

# La Fusariosis de la JUDÍA

Por: Fernando M. Alves Santos\* y Ana B. Monteagudo\*

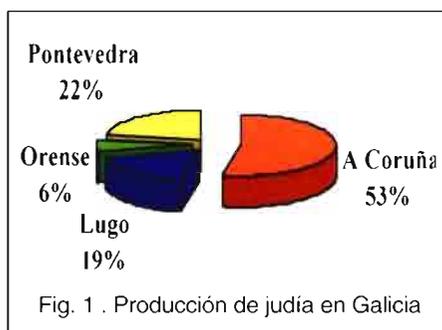
## INTRODUCCIÓN

Una de las fuentes de proteína de origen vegetal importantes en la alimentación humana la constituye la judía común (*Phaseolus vulgaris* L.). Esta es una especie que se caracteriza principalmente por su versatilidad, pudiendo ser cultivada tanto por sus vainas verdes, como por sus granos secos y tiernos (Singh, 1999). En general, en los países desarrollados se consume principalmente la vaina verde, por su alto contenido en vitaminas y menor aporte calórico, y en los países en vías de desarrollo se consume de forma mayoritaria la judía grano, que constituye la base diaria del aporte proteico de la población.

Además de sus propiedades nutritivas, la judía posee acción fertilizante debido a su capacidad de asociación con bacterias que fijan Nitrógeno atmosférico, lo cual es de gran interés agronómico, reduciendo el uso de fertilizantes químicos más costosos y con mayores repercusiones para el medio ambiente.

El cultivo de la judía común es uno de los más importantes en el Noroeste de España, ocupando en Galicia una superficie de 23.958 ha y con una producción de 31.107 toneladas en el año 1996 (MAPA, 1999). Destaca A Coruña como la provincia más productora seguida de Pontevedra (Fig.1).

Se cultivan unas 2428 ha en monocultivo (Fig.2) y 20.286 ha en cultivo asociado con maíz (MAPA, 1999), que es la forma más tradicional del cultivo de la judía en Galicia. Este tipo de cultivo asociado con maíz permite un uso intensivo del terreno, destinando el maíz para el alimento del ganado y la



bido a los efectos competitivos que se establecen entre ambos cultivos, y una difícil mecanización del cultivo.

A pesar de que la judía es un alimento de gran valor nutritivo, no se cultiva en algunas zonas potencialmente favorables, e incluso, se ha reducido la superficie cultivada. Este desinterés es debido a que el cultivo se ve limitado por diferentes factores, tanto biológicos como abióticos (Tabla 1). Entre los fac-



Fig. 2 . Cultivo de judía

judía para el autoconsumo o el comercio en mercados locales. Por otra parte ejerce un mejor control sobre las malas hierbas, protege al suelo de la erosión y proporciona un mejor almacenamiento de agua. Sin embargo, existen una reducción del rendimiento de la judía de-

tores biológicos destacan numerosas enfermedades víricas, bacterianas y fúngicas, y plagas de insectos, que causan grandes pérdidas de producción del cultivo. Entre los factores abióticos destacan la sequía y el frío en determinados momentos del ciclo vegetativo y

(\*)Grupo de Mejora de Leguminosas. Misión Biológica de Galicia- CSIC. Pontevedra

Tabla 1. Factores limitantes de la producción de judía común de importancia regional y mundial (Singh, 1999).

FACTOR LIMITANTE	OCURRENCIA	PÉRDIDA DE RENDIMIENTO (%)
<b>Abióticos</b>		
- Sequía	Global	10-100
- Baja fertilidad	Global	30-100
<b>Bióticos</b>		
<i>Enfermedades</i>		
- Virus del mosaico común	Global	50-70
- Virus del mosaico amarillo	Argentina, Brasil, Caribe, Mesoamérica	50-90
- Bacteriosis común	Global	20-50
- Bacteriosis de halo	África, Europa, Norteamérica y Latinoamérica	20-50
- Mancha angular	África, Latinoamérica	40-80
- Antracnosis	Global	10-100
- Hongos de la raíz	Global	10-90
- Roya	Global	40-80
- Moho blanco	Brasil, Argentina, Norteamérica	30-90
<i>Insectos</i>		
- Mosca de la judía	África	30-100
- Picudo de la vaina	México, Centroamérica	10-80
- Gorgojo	Global	10-40
- Salta hojas	Global	10-100

