Instituto Sistemático-Geobotánico e Instituto de Patología y Protección de Plantas de la Universidad Georg August Goettingen. UPEB, Ciudad de Panamá, 1990.
- Geier B.; H. Schnagger; U. Brandt; A. M. Colson; G. Von Jagow: «Point Mutation in Cytochrome-B of Yeast Ubiquinol: Cytochrome-C Oxidoreductase Causing Myxothiazol Resistance and Facilitated Dissociation of the Iron-Sulfur Subunit», *European Journal of Biochemistry* 208:375-380, 1992.
- Geier, B. M.; U. Haase; G. Von Jagow: «Inhibitors Binding to the Qo Site of BC1 Complex: Comparative Studies of Yeast Mutants and Natural Inhibitor Resistant Fungi», *Biochem. Soc. Trans.* 22:203-209, 1993.
- Georgopoulos, S. G.: «The Genetic Basis of Classification of Fungicides According to Resistance Risk», *EPPO Bull.* 15:513-517, 1985.
- Gisi, U.; K. M. Chin; G. Knapova; R. Küng-Färber; U. Mohr; S. Parisi; H. Sierotski; U. Stenfield: «Recent Developments in Elucidating Modes of Resistance to Phenylamides, DMI and Strobilurin Fungicides», *Crop Protect.* 19:863-872, 2000.
- Gisi, U.; H. Sierotski; A. Cook; A. McCaffery: «Mechanisms Influencing the Evolution of Resistance to Qo Inhibitor Fungicides», *Pest Manag. Sci.* 58:859-87, 2002.
- Godwin, J. R.; J. M. Anthony; J. M. Clough; C. R. A. Godfrey: «ICI 5504: A Novel, Broad Spectrum Systemic (β-methoxyacrilate fungicide)». Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference on Pest and Diseases, vol. 1., 1992, pp. 435-442.
- Godwin, J. R.; D. W. Bartlett; J. M. Clough; C. R. A. Godfrey; E. G. Harrison; S. J. Maund: «Picoxystrobin: A New Strobilurin Fungicide for Use on Cereals». Proceedings of the Brit. Crop Prot. Conference-Pests and Diseases, 2:533-540, 2000.

- Gómez-Kosky, R.; B. Chong-Pérez; I. Bermúdez; Y. Alvarado; M. Leiva; J. López-Torres; J. Machado; O. Portal; O. Sweenen; L. Sági; L. Hernández: «Behavior in Field of Banana and Plantain Carrying Chimeric Genes for the Resistance to Black Sigatoka (*M. fijiensis*)». Proceedings of the XVI International ACORBAT Meeting, Oaxaca, México, sept. 26-oct 1, 2004.
- Gómez-Kosky, R.; B. Chong-Pérez; I. Bermúdez; Y. Alvarado; M. Leiva; J. López-Torres; J. Machado; O. Portal: «Obtención de líneas de banano cv. Gran Enano (AAA) con posible resistencia a la enfermedad de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) por transformación genética», Informe Final de Proyecto Nacional del CITMA (Código del proyecto: 00300136). Instituto de Biotecnología de las Plantas (IBP), 2005, inédito.
- González, R.; E. Bustamante; P. Shannon: «Integrated Biological Control of *Mycosphaerella fijiensis*. Report of the International Workshop on Biological Control and Integrated Production in Banana Cultivation, Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica, Nov.16-19, 1997, pp.132-139.
- González R.; J. Bocanegra; C. Osorio; J. Valladares: «Effect of Siganex (Pyrimethanil) 60 SC in the Control of Black Sigatoka». Proceedings of the XIV ACORBAT Meeting, San Juan, Puerto Rico Jul. 31-Aug. 4., 2000, p. 69.
- Görlach, J.; S. Volrath; G. Knauf-Beiter; U. Beckhove; K. H. Kogel; M. Oostendorp; T. Staub; E. Ward; H. Kessmann; J. Ryals: «Benzothiadiazole A Novel Class of Chemical Inducers of Systemic Acquired Resistance, Activates Gene Expression and Disease Resistance in Wheat», *Plant Cell*. 8:629-643, 1996.
