

ALGUNOS ASPECTOS DE LOS HONGOS DEL GENERO *Fusarium* Y DE LA ESPECIE *Fusarium oxysporum*

Some aspects of *Fusarium* genus and the *Fusarium oxysporum* species

Germán Arbeláez Torres

Profesor Titular

Facultad de Agronomía

Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

Ante la propuesta de utilizar el hongo *Fusarium oxysporum* f.sp. *erythoxyl* para el control biológico de las plantas de coca en Colombia, se ha abierto una amplia discusión en distintos ámbitos nacionales sobre las bondades y los aspectos negativos de su aplicación. Sin embargo, en dicha discusión se ha notado un gran desconocimiento sobre el hongo *Fusarium oxysporum*. En este artículo se presentan diversos aspectos biológicos y patológicos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*.

ABSTRACT

Since the proposal of the utilization of the fungus *Fusarium oxysporum* for biological control of coca plants in Colombia, there is a serious discussion on different Colombian meetings about the advantages and disadvantages of its application. However in these discussions there was not enough knowledge of the fungus *Fusarium oxysporum*. This paper presents some biological and pathological aspects of the genus *Fusarium* and the species *Fusarium oxysporum*.

INTRODUCCION

En los últimos dos años el gobierno de los Estados Unidos ha planteado al gobierno colombiano la aplicación de *Fusarium oxysporum* f.sp. *erythroxili* como una de las estrategias para la destrucción de cultivos de coca (*Erythroxylum coca*) en el país. Actualmente, la destrucción de dichos cultivos se hace manualmente o mediante la aplicación del herbicida glifosato.

La propuesta norteamericana ha dado lugar a una amplia controversia de tipo político, social y científico y el nombre del hongo *Fusarium oxysporum* ha salido de los círculos fitopatológicos, biológicos y agronómicos a escenarios políticos y ambientales. En la mayoría de los casos, las discusiones realizadas han mostrado un gran desconocimiento del hongo, de su biología y de las enfermedades que ocasiona. Este artículo pretende mostrar algunas de las características del hongo *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*.

ASPECTOS GENERALES DEL GENERO *Fusarium*

Los hongos del género *Fusarium* tienen una amplia distribución en el mundo y una gran importancia desde el punto de vista agrícola y económico. Su ocurrencia es cosmopolita y las diversas especies son comunes en el suelo, en el aire y en el agua. Muchas especies del género *Fusarium* tienen una gran capacidad de ocasionar enfermedades en distintos tipos de plantas cultivadas. Algunas especies pueden causar infecciones oportunistas en el hombre y en los animales y algunas pocas producen toxinas que pueden afectar al hombre y a los animales (Booth, 1971).

Algunas especies del género *Fusarium* son benéficas en la agricultura y se han utilizado en el control biológico de ciertas enfermedades causadas por especies patogénicas, principalmente de aquellas pertenecientes a la especie *Fusarium oxysporum*. Algunas especies se han utilizado como micoherbicidas, por su potencial para destruir algunas malezas (Nelson, 1990).

Las enfermedades de las plantas causadas por especies del género *Fusarium* consisten en marchitamientos vasculares, manchas y añublos de las hojas, pudrición de raíces y de tallos, pudrición de frutos, granos y semillas (Nelson, 1990).

En el género *Fusarium* se han reconocido entre nueve y 78 especies, dependiendo del sistema taxonómico utilizado, el cual se basa principalmente en las características culturales de las colonias y de las esporas del hongo. La clasificación taxonómica del género es bastante controvertida según diversos taxónomos. Snyder y Hansen y Messian y Cassini reconocen nueve especies, Gordon considera 26 especies, Booth 44 especies, Wollenweber y Reinking 65 especies y Gerlach reconoce 78 especies (Nelson, 1990). Esto muestra la complejidad taxonómica del género *Fusarium*; por tal razón, la identificación de las especies debe ser hecha por expertos para evitar errores.

En Estados Unidos se han registrado 30 especies fitopatógenas del género *Fusarium* (Farr *et al.*, 1989). En Colombia, apenas se han registrado cuatro especies patogénicas, pero se tienen registradas 55 especies de plantas atacadas por especies del género *Fusarium*, las cuales no han sido identificadas (Pardo, 1995). Esto parece deberse a la falta de especialistas colombianos en el tema, ya que la identificación hasta el género *Fusarium* es relativamente fácil, pero hay gran dificultad para su identificación hasta especie.