Existen en nuestros campos dos especies que afectan a la judía, *F. oxysporum* que produce la enfermedad antes mencionada y *F. solani*, que produce el llamado "mal de pie", aunque en esta enfermedad esta implicado un complejo fúngico formado por diversas especies (*Phytium*, *Rizoctonia*, etc). La fusariosis vascular se produce cuando *F. oxysporum* encuentra una vía de acceso a la planta. Estas vías están constituidas por heridas en las raíces que pueden ser producidas por las labores propias del agricultor, por la acción de nematodos, o por factores como el exceso de riego que producen una asfixia radicular que debilita la raíz y favorece el desarrollo de microorganismos anaerobios. En el interior de la planta el hongo se va desarrollando, colapsando los haces vasculares que adquieren tonos marrones. La falta de agua y nutrientes provoca el decaimiento de la planta y la muerte. (Fig. 3)

#### LA SINTOMATOLOGIA

La sintomatología externa no es definitiva de la enfermedad pues muchos síntomas son compartidos por otras enfermedades y factores abióticos. Así, un amarilleamiento de las hojas puede ser producido por virus, aunque estos suelen provocar un moteado y un enrollamiento de las hojas, por carencias de

que dan lugar a rendimientos bajos e inestables (Singh, 1999).

Existen numerosas enfermedades que pueden afectar a la judía; algunas como la antracnosis, el virus de mosaico de la judía (BCMV), la bacteriosis común y el moho blanco pueden ocasionar pérdidas muy graves y son muy importantes a nivel global. Otras enfermedades como la virosis del mosaico dorado de judía (BGMV) y el mal de esclerocio pueden ser graves en localizaciones geográficas específicas. La fusariosis vascular puede englobarse dentro del segundo apartado y aunque la aparición es ocasional, las pérdidas pueden ser muy severas.

#### LA FUSARIOSIS VASCULAR

La fusariosis es una enfermedad producida por el hongo *Fusarium oxysporum*. Se denomina específicamente fusariosis vascular por la sintomatología que presenta; de este modo, la invasión de los haces vasculares por el hongo da lugar a este apelativo, mientras que el aspecto general de las plantas es el ori-

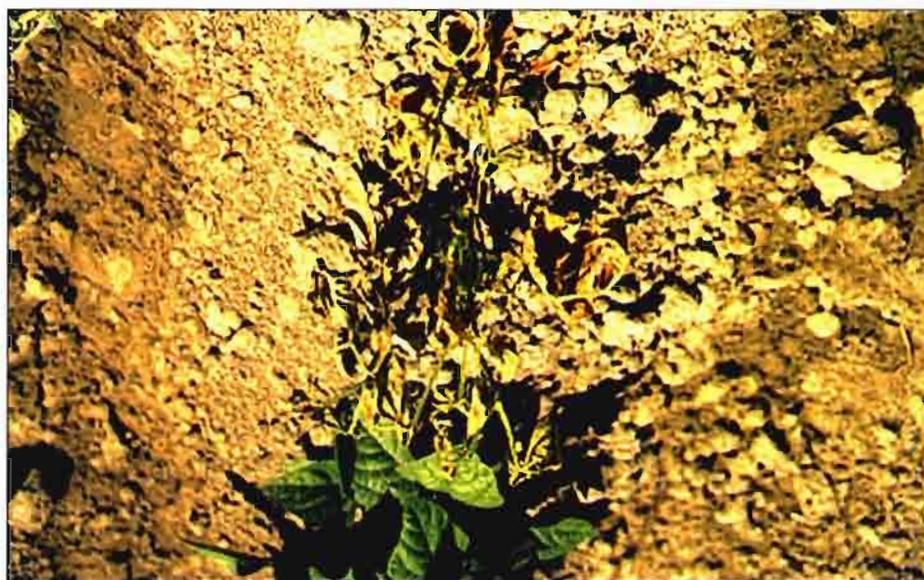


Fig. 3. Planta de judía afectada de fusariosis

gen de diversas denominaciones como "seca", "quemada" o "rastrojera" de la judía, así como su nombre en inglés "Fusarium wilt" que hace referencia al decaimiento y marchitez de la planta.