- Guyot, H.: «La lutte contre *Cercospora musae* dans les bananeraies du Guadeloupe, Essais de nébulisation (Fogging)», *Fruits* 8 (11):525-532, 1953.
- Guyot, H.; J. Cuillé: «Les formules fongicides huileuses pour les traitements des bananeraies», *Fruits* 9:289-292, 1954a.
- : «Les formules fongicides huileuses pour les traitements des bananeraies. Essais de nébulisation», *Fruits* 9:293-296, 1954b.
- : «Les traitements fongicides des bananeraies. II Efficacités des différents modes de traitements. Rôle de l'huile», *Fruits* 10 (3):101-107, 1955.
- : «Les traitements fongicides des bananeraies. III. Résultats pratiques obtenus en Guadeloupe lors applications par brouillards légers huileux», *Fruits* 11 (4):141-150, 1956.
- Guzmán, M.; R. A. Romero: «Eficacia de cuatro dosis de aceite agrícola en el control de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en banano», *Corbana* 21:129-139, 1996.
- Guzmán, M.; S. Knight; H. Sierotski; G. Franceschi; I. Alon: «Sensitivity to Fungicides in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. A Global Overview». Memorias de la XVI Reunión Internacional de ACORBAT, Oaxaca, México, sept. 29-oct 1, 2004, pp. 251 y 252.
- Heaney, S. P.; A. A. Hall; S. A. David; G. Olaya: «Resistance to Fungicides in the QoI- STAR Cross Resistance Group: Current Perspective». Proceedings of the BCPC Conference Pest and Diseases, 2000, pp. 755-762.
- Hernández, A.; L. Pérez: «Reaction of Banana and Plantains Cultivars to Black Sigatoka Disease Caused by *Mycosphaerella fijiensis* Morelet in Cuba. Epidemiological Components of the Resistance», *Fitosanidad* 5 (3):9-15, 2001.
- Hollomon, D. W.: «Do Morpholine Fungicides Select for Fungicide Resistance?», *Fungicide Resistance*, British Crop Protection Council, Farnham, Surrey, 1994, pp. 281-289.
- Israeli, Y.; E. Shabi; W. R. Slabaugh: «Effect of Banana Spray Oil on Banana Yield in the Absence of Sigatoka (*Mycosphaerella* sp.)», *Scientia Horticulturae* 56:116-117, 1993.
- Jácome, L. H.; R. Blanco; J. L. Galindo: «Effect of Vigor-Cal-Phos (VCP) on Mitigation of Black Sigatoka Disease on Bananas». Memorias de la XVI Reunión Internacional de ACORBAT, Oaxaca, México, sept. 29-oct. 1, 2004, pp. 212-224.
- Jacques, D. F.; B. Kuhlman: «Exxon/Esso Experience with Horticultural Mineral Oils», *Sprays Oils Beyond 2000*, oct. 25-29, Sydney, Australia, 1999.
- Jiménez, J. M.; J. J. Galindo; C. Ramírez: «Estudios sobre combate biológico de *Mycosphaerella fijiensis* var. Diiformis mediante bacterias epífitas». Memorias de la VII Reunión Internacional de ACORBAT, Costa Rica, 1987, pp. 105-109.
- Jiménez, L. G.; R. A. Rodríguez: «First Outbreak of *Mycosphaerella fijiensis* Tolerant of the Fungicide Benomyl in Bananas in Costa Rica», *Phytopathology* 75:1177, 1985.
- Kaars Sijpesteijn, A.; H. M. Dekuijzen; J. W. Vonk: «Biological conversions of fungicides in plants and microorganisms», *Antifungal Compounds*, vol. 2, Interactions in Biological and Ecological Systems, Marcel Dekker, New York, 1977, pp. 149-208.
- Kalamarakis, A. E.; M. A. De Waard; B. N. Ziogas; S. G. Georgopoulos: «Resistance to Triadimenol en *Nectria haematococca* var. *cucurbitae*», *Pestic. Biochem. Physiol.* 40:212-220, 1991.
- Kerkenaar, A.: «Mechanism of Action of Cyclic Amines Fungicides: Morpholines and Piperidines», *Modern Selective Fungicides: Properties, Applications, Mechanism of Action*, Verlag, Jena, Alemania, 1995, pp. 185-204.