ASPECTOS BIOLÓGICOS Y PATOLÓGICOS DE LA ESPECIE

Fusarium oxysporum

Fusarium oxysporum es una de las especies de mayor importancia fitopatológica, una de las que cuenta con mayor número de plantas hospedantes y una de las especies que mayor daño económico ocasiona entre los patógenos de plantas. La especie tiene la capacidad de atacar un gran número de plantas de importancia agrícola y ocasiona principalmente marchitamientos vasculares, seguidos de la muerte de la planta (Nelson, 1981). Algunas especies pueden ocasionar también pudrición de la corona y de las raíces de algunas plantas (Farr *et al.*, 1989; Jones *et al.*, 1997).

El hongo se caracteriza por producir colonias de crecimiento rápido y tres tipos de esporas: microconidias, macroconidias y clamidosporas.

Las microconidias son esporas unicelulares, sin septas, hialinas, de elipsoidales a cilíndricas, rectas o curvadas. Las macroconidias, son esporas de pared delgada, fusiformes, largas, moderadamente curvadas, con varias células y de tres a cinco septas transversales, con la célula basal elongada y la célula basal atenuada. Las clamidosporas son esporas formadas a partir de la condensación de células de las hifas o de las macroconidias y se caracterizan por poseer paredes bastante gruesas, lo que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables o a la ausencia de plantas hospedantes. Las clamidosporas se forman simples o en pares, son terminales o intercalares y son las principales responsables de la sobrevivencia del hongo en tejidos muertos de plantas hospedantes o en el suelo (Nelson, 1981).

En distintos países y en diversas épocas se han presentado epidemias muy importantes causadas por distintas formas especiales de *Fusarium oxysporum* en cultivos como banano, plátano, tomate, algodón, clavel, crisantemo, lenteja y garbanzo, entre otros, ocasionando pérdidas económicas muy significativas.

En Colombia, en la Zona bananera del Magdalena se registraron epidemias muy severas en la variedad «Gros Michel», de alta susceptibilidad a la enfermedad en los años cincuenta (Buriticá, 1999). Esta enfermedad se conoce como «Mal de Panamá» y ha sido una de las enfermedades más limitantes de la producción de banano en el mundo.

En diversas zonas productoras de tomate y de pepino cohombro en los departamentos de Cundinamarca y del Valle del Cauca se han presentado epidemias muy importantes en variedades susceptibles. Estas enfermedades se han manejado especialmente con el cultivo de variedades resistentes a la enfermedad.

En los cultivos del clavel para exportación en la Sabana de Bogotá, desde el año 1975, se han presentado epidemias bastante severas con pérdidas económicas muy significativas, lo que ha impulsado a los productores a utilizar suelos nuevos no infestados por el patógeno y a aplicar diversas medidas de control químico, algunas de ellas bastante costosas y no muy eficientes (Arbeláez, 1992).

En los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, se presentaron hace algunos años ataques progresivos del patógeno en cultivos de lenteja y garbanzo, los cuales causaron la eliminación casi completa de esos cultivos, por lo que el país debió realizar importaciones de esas clases de granos (Buriticá, 1999).

A partir de 1980, en el Valle de Huallaga en el Perú se registraron epidemias importantes en los cultivos de coca ocasionadas

por *F. oxysporum* f.sp. *erythroxyli*, lo cual aumentó las siembras de ese cultivo en algunos departamentos del Sur de Colombia (Arévalo-Gardini *et al.*, 1994). Igualmente, a partir de 1988 se registraron epidemias en algunos pequeños cultivos de coca para uso en bebidas gaseosas en Hawái (Sands *et al.*, 1997).

Las formas especiales patogénicas de *Fusarium oxysporum* parecen haberse originado a partir de formas especiales no patogénicas o saprófitas en procesos evolutivos muy largos, principalmente en los centros de origen de las plantas hospedantes (Nelson, 1990).

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICIDAD DE PLANTAS HOSPEDANTES DE LAS FORMAS ESPECIALES DE *Fusarium oxysporum*

La especie *Fusarium oxysporum* se caracteriza por producir distintas formas especiales, las cuales no se pueden diferenciar por su morfología o por las características culturales de las colonias, pero son fisiológicamente diferentes por su capacidad de parasitar y ocasionar enfermedades en plantas hospedantes específicas (Nelson, 1981).

Snyder y Hansen (1940) reconoció 25 formas especiales de *Fusarium oxysporum*, Booth (1971) registró 70 formas especiales y Armstrong y Armstrong (1981) reconocieron 72 formas especiales patógenas de cultivos de gran importancia económica; de acuerdo a otros autores, las formas especiales de la especie podrían pasar de un centenar. Farr *et al.* (1989) reconocieron 41 formas especiales causando enfermedades en plantas de importancia económica en los Estados Unidos. Pardo (1995) registró la presencia en Colombia de diez formas especiales de *F. oxysporum*, pero además mencionó 21 tipos de plantas atacadas por *F. oxysporum*, pero sin especificar la forma especial que las afecta.