sales, o por un exceso o defecto de riego. Aunque las clorosis suelen ser un síntoma de carácter general que indica que la planta no está bien, algunos detalles pueden indicar el origen de dicha

clorosis. Tal como hemos dicho, las virosis suelen ir acompañadas de deformaciones foliares (aunque también lo pueden producir insectos), las bacteriosis suelen aparecer como manchas que se van extendiendo, y en el caso de la fusariosis vascular, las hojas presentan un estado de laxitud y falta de turgencia que las hace colgar de modo inconsistente. La característica propia de la fusariosis vascular es la decoloración de los haces vasculares que presentan un color entre rojizo y marrón, fácilmente observable mediante un corte oblicuo del tallo. (Fig. 4)

Una vez que el hongo ha penetrado en la planta resulta imposible detenerlo, salvo por la propia planta. Si el ataque es tardío y la planta está bien desarrollada, puede, en algunas ocasiones, llegar a buen término aunque con una producción reducida. Sin embargo, cuando la planta es joven, el hongo invade completamente los haces vasculares y la planta muere en pocos días.

#### LOS CULTIVOS HOSPEDADORES

El género *Fusarium* es, en su conjunto, un género de distribución cosmopolita, y es destacable su elevada presencia en los suelos de todo el mundo. Una de sus características propias del género es la formación de macroconidios de forma ahusada o fusiforme que han dado origen a su nombre (del latín *fusis* = huso).

Podemos distinguir dos tipos principales de enfermedades: la marchitez o decaimiento ("wilt") cuyos mejores representantes son *Fusarium oxysporum* y ciertas especies de *Gibberella* (estado teleomórfico de algunas especies de *Fusarium*) que afectan numerosos cultivos de interés como flores ornamentales (clavel, crisantemo, gladiolo, etc.), algodón, tabaco, plátano, café,

caña de azúcar, maíz, cucurbitáceas, leguminosas, plantagináceas, cereales e incluso algunas especies arbóreas. Destacan por la gravedad de las pérdidas los ataques producidos en invernadero, donde la elevada humedad y alta temperatura favorecen el desarrollo de la enfermedad.

El otro tipo de enfermedad correspondiera a las pudriciones, sobre todo radiculares. El representante más característico productor de esta enfermedad es *Fusarium solani*, que suele aparecer asociado con otras especies como *Phytophthora*, *Rhizoctonia* y algunas otras especies de *Fusarium*, dando lugar a una enfermedad compleja (Tello-Marquina et al., 1985). Producen importantes pérdidas en cultivos como la judía, espárrago, cebolla, patata, solanáceas, cucurbitáceas y plantas ornamentales, y son frecuentes oportunistas en plantas cuyo sistema radicular se encuentre debilitado.

Existen numerosos casos en que las fusariosis de uno u otro tipo están muy localizadas y están asociadas de forma endémica a determinados cultivos, resultando devastadoras. Destacan por su importancia económica los ataques de *F. moniliforme* sobre sorgo y maíz y de *F. javanicum* sobre cucurbitáceas.

Uno de los hechos más destacables de este género es el amplio rango de cultivos que puede afectar. Sin embargo, las especies son más específicas en el rango de hospedadores. Analizando esta especificidad dentro de cada especie se pueden clasificar distintas formas especiales que se caracterizan por atacar a una sola especie de planta o a un número reducido de especies. Se pueden subdividir estas formas especiales en razas. Las distintas razas se caracterizan por ser capaces de afectar a determinadas variedades de un cultivo y no a otras, de forma que la res-

puesta de un conjunto de variedades frente al patógeno nos permite clasificarlo dentro de una u otra raza. Un claro ejemplo de estas características de especificidad es *Fusarium oxysporum* con más de 70 formas especiales (Kistler, 1997). (Fig. 5)