- Kessmann, H.; T. Staub; J. Ligon; M. Oostendorp; J. Ryals: «Activation of Systemic Acquired Resistance in Plants», *Europ. J. of Plant. Pathol.* 100:359-369, 1994a.
- Kessmann, H.; T. Staub; C. Hoffman; T. Maetzke; J. Herzog; E. Ward; S. Uknes; J. Ryals: «Induction of Systemic Acquired Resistance in Plants by Chemicals», *Ann. Rev. of Plant. Pathol.* 12:439-454, 1994b.
- Kessmann, H.; M. Oostendorp; W. Ruess; T. Staub; W. Kunz; J. Ryals: «Systemic Activated Resistance: A New Technology for Plant Disease Control», *Pestic. Outlook* 7:1-13, 1996.
- Kim, S. G.; K. W. Kim; E. W. Park; D. Choi: «Silicon-Induces Cell Wall Fortification on Rice Leaves: A Possible Mechanism of Enhanced Host Resistance in Blast», *Phytopathology* 92:1095-1103, 2002.
- Klein, H. H.: «Control of *Cercospora* Leaf Spot of Bananas with Applications of Oil Sprays Based on the Disease Cycle», *Phytopathology* 50:488-490, 1960.
- : «Effects of Fungicides, Oil and Fungicide Oil Water Emulsions on Development of *Cercospora* Leaf Spot of Banana in the Field», *Phytopathology* 51:294-297, 1961.
- Köller, W.; H. Scheinpflug: «Fungal Resistance to Sterol Biosynthesis Inhibitors: A New Challenge», *Plant Disease* 71:1066-1074, 1987.
- Köller, W.; J. P. Wubben: «Variable Resistance Factors of Fungicides Acting As Sterol Demethylation Inhibitors», *Pestic. Sci.* 26:133-145, 1989.
- Köller, W.; W. F. Wilcox; D. M. Parker: «Sensitivity of *Venturia inaequalis* Populations to Anilinopyrimidine Fungicides and Their Contribution to Scab Management in New York», *Plant Dis.* 89:357-365, 2004.
- Kuck, K. H.; A. Mehl: «Trifloxystrobin: Resistance Risk and Resistance Management», *Planzenchutz-Nachrichten Bayer* 56 (74):313-325, 2003.
- Kuck, K. H.; A. Kroneberg; G. Zuninga; K. Stoermer; A. Boebel; R. González; R. Guendel; A. Martínez; R. Blanco; F. Gauhl; J. Sandoval; D. Marín; J. F. Rodríguez; G. Leandro; H. Calle; B. Sheppard; M. V. Blanco; J. González; T. Arroyo; L. Jacome; G. YÉpez; H. Sierotzki; M. Guzmán; E. Bureau; M. J. García: «7ht. Meeting of the FRAC Banana Working Group, Miami, Florida, 11-12 Feb.», Abstracts of the XVI ACORBAT Meeting, Oaxaca, México, sept. 26-oct. 1, 2004.
- Lawton, K. A.; L. Friedich; M. Hunt; K. Weymann; T. Delaney; H. Kessmann; T. Staub; J. Ryals: «Benzothiadiazole Induces Disease Resistance in *Arabidopsis* by Activation of the Systemic Acquired Resistance Signal Transduction Pathway», *Plant J.* 10:71-82, 1996.



- Leroux, P.; M. Gredt: «Effets sur les inhibiteurs de la biosynthèse des stéroïdes fongiques: I. Fungicides provoquant l'accumulation de desmethylstéroïdes», *Agronomie* 3:123-190, 1983.
- Madrigal, A.; W. Ruess: «CGA 245704, A New Plant Activator to Improve Natural Resistance of Banana Against Black Sigatoka». Proceedings of the XIII ACORBAT Meeting, Guayaquil, Ecuador, Nov. 23-29, 1998, pp. 266-274.
- Madrigal, A.; O. Corrales: «Boost 50 SC, Plant Activator Which Improves Natural Resistance of Banana to Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) and Nematodes (*Radopholus similis*)». Proceedings of the XIV ACORBAT Meeting, San Juan, Puerto Rico, Jul. 31- Aug. 4, 2000, p. 69.