La especie *Fusarium oxysporum* ataca diversos tipos de plantas económicamente importantes en distintos países y en diferentes regiones, causando marchitamientos vasculares y muerte de las plantas. En hortalizas se registra atacando entre otras plantas al tomate (f.sp. *lycopercisi*), apio (f.sp. *apii*), pepino cohombro (f.sp. *cucumerinum*), cebolla (f.sp. *cepae*), repollo (f.sp. *conglutinans*), espárrago (f.sp. *asparagi*) y remolacha (f.sp. *betae*). En frutales se ha registrado en banano (f.sp. *cubense*), cítricos (f.sp. *citri*), melón (f.sp. *melonis*), guayaba (f.sp. *psidii*), vid (f.sp. *herbemontis*). En leguminosas de grano en frijol (f.sp. *phaseoli*), soya (f.sp. *glycines*), alverja (f.sp. *pisi*), lenteja (f.sp. *lentis*) y garbanzo (f.sp. *ciceris*). En plantas productoras de aceite en ajonjolí (f.sp. *sesami*) y en palma africana (f.sp. *elaedis*). En ornamentales en clavel (f.sp. *dianthi*), crisantemo (f.sp. *chrysanthemi*), delfinio (f.sp. *delphinii*), gladiolo (f.sp. *gladiolorum*). En plantas aromáticas se ha observado en albahaca (f.sp. *basilici*). En plantas productoras de fibra se encuentra en lino (f.sp. *lini*) y en cáñamo (f.sp. *cannabis*). En plantas forrajeras se ha registrado en trébol (f.sp. *trifolii*), alfalfa (f.sp. *medicaginis*) y lupino (f.sp. *lupini*). En árboles en eucalipto (f.sp. *eucalipti*) y en algunas coníferas (f.sp. *pini*) (Armstrong y Armstrong, 1981; Farr *et al.*, 1989).

Entre los cultivos considerados «ilícitos» se ha registrado en coca (f.sp. *erythroxyli*), amapola (f.sp. *papaver*) y marihuana (f.sp. *cannabis*) (Armstrong y Armstrong, 1981; Connick *et al.*, 1998; Farr *et al.*, 1989).

También se han registrado las formas especiales f.sp. *radicolycopersici* y f.sp. *radicilupinus* causando pudrición de raíces y de la corona de las plantas de tomate y de lupino, respectivamente (Farr *et al.*, 1989; Jones *et al.*, 1997).

A pesar del gran número de plantas afectadas por diversas formas especiales de *F. oxysporum*, se observa una muy alta especialización en las plantas hospedantes que pueden atacar. Esta selectividad patogénica de las formas especiales de *F. oxysporum* se debe a que solamente las plantas hospedantes y sus exudados radicales satisfacen los requerimientos nutricionales del hongo y, por lo tanto, éste solamente puede crecer y desarrollarse en ese tipo de plantas (Nelson, 1981).

La mayoría de las formas especiales de *Fusarium oxysporum* son muy especializadas en los géneros de plantas hospedantes que pueden atacar. Por ejemplo, *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopercisi* ataca solamente tomate, *F. oxysporum* f.sp. *pisi* ataca sólo alverja, *F. oxysporum* f.sp. *cubense* ataca solamente plantas de banano y plátano y algunas otras especies del género *Musa*, *F. oxysporum* f.sp. *dianthi* ataca clavel y *F. oxysporum* f.sp. *chrysanthemi* ataca plantas del crisantemo.

Algunas pocas formas especiales pueden atacar más de un género de plantas. *Fusarium oxysporum* f.sp. *conglutinans* ataca algunas plantas de la familia de *Brassicaceae* como son repollo, brócoli, nabo, colza, rábano y berro. *F. oxysporum* f.sp. *cattleyae* ataca diversos géneros de orquídeas tales como *Cattleyae*, *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Phalaenopsis* y *Oncidium*. *F. oxysporum* f.sp. *tracheiphilum* ataca las leguminosas caupí, soya y crotalaria. *F. oxysporum* f.sp. *batatas* ataca batata y tabaco de la familia *Solanaceae*, *F. oxysporum* f.sp. *betae* ataca remolacha y espinaca de la familia *Chenopodiaceae*. La forma especial *vasinfectum* es tal vez la única forma especial mencionada en la literatura que puede atacar algunas plantas pertenecientes a diversas familias botánicas como son algodón (Familia *Malvaceae*), tabaco (Familia *Solanaceae*), soya y alfalfa (Familia *Fabaceae*) (Armstrong y Armstrong, 1981; Farr *et al.*, 1989).