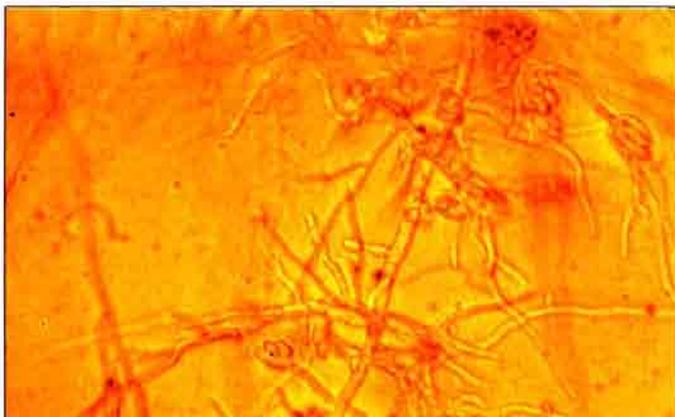
*Fusarium* como género es capaz de afectar a una gran variedad de plantas. En algunos casos se comportan como patógenos muy específicos mientras que en otros actúan como oportunistas o combinados con otros organismos.

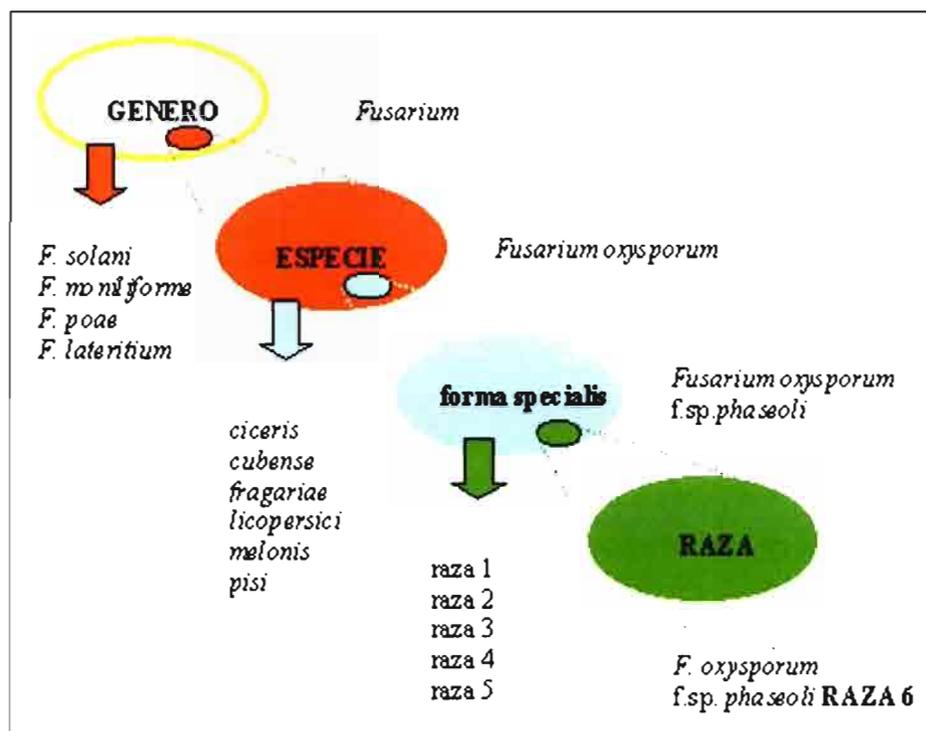
#### LAS TOXINAS

En muchos casos la gravedad de los daños ocasionados por *Fusarium* deriva de la producción de toxinas. Las toxinas producidas por *Fusarium* pueden clasificarse en dos grupos principales. El primero son las zearalenonas producidas por especies como *F. roseum*, *F. moniliforme* y *F. tricinctum* que se acumulan en semillas que sirven de alimento al ganado. La ingesta de estas toxinas produce malformaciones y procesos degenerativos del sistema reproductor en cerdos que pueden llevar a la muerte del animal; también se ven afectados pollos, vacas y ovejas. El segundo grupo son los tricotecenos que producen inhibición de la síntesis proteica en eucariotas. Son producidas por especies como *F. sporotrichoides*, *F. poae*, *F. crookwellense*, *F. culmorum*, *F. graminearum* y *F. sambucinum*. Estas toxinas contaminan alimentos como maíz, trigo, cebada, centeno y arroz pudiendo afectar a animales y humanos.