- Madsen, H. F.; K. Williams: «Control of Pear Psylla with Oils and Oil-Insecticide Combinations», *J. Econ. Ent.* 60 (1):121-124, 1967.
- Margot, P.; F. Huggenberger; J. Amrei; B. Weiss: «CGA 279202, A New Broad-spectrum Strobilurin Fungicide», Brighton Crop Protection Conference Pest & Diseases, vol. 2, 1998.
- Marín, D. H.; R. A. Romero; M. Guzmán; T. Sutton: «Black Sigatoka and Increasing Threat to Banana Cultivation», *Plant Disease* 87:208-222, 2003.
- Martin, L. A.; R. T. V. Fox; B. C. Valdwini; L. F. Connerton: «Use of Polymerase Chain Reaction to the Diagnosis of MBC Resistance in *Botrytis cinerea*», British Crop Protection Conference Pest and Diseases, 1992, pp. 207-214.
- Meredith, D. S.: «Banana Leaf Spot Disease, (Sigatoka) Caused by *Mycosphaerella musicola* Leach», *Phytopathological Paper* 11, Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, Inglaterra, 1970.
- Milling R. J.; C. J. Richardson; A. Daniels: «Pyrimethanil Inhibits Hydrolytic Enzyme Secretion by *Botrytis* spp. and Prevents lysis of Host Cells». Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, 1993.
- Milling, R. J.; A. Daniels: «Effect of Pyrimethanil on the Infection Process and Secretion of Fungal Cell Wall Degrading Enzymes», *Modern Fungicides and Antifungal Compounds*, Intercept, Andover, Inglaterra, 1996, pp. 53-59.
- Neumann G. L.; E. H. Winter; J. E. Pittis: «Pyrimethanil, A New Fungicide», Brighton Crop Protection Conference, *Pests and diseases* 1:395-402, 1992.
- Orozco Santos, M.; O. Pérez Zamora; J. Orozco Romero: «Control de Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en banano con aplicaciones del fungicida pyrimethanil», Memorias de la XVI Reunión Internacional de ACORBAT, Oaxaca, México, sept. 29-oct. 1, 2004, pp. 225-230.
- Oostendorp, M.; W. Kunz; B. Dietrich; T. Staub: «Induced Disease Resistance in Plants by Chemicals», *European Journal of Plant Pathology* 107:19-28, 2001.
- Pasbergh-Gauhl, C.; L. Jácome; H. Cubero: «Effect of NIR Booster and Vigor Cal-Phos on Black Sigatoka and Growth of Banana». Proceedings of the XVI International ACORBAT Meeting, Oaxaca, México, sept. 29-oct 1, 2004, pp. 201-211.
- Pérez, L.: «Control de *Mycosphaerella musicola* Leach (Sigatoka) con aceite y mezclas de fungicidas en aceite», *Agrotecnia de Cuba* 10:83-94, 1978a.
- : «Control de *Mycosphaerella musicola* Leach (sigatoka) con fungicidas sistémicos mezclados en aceite mineral», *Agrotecnia de Cuba* 10:95-104, 1978b.
- : «Black Sigatoka Disease Control in Banana and Plantains Plantations in Cuba. Management of the Disease Based on An Integrated Approach», *Infomusa* 7(1):27-30, 1997.
- : «Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) de bananos y plátanos (*Musa* spp.) en Cuba. Biología, epidemiología y manejo integrado de la enfermedad», Memorias del Simposio Internacional de Sigatoka negra, Manzanillo, Colima, México, 8-10 de julio, 1998, pp. 24-52.
- : «Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) of Bananas and Plantains (*Musa* spp.): Advances in Disease Management». Proceedings of the XIV ACORBAT Meeting, San Juan, Puerto Rico, Jul. 31-Aug. 4, 2000b.
- Pérez, L.: «Manejo integrado de plagas y enfermedades en bananos en Cuba», Memorias del Taller Internacional para el Manejo Integrado de Sigatoka Negra y Otras Plagas en *Musa*, MUSALAC/INIBAP, Guayaquil, Ecuador, 2003.