En distintos suelos de diferentes regiones del mundo se ha encontrado un gran número de formas no patogénicas de *F. oxysporum*. Estas formas se caracterizan por desarrollarse en forma epífita o saprófita en las raíces de algunas plantas, pero sin ocasionar ningún tipo de enfermedad en las plantas que las albergan (Nelson, 1981). En algunos suelos de la Sabana de Bogotá infestados por *F. oxysporum* f.sp. *dianthi* y cultivados en clavel se ha observado una gran abundancia aislamientos no patogénicos de *F. oxysporum* pero sin causar ningún efecto negativo sobre las plantas de clavel y, por el contrario, ocasionando algún efecto antagónico a las formas patogénicas (Camargo *et al.*, 1994).

Además, algunas formas especiales de *Fusarium oxysporum* se caracterizan por producir razas fisiológicas o patotipos, los cuales se distinguen entre sí por su diferente patogenicidad en distintas variedades de una misma especie de planta. Varias razas fisiológicas se han observado en las formas especiales *conglutinans*, *pisi*, *lycopercisi*, *dianthi*, *cubense*, entre otras (Armstrong y Armstrong, 1981). Por ejemplo, en *F. oxysporum* f.sp. *dianthi* se han reconocido diez razas fisiológicas (Garibaldi, 1975) y en *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* y en *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* se han reconocido tres razas fisiológicas (Jones *et al.*, 1997; Stover, 1993).

El diagnóstico de las formas especiales de *F. oxysporum* se basa en la patogenicidad ocasionada en distintos tipos de varie-

dades llamadas diferenciales, ya que sus características morfológicas y culturales son bastante similares. Actualmente, se están investigando diversos métodos moleculares para diferenciar las distintas formas especiales del patógeno, las formas no patogénicas del hongo y para la distinción de las razas dentro de las formas especiales. Hasta el momento no se tienen resultados concluyentes; pero algún avance se ha logrado para efectuar una identificación confiable. Entre estos métodos se han utilizado el análisis de fragmentos de restricción de ADN de longitud polimórfica (RFLP), el análisis de grupos de compatibilidad vegetativa (VGC), la amplificación al azar de ADN de longitud polimórfica (RAPD), el análisis de isoenzimas y el cariotipo electroforético (Hernández *et al.*, 1998; Anzola y Rojas, 2000).

Las formas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* son más competitivas que las formas especiales patogénicas, cuyas esporas pueden germinar con niveles nutritivos exógenos muy bajos, en comparación con las esporas de las formas patogénicas. A esto se debe la presencia de formas no patogénicas de *Fusarium oxysporum* en diversos tipos de suelo (Nelson, 1990).

Una alta especialización fisiológica, similar a la presentada en las formas especiales de *F. oxysporum* ocurre con otros hongos como las royas y los mildesos vellosos, los cuales pueden atacar diversos tipos de plantas. *Puccinia graminis tritici* ataca trigo, pero no puede atacar otros cereales como cebada y avena; *Puccinia graminis avenae* ataca avena, pero no puede atacar otros cereales. *Puccinia horiana* ataca solamente plantas del género *Dendranthema*. *Hemileia vastatrix* ataca diversas especies de café pertenecientes al género *Coffea*. Los mildesos vellosos de la rosa causados por *Peronospora sparsa* y del clavel ocasionado por *Peronospora dianthicola*, son otros ejemplos de alta especificidad patogénica.

La alta especialización encontrada en las formas especiales de *Fusarium oxysporum* contrasta con la menor especialización observada con otros tipos de patógenos. El hongo *Botrytis cinerea* causa la pudrición de flores y frutos de muchas plantas como rosa, clavel, estaticé, fresa, vid, tomate y lechuga. Los hongos del suelo de los géneros *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y *Sclerotinia* se caracterizan por ser muy poco específicos y atacar las raíces o la base de los tallos de muchos tipos de plantas como frijol, alverja, repollo, clavel, crisantemo, papa, tabaco, lulo y un gran número de hortalizas. La bacteria *Agrobacterium tumefaciens* causa agallas en la base del tallo y en las raíces de plantas de rosa, crisantemo, manzano y eucalipto, entre otros hospedantes. El nemátodo *Meloidogyne incognita* puede causar agallás radicales en plantas de tomate, tabaco y pepino cohombro. El Virus de la Marchitez Manchada del Tomate (TSWV - Tomato Spotted Wilt Virus) tiene la capacidad de atacar diversas plantas ornamentales, varias hortalizas y algunas malezas (Cho *et al.*, 1989).

VARIACION DE LOS HONGOS DEL GENERO *Fusarium* Y DE LA ESPECIE *Fusarium oxysporum*

Una de las dificultades encontradas para la identificación de las especies es la frecuente variación observada en las características culturales de las colonias del hongo y en el tamaño de las esporas tanto del género *Fusarium*, como de la especie *F. oxysporum*. Sin

embargo, las variaciones en la patogenicidad son poco frecuentes y consisten principalmente en la pérdida o en la disminución de la virulencia y, muy rara vez, en el aumento de esa virulencia o en la capacidad de ampliar o de modificar el tipo de plantas hospedantes que puedan atacar (Kistler, 1997).