La posibilidad de producir micosis en el hombre es limitada aunque tiene bastante importancia como hongo oportunista en pacientes inmunodeprimidos y existen casos documentados de infecciones oculares como queratitis micótica o endoftalmítis. Sin embargo, los mayores problemas son los originados por la ingestión de alimentos contaminados con determinadas toxinas producidas por *Fusarium*. Cabe destacar por su importancia las fumonisinias producidas principalmente por *F. moniliforme* y *F. proliferatum*. Estas micotoxinas se han manifestado como hepatotóxicas, nefrotóxicas, embriotóxicas, inmunosupresivas y carcinogénicas. Los estudios indican que producen edemas pulmonares, encefalomalacia y cáncer hepático en cerdos, caballos y ratas, y los datos epidemiológicos permiten asociarlas al cáncer de esófago.

Fig. 4 . Corte longitudinal de un tallo de judía enferma.



Fig. 5. Esquema de especificidad de *Fusarium*

go en humanos. Otras toxinas producidas por *Fusarium*, como la apicidina, actúan como factores hemorrágicos.

## EL HONGO

*F. oxysporum* es un hongo filamentoso que se distingue por la presencia de monofálidas conidiogénicas cortas, es decir por hifas productoras de esporas de poca longitud y no ramificadas; el caso contrario, el de hifas largas y en ocasiones ramificadas es propio de otra de las especies más abundante en el suelo como es *F. solani*. (Fig. 6 y 7)

*Fusarium oxysporum* Schlecht.:Fr es un hongo del suelo que incluye tanto estirpes no patogénicas como patogénicas de importancia económica. Todas ellas pueden vivir en el suelo de forma saprofitica alimentándose de materia orgánica muerta.

Aunque *F. oxysporum* tiene un amplio rango de hospedadores, las estirpes individuales son parásitos especializados de un número limitado de especies hospedadoras. El rango de hospedadores ha sido usado para subdividir esta especie en grupos de patógenos específicos, designados como formae especiales (Snyder y Hansen, 1940). En España una de las formae especiales mejor estudiadas es la que afecta al garbanzo (*Cicer arietinum* L.) en los cultivos del Sur del país (Jiménez-Díaz, 1994). Se han descrito en *F. oxysporum* f.sp. cice-

ris hasta siete razas (Singh y Jiménez-Díaz, 1996). Otras fusariosis se han descrito en cultivos de melón y sandía en Andalucía (González-Torres et al., 1988) y en cultivos de altramuz (*Lupinus*) en Castilla y León (Tello-Marquina et al. 1993).

El agente causante de la fusariosis vascular de la judía es la forma especial *phaseoli* de *F. oxysporum*. La primera descripción de la fusariosis vascular de la judía fue realizada en 1928 en California por Harter y la caracterización del patógeno fue realizada en 1942 por Kendrick y Snyder (Kendrick y Snyder, 1942). Desde entonces hasta las más recientes descripciones de fusariosis vascular de judía en distintos países africanos, se han ido describiendo en numerosas partes del mundo donde se cultiva judía. En este tiempo se han clasificado distintas razas en función de la capacidad de afectar diferentes

variedades testigo de judía (*Phaseolus vulgaris* L.) (Tabla 2).

## LA INCIDENCIA

La incidencia de la enfermedad a nivel mundial es bastante importante en países como los Estados Unidos de América y es grave en Brasil que es el primer productor mundial de judía (*Phaseolus vulgaris*) con una superficie cultivada de casi cinco millones de hectáreas. En España la incidencia parece limitada a zonas concretas. Aunque ocasionalmente pueden darse casos de fusariosis vascular en cualquier punto del territorio nacional, estos suelen ir acompañados por pudriciones radiculares asociadas a hongos del tipo *F. solani* y sobre todo determinadas por malas prácticas agrícolas o por condiciones ambientales de elevadas temperatura y humedad como puede ser el caso de los invernaderos. En España, las primeras descripciones de enfermedad vascular de la judía se realizaron en 1926 por Benlloch y Cañizo (Benlloch y Cañizo, 1926) y en 1973 por Tusset-Barrachina (Tusset-Barrachina, 1973). En estudios de microflora de judía en Asturias se han obtenido aislados de *F. oxysporum* con una escasa capacidad patogénica (Tello-Marquina et al., 1990).