- Pérez, L.; L. Peñalver; M. Delgado: «Acción del aceite sobre el desarrollo de *Mycosphaerella musicola*, agente causal de la mancha de la hoja (sigatoka) en plátano», *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Protección de Plantas* 4 (1):49-57, 1981.
- Pérez, L.; V. T. Hoa; F. Mauri: «Lucha contra *Mycosphaerella musicola* Leach con fungicidas sistémicos derivados de triazol», *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Serie Protección de Plantas* 6 (4):87-98, 1983.
- Pérez, L.; M. Iglesias; F. Mauri: «Aparición de una raza resistente al benomyl de *Mycosphaerella musicola* Leach ex Mulder, agente causal de la sigatoka en los plátanos», *Agrotecnia de Cuba* 17 (1):79-98, 1985.
- Pérez, L.; F. Mauri; B. Barranco; G. García: «Efficacy of EBI Fungicides in the Control of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet on Bananas and Plantains with Treatments Based on Stage of Evolution of the Disease (Biological Warnings) in Cuba». Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, 1993a.
- Pérez, L.; A. Batlle: «Monitoring Procedure to Determine Propiconazole Resistance in *Mycosphaerella fijiensis* Morelet». Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, 1993b.
- Pérez, L.; A. Hernández; A. Porras; F. Mauri: «Efficacy of a Biological Warning System for Timing Fungicide Treatments for the Control of Black Sigatoka Disease (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in Banana Plantations in Cuba». Proceedings of the 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, 1993c.
- Pérez, L.; F. Mauri: «Efficacy of EBI Fungicides on the Control of Sigatoka Disease of Banana Caused by *Mycosphaerella musicola* Leach ex Mulder in Cuba», *International Journal of Pest Management* 40:1-5, 1994.
- Pérez, L.; F. Mauri; A. Hernández; E. Abreu; A. Porras: «Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Cuba. I Pronóstico bioclimático de los tratamientos en bananos (*Musa acuminata* AAA)», *Revista Mexicana de Fitopatología* 18 (1):15-26, 2000a.
- Pérez, L.; A. Hernández; A. Porras: «Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en Cuba. II Pronóstico bioclimático de los tratamientos contra la enfermedad en plátanos (*Musa* spp. AAB)», *Revista Mexicana de Fitopatología* 18 (1):27-36, 2000b.
- Pérez, L.; A. Hernández; R. Trujillo; L. Hernández; M. Pérez: «Efficacy of Azoxystrobin and Trifloxystrobin in Banana and Plantains», Abstracts of the XIV ACORBAT Meeting, San Juan, Puerto Rico, Jul. 31-Aug. 4, 2000c.
- Pérez, L.; A. Hernández; L. Hernández; M. Pérez: «Effect of Trifloxystrobin and Azoxystrobin on the Control of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Banana and Plantain», *Crop Protection* 21:17-23, 2002a.
- Pérez, L.; J. M. Álvarez; M. Pérez: «Economic Impact and Management of Black Leaf Streak Disease in Cuba», *Mycosphaerella Leaf Spot Diseases of Bananas: Present Status and Outlook*. Proceedings of the 2nd. International Workshop on *Mycosphaerella* Leaf Spots Diseases, San José, Costa Rica, 2002b, pp. 71-84.
- Pérez, L.; A. Batlle; A. Hernández; R. Trujillo; C. Álvarez; A. Méndez: «Evolución de la sensibilidad a fungicidas de las poblaciones de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en banano en Cuba», *Fitosanidad* 7 (3):49-54, 2003.
- Pérez, L.; M. Pérez: «Epidemiología de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en clones híbridos de la FHIA con resistencia par-

- cial», Memorias del Taller Internacional para el Manejo Integrado de Sigatoka Negra y Otras Plagas en *Musa*, MUSALAC/INIBAP, Guayaquil, Ecuador, 2003.
- Pontsen, R.; S. Wissfeld: «Evaluation About the Distribution and Systemic Behavior of Triazoles in and on the Banana Leaves», Abstracts of XII ACORBAT Meeting, Santo Domingo, oct. 27-nov. 2, Santo Domingo, 1996.
- Pontzen, R.: «Recent Developments in the Chemical Control of Plant Diseases», Resúmenes III Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal, Ciudad de La Habana, junio 23-27, 1997, pp. 61 y 62.