Una de las posibilidades de modificar diversos aspectos patológicos es mediante la ocurrencia de mutaciones, pero la frecuencia observada en las formas especiales de *F. oxysporum* es muy baja. La recombinación genética observada en la especie *Fusarium oxysporum* es bastante baja, ya que no se le conoce fase sexual y, por lo tanto, no se presenta recombinación genética por este método de reproducción (Kistler, 1997).

Otras especies de *Fusarium* si tienen formas sexuales conocidas y tienen mayores posibilidades de variación. Entre estas especies merecen citarse *Fusarium avenaceum* (*Gibberella avenaceae*), *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*), *Fusarium moniliforme* (*Gibberella fujikuroi*) y *Fusarium solani* (*Nectria haematococca*) (Booth, 1971).

USO DE HONGOS FITOPATOGENOS COMO METODO DE CONTROL BIOLÓGICO DE MALEZAS

Para la destrucción de malezas se han utilizado diversas alternativas de control como la erradicación mecánica, manual o mecanizada y la aplicación de herbicidas químicos como el paraquat y el glifosato. En los últimos años se plantea el uso de algunos patógenos de plantas como ciertos hongos, los cuales pueden causar enfermedades en algunas malezas, debilitarlas y destruirlas. Estos hongos se conocen como micoherbicidas y, los que hasta el momento se han utilizado, tienen una alta virulencia y una gran especificidad en las malezas que pueden atacar (Templeton y Heiny, 1990).

La aplicación de micoherbicidas se considera una alternativa más para el control biológico de malezas y de plantas indeseables. La especificidad de algunos de estos hongos, su gran efectividad y el menor daño ambiental que ocasionan, en comparación con los herbicidas químicos, hace que estos organismos sean, en algunos casos, más adecuados (Charudattan y De Loach, 1988).

Actualmente en los Estados Unidos se tienen dos productos comerciales para el control de diversas malezas y algunos otros se están investigando para su posible aplicación comercial (Charudattan, 1991).

El primer micoherbicida comercial utilizado fue el producto «De Vine», producido por los laboratorios Abbot, el cual consiste en un concentrado líquido de esporas del hongo *Phytophthora palmivora* y se ha usado para el control de la maleza *Morrenia odorata* en cultivos de cítricos en el Estado de Florida, Estados Unidos (Charudattan, 1991).

Otro producto comercial es «Collego» fabricado por la empresa Upjohn, el cual se ha formulado con esporas del hongo *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschyromene* y se ha utilizado para el control biológico de la maleza *Aeschynomene virginica* en cultivos de arroz y de soya (Charudattan, 1991).

Otros micoherbicidas se están evaluando para su aplicación comercial. Entre ellos están diversas especies de *Fusarium* y algunas formas especiales de *Fusarium oxysporum*.

Fusarium oxysporum f.sp. *perniciosum* controla la maleza *Albizzia julibrissin*, *F. oxysporum* f.sp. *orthoceras* controla el lirio

de agua (*Nymphoides orbiculata*), *Fusarium solani* controla *Cucurbita texana* e *Hydrilla verticillata*, *Fusarium roseum* controla *Cirsium arvense* e *Hydrilla verticillata*, *Fusarium lateritium* controla *Sida spinosa*, *Abutilon theophrasti*, *Ambrosia trifida* y *Anoda cristata* (Charudattan y De Loach, 1988).

Además, se ha planteado el uso de algunas formas especiales de *Fusarium oxysporum* para el control de los cultivos indeseables. Se han considerado posibilidades de aplicaciones de *F. oxysporum* f.sp. *erythroxyli* para el control de cultivos de coca (*Erythroxylum coca*), *F. oxysporum* f.sp. *papaver* para el control de cultivos de amapola (*Papaver somniferum*) y *F. oxysporum* f.sp. *cannabis* para el control de cultivos de marihuana (*Cannabis sativa*) (Charudattan, 1991; Connick *et al.*, 1998).

EXPERIENCIAS EN EL CONTROL BIOLÓGICO DE ENFERMEDADES OCASIONADAS POR VARIAS FORMAS ESPECIALES DE *Fusarium oxysporum* CON AISLAMIENTOS NO PATOGENICOS DE *Fusarium oxysporum*

En el manejo de las enfermedades de plantas causadas por diferentes hongos fitopatógenos, y, en especial, de hongos del suelo como *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani*, *Fusarium graminearum*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* y *Sclerotinia sclerotiorum*, unas de las alternativas de control es la aplicación de distintos organismos antagonistas.