El caso mejor documentado es la zona de El Barco de Avila donde se cultivan judías de gran calidad (con Denominación Específica de Calidad) desde hace muchas décadas. Ha existido conciencia de la misma durante mucho tiempo pero hasta la última década no se ha aislado el agente causal de la enfermedad, que es el indicativo de que se trata de una micosis vascular producida por *F. oxysporum* f. sp. *phaseoli*. (Díaz-Mínguez et al., 1996)

La incidencia de la enfermedad es variable según las diferencias climáticas anuales y según las prácticas de cada agricultor. Sin embargo, es notable como el tipo de riego puede ayudar

Tabla 2. Determinación de las razas de *F. oxysporum* según su respuesta frente a variedades testigo

Variedades testigo	Raza 1 S. Carolina	Raza 2 Brasil	Raza 3 Colombia	Raza 4 Colorado	Raza 5 Grecia	Raza 6 España
A211	S	S	R	S	S	S
BAT477	S	R	R	S	S	S
Calima	R	R	S	S	R	S
IPA1	R	S	R	S	S	S
HF-465-63-1	R	R	R	R	R	S

R: Resistente S: Susceptible

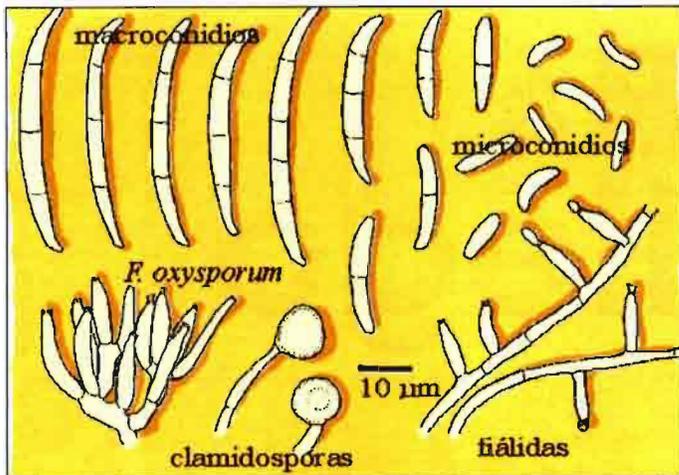


Fig. 6 . Esquema de la morfología de *F. oxysporum*

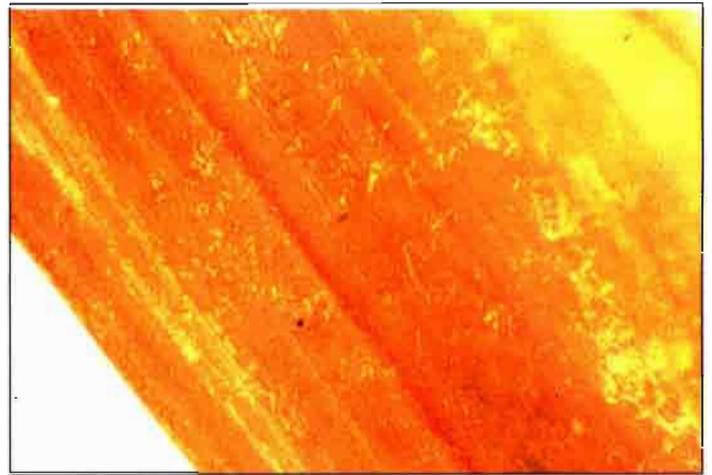


Fig. 7 . Vista microscópica de *F. oxysporum*

al ataque del hongo. El riego, en esta zona de la vertiente Norte de la Sierra de Gredos, se hace mediante inundación. Tal y como hemos explicado anteriormente, esto provoca, en las zonas donde el agua queda retenida, una asfíxia radicular que favorece la entrada de *Fusarium*. En regiones como León, el riego de la judía se realiza por aspersión que no provoca el encharcamiento del suelo y los casos de fusariosis vascular son raros y en ninguno se ha aislado el patógeno. La importancia de la enfermedad es considerable pues la producción de judía se ve limitada en la mayoría de los casos por debajo de los 600-700 kilogramos por hectárea, lo que está muy por debajo de un rendimiento aceptable que correspondería al doble de esta cantidad.