- Pozza, A. A. A.; E. Alves; A. Edson: «Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro», *Fitopatol. bras.* 29:185-188, 2004.
- Riedhart, J. M.: «Influence of Petroleum Oil in Photosynthesis of Banana Leaves», *Tropical Agriculture, Trinidad* 39:327-338, 1961.
- Robert, C. F.; A. López; R. H. Fulton: «Quantitative Modifications in Banana Field Surveys to Improve Spray Timing and Control of Black Sigatoka *Mycosphaerella fijiensis* var. *diiformis*», Abstracts of the 74<sup>th</sup> Annual Meeting APS, *Phytopathology* 72:987, 1982.
- Rodrigues, F. A.; F. X. R. Vale; L. E. Datnoff; A. S. Prabhu; G. H. Korndörfer: «Effect of Rice Growth Stages and Silicon on Sheath Blight Development», *Phytopathology* 93:256-261, 2002a.
- Rodrigues, F. A.; N. Benhamou; L. Datnoff; B. Jones; R. Bélanger: «Ultrastructural and Cytochemical Aspects of Silicon-Mediated Rice Blast Resistance», *Phytopathology* 93:533-546, 2002b.
- Romero, R. A.; T. B. Sutton: «Characterization of Benomyl Resistance in *Mycosphaerella fijiensis*, Cause of Black Sigatoka of Banana in Costa Rica», *Plant Disease* 82:931-934, 1998.
- Romero, R. A.: «Black Leaf Streak, Control», *Diseases of banana, Abaca, and Enset*, CABI Publishing, Wallingford, Inglaterra, 2000, pp. 72-79.
- Rowe, P. R.; D. L. Richardson: «Breeding Bananas for Disease Resistance, Fruit Quality and Yield», *Bulletin 2. Tropical Agriculture Research Services (SIATSA)*, La Lima, Honduras, 1975.
- Rowe, P. R.; F. E. Rosales: «*Musa* Breeding at FHIA», The Improvement and Testing of *Musa*: A Global Partnership. Proceedings of the First Global Conference of the International Testing Program held at FHIA, Honduras, Apr. 27-30, INIBAP, Montpellier, Francia, 1994, pp. 117-129.
- Rutengwe, R. M.: «The Magic Power of the Natural Multiple Nutrient Oil of Africa: Red Palm Oil», *African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Development* (on line) 4(1) (<http://www.ajfand.net/Issue-VI-files/IssueVI-Editorial.htm>), 2004.
- Sági, L.; B. Panis; S. Remy; H. Schoofs; K. De Smet; R. Swennen; B.P.A. Cammue: «Genetic Transformation of Banana and Plantain (*Musa* spp.) Via Particle Bombardment», *Bio-Technology* 13: 481-485, 1995a.
- Sági L.; S. Remy; B. Verelst; R. Swennen; B. Panis: «Genetic Transformation in *Musa* Species (Banana)», *Biotechnology in Agriculture and Forestry, Plant Protoplasts and Genetic Engineering VI*, vol. 34, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1995b, pp. 214-227.
- Sauter, H.; W. Steglich; T. Anke: «Strobilurines, A New Class of Active Substances», *Angew. Chem. Int. Ed.* 38:1328-1349, 1999.
- Sierotzki, H.; J. Wulschleger; U. Gisi: «Point Mutation in Cytochrome b Gene Conferring Resistance to Strobilurine Fungicides in *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* Field Isolates», *Pest Biochem. Physiology* 68:107-112, 2000a.
- Sierotzki, H.; S. Parisi; U. Steinfeld; I. Tenser; S. Poirey; U. Gisi: «Mode of Resistance to Respiration Inhibitors at the Cytochrome bc<sub>1</sub> Complex of *Mycosphaerella fijiensis*», *Pest Management Science* 56:833-841, 2000b.
- Sisler, H. D.; N. Ragsdale; W. W. Waterfield: «Biochemical Aspects of the Fungitoxic and Growth Regulatory Action of Fenarimol and Other Pyrimidin-5-yl Methanols», *Pesticide Sci.*, 167-176, 1984.