Debido a la importancia de las enfermedades ocasionadas por algunas formas especiales de *Fusarium oxysporum* en distintos cultivos en diversos países, una de las estrategias propuestas para el control de dichas enfermedades es la aplicación de diversos antagonistas biológicos. Para el efecto se han ensayado diversas clases de hongos (*Fusarium oxysporum* no patógeno, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma hamatum* y otras especies de *Trichoderma*), algunas bacterias (*Pseudomonas putida*, *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* spp.) y algunos actinomicetos (*Streptomyces griseoviridis* y *Streptomyces griseus*) (Cook y Baker, 1983).

Uno de los resultados más efectivos de control de las enfermedades ocasionadas por *F. oxysporum* se ha logrado con la aplicación de diversos aislamientos no patógenicos de *F. oxysporum* (Baker, 1986). En clave se han utilizado algunos aislamientos no patógenicos de *Fusarium oxysporum* en Holanda (Postma y Rattink, 1992), en Francia (Lemanceau *et al.*, 1993), en Italia (Garibaldi *et al.*, 1986) y en Colombia (Rodríguez *et al.*, 1993) para el control de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*. Ogawa y Komada (1984) utilizaron igualmente aislamientos no patógenicos de *F. oxysporum* para el control de *F. oxysporum* f.sp. *batatas* en batata en el Japón, Paulitz *et al.* (1987) para el control de *F. oxysporum* f.sp. *cucumerinum* en pepino cohombro en Canadá, Fuchs *et al.* (1997) para el control de *F. oxysporum* f.sp. *lycopercisi* en tomate en Suiza y Block *et al.* (1997) para el control de *F. oxysporum* f.sp. *asparagi* en espárrago en Holanda.

Algunos de estos aislamientos están siendo probados en el campo a mayor escala y algunos de ellos se consiguen actualmente en el mercado. La empresa Natural Plant Protection de Noguera,

Francia produce el producto «Fusaclean» y la empresa Industrie Chimiche Caffaro, de Gallier, Italia, produce el «Biofox». Ambos productos son manufacturados a partir de aislamientos no patogénicos de *F. oxysporum* y están registrados para su uso comercial en los Estados Unidos, en Italia y en Francia (Aloi *et al.*, 1992; Fravel, 1998).

EFFECTO DE LOS HONGOS DEL GENERO *Fusarium* Y DE LA ESPECIE *Fusarium oxysporum* SOBRE LA SALUD HUMANA Y ANIMAL

Algunos géneros de hongos patógenos de plantas tienen la capacidad de producir toxinas, las cuales pueden afectar de formas diversas al hombre y a los animales que ingieren alimentos contaminados con esos hongos. Entre los géneros productores de toxinas están *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, entre otros. Unas de las micotoxinas más tóxicas y más investigadas son las llamadas aflatoxinas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* (Schumann, 1991).

Sólo unas pocas especies del género *Fusarium* tienen la capacidad de atacar algunos cereales y de producir micotoxinas (Schumann, 1991).

Fusarium graminearum, *F. moniliforme* y *F. tricinctum*, patógenos de maíz y de algunos cereales menores, producen la toxina zearalenona, la cual causa desequilibrios hormonales, infertilidad, disminución del crecimiento y, en casos extremos, la muerte de los animales que consumen granos contaminados (Rebell, 1981).

Fusarium graminearum sobre granos de cereales, especialmente maíz, también tiene la capacidad de producir la toxina deoxinivalenol o vomitoxina, la cual causa rechazo en el consumo de alimentos contaminados y disminución en el peso de los animales que lo consumen (Rebell, 1981).

Fusarium tricinctum, *F. equiseti*, *F. lateritium*, *F. poae*, y *F. sporotrichoides* y algunas razas de *Fusarium graminearum* en granos de cereales pueden producir varias toxinas llamadas trichotecenos, las cuales causan inflamaciones y hemorragias del tracto intestinal, infertilidad y esterilidad en animales que consumen granos infestados (Schumann, 1991).

Fusarium moniliforme y *F. proliferatum*, cuando se desarrollan sobre granos de maíz, pueden producir la toxina fumonicina, la cual puede causar leucoencefalomacia en caballos (Vesonder y Hesseltine, 1981).

Hay apenas un registro en la literatura sobre la producción de una micotoxina producida por *Fusarium oxysporum*; se trata de la fumonicina producida por el hongo *Fusarium oxysporum* var. *redolens*, el cual causa lesiones en las raíces del pino blanco oriental, *Pinus strobus* (Abbas *et al.*, 1995).

Se presenta un registro sobre la destrucción de nidos y de panales en abejas salvajes por el hongo *Fusarium oxysporum*, sin especificar si es patógeno de plantas o si es un saprófito (Rebell, 1981).