## EL CONTROL DE LA ENFERMEDAD

La salud de las plantas es un factor fundamental en el control de esta enfermedad, ya que las plantas debilitadas son mucho más susceptibles. El control químico es difícil al tratarse de un hongo residente en el suelo. El tratamiento del suelo es muy drástico afectando a la microflora residente, muchas veces resulta ineficaz por no alcanzar profundidad suficiente y en general podríamos decir que el presupuesto de este tipo de tratamientos es muy elevado, sobre todo teniendo en cuenta la escasa probabilidad de éxito. Sin embargo, otros tratamientos que permitan el control de otras enfermedades, así como una semilla sana, son apropiados ya que favorecen el desarrollo de plantas fuertes frente al ataque de *Fusarium*.

La eficacia de *Fusarium* como colonizador de las raíces de las plantas así como su resistencia y permanencia en el suelo, convierten las especies no patógenas en organismos muy adecuados para el control biológico. Existen varias formas de reducir la gravedad de la enfermedad y de ejercer un control biológico sobre la misma. Una de ellas es la inducción de resistencia en las plantas. Se ha comprobado en plantas de tomate que el contacto con aislados de *F. oxysporum* no patógenos incrementan la actividad enzimática de quitinasa, glucanasa y glucosidasa en las plantas. Esto protege a la planta frente a un posterior ataque del patógeno. Este caso no es único y existen referencias de casos similares donde un aislado no patógeno es capaz de inducir resistencia sistémica inducida en las plantas (Larkin et al., 1996).

Diversos estudios demuestran que los organismos más efectivos en el control de la fusariosis son los aislados no patógenos de *Fusarium*, produciendo una reducción de la enfermedad muy superior a la originada por otros organismos como *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Pseudomonas* (Larkin et al., 1996). Otros estudios han mostrado la posibilidad de una acción combinada de organismos como las bacterias, que pueden ejercer una presión competitiva especialmente cuando se combinan con aislados no patógenos de *Fusarium*. Tal es el caso de *Pseudomonas* spp. y *Fusarium* spp. no patógenos, donde el hongo saprófito compite por las fuentes de carbono y la bacteria por el hierro.

El sistema más eficaz de controlar la enfermedad es la utilización de variedades de judía resistentes al patógeno.

Sirva de ejemplo la tabla en que definimos las distintas razas de *F. oxysporum* f.sp. *phaseoli*; podemos apreciar que distintas variedades presentan distintas resistencias. Diversos estudios han mostrado que alguna de estas resistencias está asociada a un gen o dos. De este modo, se podría utilizar esta resistencia monogénica en programas de mejora, incorporando los genes de resistencia a la variedades de judía de interés. Igualmente, podemos apreciar que ante la raza 6, que corresponde a nuestro país, no se ha encontrado, hasta el momento, variedad que resista su ataque, lo que imposibilita una mejora genética al carecer de una fuente de resistencia. Los ensayos realizados no se limitan a las cinco variedades testigo sino que se han extendido a cuantiosas variedades, sin que por el momento haya aparecido una resistencia clara a los patógenos españoles. Sin embargo, cabe esperar que con el empleo de un mayor número de variedades aparezcan plantas resistentes que permitan una mejora genética de la resistencia a la fusariosis vascular. De ahí, podemos inferir la importancia de la colección de germoplasma de la Misión Biológica de Galicia donde se encuentran más de un millar de entradas tanto variedades locales de todo el territorio español como variedades extranjeras de distintos orígenes geográficos.

## AGRADECIMIENTOS

A los Dres. A. Pérez Eslava y J.M. Díaz Mínguez del Centro Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias-Univ. Salamanca y a los Dres. A.M. de Ron y M. Santalla de la Misión Biológica de Galicia - CSIC.