- Sisler, H. D.: «Chemistry and Mode of Action of Sterol Byosynthesis Inhibitors. Characteristics of Fungal Resistance to Sterol 14 Demethylase Inhibitors», 4<sup>th</sup> Meeting of FRAC Banana Working Group, Miami, Jan. 25-26, 1996.
- Stover, R. H.; J. H. Dickson: «Leaf Spots of Bananas Caused by *Mycosphaerella musicola*: Action of Oil on the Life Cycle of the Pathogen», *Canadian Journal of Botany* 46:1495-1505, 1968.
- : «Leaf Spot of Bananas Caused by *Mycosphaerella musicola*: Methods of Measuring Spotting Prevalence and Severity», *Trop. Agric. Trinidad* 47:289-302, 1970.
- Stover, R. H.: *Banana Plantain and Abaca Diseases*, Commonwealth Mycological Institute, Kew, 1972.
- : «Behavior of Benomyl Tolerant Strains of the Black Sigatoka Pathogen in the Field», *Proc. American Phytopathological Soc.* 4:180-181, 1977.
- Stover R. H.: «Sigatoka Leaf Spots of Bananas and Plantains», *Plant Disease Reporter* 64:750-756, 1980b.
- : «Effet du Cercospora noir sur les plantains en Amérique Centrale», *Fruits* 38:326-329, 1983.
- : «Thirty Years of Changing Control Strategies», *Sigatoka Leaf Spots Diseases of Bananas*. Proceedings of An International Workshop Held at San José, Costa Rica, Mar. 28, Apr. 1, 1989. INIBAP, 1990, pp. 66-74.
- Tiemann, R.; D. Berg; W. Krämer; R. Pontzen: «Biochemistry of the New Fungicide KWG 4168 (Spiroxamine)», *Pflanzenchutz-Nachrichten Bayer* 50:29-48, 1997.
- Tomlin, C. D. S.: *The E-Pesticide Manual 2002-2003. A world compendium*, twelfth edition, version 2.2., British Crop Protection Council, Wise & Loveys Information Services, 2002.
- Van Tuyl, J. M.: «Genetics of Fungal Resistance to Systemic Fungicides», *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen* 77-2, 1-136, 1977.
- Vincent, P. G.; H. D. Sisler: *Physiol. Plantarum*, 21:1249, 1968.
- Walker, L. A.: «Properties of Banana Spray Oil in Relation to Sigatoka Disease Control and Phytotoxicity on Banana Leaves», *Pans* 18:34-42, 1972.
- Washington, J.R.; J.Cruz; F. López; M. Fajardo: «Infection studies of *Mycosphaerella fijiensis* on banana and the control of Black Sigatoka with chlorothalonil», *Plant Disease* 82:1185-1190, 1998a.
- Washington, J. R.; J. Cruz; M. Fajardo: «Detection of Chlorothalonil in Dew Water Following Aerial Spray Application and Its Role on the Control of Black Sigatoka of Banana», *Disease* 82:1191-1198, 1998b.
- Wirtz, M.; K. M. Chin: «Detection and Characterization of Strobilurin Resistant Individuals of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in Costa Rica», Abstracts of the XIV ACORBAT Meeting, San Juan, Puerto Rico, Jul. 31-Aug. 4, 2000.
- Wolfe, M. S.: «Dynamics of Pathogen Population in Relation to Fungicide Resistance», *Fungicide Resistance in Crop Protection*, Pudoc, Wageningen, 1981, pp. 46-52.
- Wood, P. M.; D.W. Holloman: «A Critical Evaluation of the Role of Alternative Oxidase in the Performance of Strobilurin and Related Fungicides Acting at the Qo Site of Complex III», *Pest Management Science* 59:499-511, 2003.
- Zhang, W.; D. Y.Han; W. A. Dick; K. R. Davis; H. A. J. Hoitink: «Compost and Water Extract-Induced Systemic Acquired Resistance in Cucumber and *Arabidopsis*», *Phytopath.* 88:450-455, 1998.
- Ziogas, B. N.; C. Brian; B. C. Baldwin; J. E. Young: «Alternative Respiration: A Biochemical Mechanism of Resistance to Azoxystrobin (ICIA 5504) in *Septoria tritici*», *Pestic. Sci.* 50:28-44, 1997.