En el hombre y en algunos animales de laboratorio como conejos, se tienen registros de infecciones en la córnea después de un trauma causadas por diversos hongos de los géneros *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Curvularia* y *Scopulariopsis* (Beneke y Rogers, 1970). Sin embargo, estos registros indican a

Fusarium solani como la especie más frecuente, aunque también se registra a *F. oxysporum* como un hongo causante de esas infecciones.

También se registran infecciones en uñas humanas ocasionadas por *Fusarium solani*, *F. oxysporum* y otras especies del género *Fusarium* (Rebell, 1981).

En pacientes inmunocomprometidos se registran infecciones sistémicas ocasionadas por hongos del género *Fusarium* (Rabodonirina *et al.*, 1994), lo mismo que en pacientes después de operaciones de trasplante de médula (Ellis, *et al.*, 1994).

En estudios de análisis de riesgos, las pruebas toxicológicas realizadas por Gullino y Migheli (1999) al aplicar aislamientos no patogénicos de *F. oxysporum* para el control de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* en clavel, no se observaron efectos en células germinales y epiteliales del hígado del hamster chino, ni toxicidad en larvas del crustáceo *Artemia salina*. Tampoco se observó producción de metabolitos tóxicos o de sustancias mutagénicas por esporas de *Fusarium oxysporum* ni por filtrados de cultivos del mismo hongo. Como resultado de la manipulación de estos hongos en el laboratorio no se presentaron casos de alergia en las personas que realizaron los trabajos de investigación en el laboratorio y en el campo.

LITERATURA CITADA

- BURITICA, P. Las enfermedades de las plantas y su ciencia en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agronomía, Medellín. 1999.
- CAMARGO, O., J.C. SANABRIA, G. ARBELÁEZ y J. OSPINA. Influencia del tipo de planta, respuesta del hospedante a la infección y tratamiento del suelo sobre la dinámica de la población de *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* en un suelo colombiano. *Agronomía Colombiana* 11: 118-130. 1994.
- CHARUDATTAN, R. y C.J. DE LOACH. Management of pathogens and insects for weed control in agroecosystems. p. 245-264. En M.A. Altieri and M. Liebman (eds.). *Weed management in agroecosystems. Ecological approaches*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 1988.
- CHARUDATTAN, R. The mycoherbicide approach with plants pathogens. p. 24-57. En D.Q. TeBeest (ed.). *Microbial control of weeds*. Chapman and Hall. New York. 1991.
- CHO, J.J., R.F.L. MAU, T.L. GERMAN, R.W. HARTMANN, L.S. YUDIN, D. GONSALVES and R. PROVVIDENTI. A multidisciplinary approach to management of Tomato Spotted Wilt Virus in Hawaii. *Plant Disease* 73: 375-383. 1989.
- CONNICK, W.J., D.J. DAIGLE, A.B. PEPPERMAN, K.P. HEBBAR, R.D. LUMSDEN, T.W. ANDERSON y D.C. SANDS. Preparation of stable granular formulations containing *Fusarium oxysporum* pathogenic to narcotic plants. *Biological control* 13: 79-84. 1998.
- COOK, R.J. y K.F. BAKER. The nature and practice of biological control of plant pathogens. *The American Phytopathological Society*. St. Paul. 1981.
- ELLIS, M.E., H. CLINK, D. YOUNGE y B. HAINAU. Successful combined surgical and medical treatment of *Fusarium* infection after bone marrow transplantation. *Scandinavian Journal of Infectious Disease* 26: 225-228. 1994.
- FARR, D.F., G.F. BILLS, G.P. CHAMURIS y A.Y. ROSSMAN. *Fungi on plants and plant products in the United States*. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. 1989.

- FRAVEL, D. Commercial biocontrol products for use against soilborne crop diseases. <http://www.barc.usda.gov/psi/bpdl/bioproduct.htm>. 1998.
- FUCHS, J.G., Y. MOENNE-LOCCOZ y G. DEFAGO. Nonpathogenic *Fusarium oxysporum* strain Fo47 induces resistance to *Fusarium* wilt of tomato. *Phytopathology* 81: 492-496. 1997.
- GARIBALDI, A. Race differentiation in *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* (Prill. et Del.) Syd. et Hans. First Contribution. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 40: 531-537. 1975.
- GARIBALDI, A., F. BRUNATTI y M.L. GULLINO. Suppression of *Fusarium* wilt of carnation by competitive non pathogenic strain of *Fusaria*. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 51 (2b): 633-638. 1986.
- GULLINO, M.L. y Q. MIGHELI. Risk analysis in the release of biological control agents: antagonistic *Fusarium oxysporum* as a case of study. *Acta Horticulturae* 482: 145-151. 1999.
- HERNANDEZ, J., G. ARBELAEZ, H. JUNCA, M. POSADA y P. DEL PORTILLO. Identificación de marcadores genéticos del agente causal del marchitamiento del clavel *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* mediante aplicación arbitraria de fragmentos polimórficos de ADN. *Revista Colombiana de Biotecnología* 1: 51-57. 1998.
- JONES, J.B., J.P. JONES, R.E. STALL y T.A. ZITTER. Compendium of tomato diseases. The American Phytopathological Society Press. St. Paul. 1997.
- KISTLER, H.C. Genetic diversity in the plant-pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Phytopathology* 84: 474-479. 1997.
- LEMANCEAU, P., P.A.H.M. DE KOGEL, C. ALABOUVETTE y B. SCHIPPER. Antagonistic effect of nonpathogenic *Fusarium oxysporum* Fo47 and pseudobactin 358 upon pathogenic *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi*. *Applied Environmental Microbiology* 59: 74-82. 1993.
- NELSON, P.E. Life cycle and epidemiology of *Fusarium oxysporum*. p. 51-80. En M.E. Mace, A.A. Bell and C.H. Beckman (eds.). *Fungal wilt diseases of plants*. Academic Press. New York. 1981.
- NELSON, P.E. Taxonomy of fungi in the genus *Fusarium* with emphasis on *Fusarium oxysporum*. p. 27-35. In R.C. Ploetz (ed.). *Fusarium wilt of banana*. American Phytopathological Society Press. St. Paul. 1990.
- OGAWA, K. y H. KOMADA. 1984. Biological control of *Fusarium* wilt of sweet potato by non-pathogenic *Fusarium oxysporum*. *Ann. Phytopathol. Japan* 50: 1-9.
- PARDO, V.M. Hongos fitopatógenos de Colombia. Centro de Publicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 1995.
- PAULITZ, T.C., C.S. PARK y R. BAKER. Biological control of *Fusarium* wilt of cucumber with nonpathogenic isolates of *Fusarium oxysporum*. *Canadian Journal of Microbiology* 33: 349-353. 1987.
- POSTMA, J. y H. RATTINK. Biological control of *Fusarium* wilt of carnation with a nonpathogenic isolate *Fusarium oxysporum*. *Canadian Journal of Botany* 70: 1199-1205. 1992.
- RABODONIRINA, M., M.A. PIENS, M.F. MONIER, E. GUÉHO, D. FIERE y M. MOJON. *Fusarium* infections in immunocompromised patients: case reports and literature review. *European Journal of Clinical Microbiological Infectious Disease* 13: 152-161. 1994.
- REBELL, G. *Fusarium* infections in human and veterinary medicine. p. 210-220. En P.E. Nelson, T.A. Toussoun and R.J. Cook (eds.). *Fusarium: diseases, biology and taxonomy*. Pennsylvania State University Press. University Park and London. 1981.
- RODRIGUEZ, J.C., R. RODRIGUEZ, J. ROJAS, J.L. SANCHEZ y G. ARBELAEZ. Control biológico del marchitamiento vascular del clavel ocasionado por *Fusarium oxysporum* f.sp. *dianthi* con aislamientos no patogénicos de *Fusarium oxysporum*. *Agronomía Colombiana* 10: 62-67. 1993.
- SANDS, D.C., E.J. FORD, R.V. MILLER, B.K. SALLY, M.K. MCCARTY, T.W. ANDERSON, M.V. WEAVER, C.T. MORGAN, A.L. PILGERAM y L.C. DARLINGTON. Characterization of a vascular wilt of *Erythroxylum coca* caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *erythroxyli* Forma Specialis Nova. *Plant Disease* 81: 501-504. 1997.
- SCHUMANN, G.L. *Plant diseases: their biology and social impact*. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota. 1991.
- SNYDER, W.C. y H.N. HANSEN. The species concept in *Fusarium*. *American Journal of Botany* 27: 64-67. 1940.
- STOVER, R.H. *Fusarium* wilt of banana: some history and current status of the disease. p. 1-7. En R.C. Ploetz (ed.). *Fusarium wilt of banana*. The American Phytopathological Society Press, St. Paul. 1987.
- TEMPLETON, G.E. y D.K. HEINY. Mycoherbicides. p. 279-286. In R.R. Baker and P.E. Dunn (eds.). *New directions in biological control. Alternatives for suppressing agricultural pest and diseases*. Alan R. Liss. New York. 1990.
- VESONDER, R.F. y C.W. HESSELTINE. Metabolites of *Fusarium*. p. 350-364. En P.E. Nelson, T.A. Toussoun and R.J. Cook (eds.). *Fusarium: diseases, biology and taxonomy*. Pennsylvania State University Press. University Park and London. 1981.