

# FITOPATOLOGÍA

Publicación oficial de la Sociedad Española de Fitopatología



Año 2020

Número 5



AÑO INTERNACIONAL DE LA  
SANIDAD VEGETAL

2020



PROTEGER LAS PLANTAS,  
PROTEGER LA VIDA

## CONTROL DE ENFERMEDADES DE PLANTAS

Normativa

Prácticas  
culturales

Tratamientos  
físicos y químicos

Control  
biológico

Resistencia  
del huésped

Identificación y epidemiología  
de fitoplasmas  
en frutales y vid en España

Entrevista al  
Dr. FERNANDO ROMERO MUÑOZ

Desinfestación de suelo en el  
cultivo de la fresa

# Contenido



**PRESENTACIÓN** por el Presidente de la SEF ---- **4**  
(VICENTE PALLÁS)

**ARTÍCULOS DE REVISIÓN** ----- **6**

- I. Control de las virosis ----- **6**  
(Por ENRIQUE MORIONES y JUAN ANTONIO DÍAZ-PENDÓN)
- II. Manejo integrado de enfermedades de las plantas causadas por bacterias fitopatógenas -- **12**  
(Por ANNA BONATERRA y EMILIO MONTESINOS )
- III. Control de enfermedades causadas por hongos y oomicetos en cultivos agrícolas ----- **20**  
(Por CARLOS LÓPEZ-HERRERA y JOSÉ MARÍA MELERO-VARA)
- VI. Control de enfermedades de plantas causadas por nematodos ----- **28**  
(Por ARIADNA GINÉ, NURIA ESCUDERO y FRANCISCO JAVIER SORRIBAS)

**HISTORIAS DE FITOPATOLOGÍA** ----- **35**

- Desinfestación de suelo en el cultivo de la fresa en la provincia de Huelva ----- **35**  
(Por MIGUEL TALAVERA, JUAN JESÚS MEDINA, LUIS MIRANDA y BERTA DE LOS SANTOS)
- Identificación y epidemiología de fitoplasmas en frutales y vid en España ----- **39**  
(Por ASSUMPCIÓ BATLLE y AMPARO LAVIÑA)

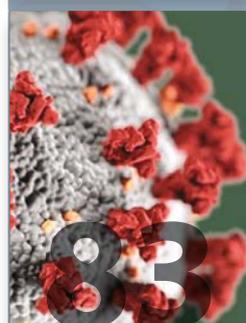
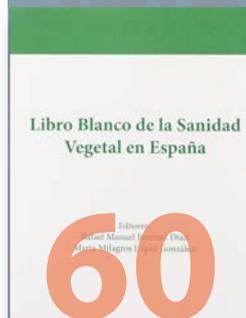
**ENTREVISTA** ----- **47**

... al Dr. Fernando Romero Muñoz ----- **47**  
(Por NIEVES CAPOTE)

**COMENTARIOS DE ARTÍCULOS** ----- **55**

- Uso de hongos formadores de setas para prevenir y reducir micotoxinas en productos cereales ----- **55**  
(Por ANA AGUADO)
- El metabolismo de las feromonas de nematodos en plantas media las interacciones planta-nematodo ----- **56**  
(Por JAVIER CABRERA)
- Inmunidad antiviral en soja conferida por una dsRNasa que se localiza en los complejos de replicación virales ----- **57**  
(Por LIVIA DONAIRE)
- El hipovirus asintomático de *Cryphonectria parasitica*, CHV4, infecta de una forma más estable al hongo causante del chancro del castaño cuando lo coinfecta con MyRV2, un

|   |           |
|---|-----------|
| reovirus que parece suprimir los mecanismos de silenciamiento de ARN del hospedante<br>(Por JULIO JAVIER DIEZ CASERO)   | 58        |
| <b>COMENTARIOS DE LIBROS</b>  | <b>60</b> |
| • <i>Libro Blanco de la Sanidad Vegetal</i><br>(Por RAFAEL M. JIMÉNEZ-DÍAZ y MARÍA MILAGROS LÓPEZ)  | 60        |
| <b>NOTICIAS DE ACTUALIDAD</b>   | <b>62</b> |
| • Los investigadores de la RED DE INVESTIGACION “Aprendiendo de la naturaleza: interacciones multitróficas para la protección de cultivos y bosques” complementan sus capacidades y recursos dirigidos a un objetivo común<br>(Por ISABEL DÍAZ RODRÍGUEZ) | 62        |
| <b>TESIS DOCTORALES</b>   | <b>64</b> |
| <b>RESEÑAS SOBRE CONGRESOS Y REUNIONES CIENTÍFICAS</b>  | <b>66</b> |
| • <i>15<sup>th</sup> European Conference on Fungal Genetics</i><br>(Por SOLEDAD SACRISTÁN)  | 66        |
| • “ <i>Colletotrichum 2020</i> ” (simposio satélite en ECFG)<br>(Por SERENELLA A. SUKNO)  | 68        |
| <b>NUEVOS PATÓGENOS EN ESPAÑA octubre 2019 - septiembre 2020</b><br>(Por JUAN A. NAVAS-CORTÉS)  | 70        |
| <b>FITOPATOLOGÍA Y SOCIEDAD</b>   | <b>73</b> |
| • Todo un mundo vegetal a proteger<br>(Por JAUME ALMACELLAS)  | 73        |
| • Fitopatología en tiempos de pandemia<br>(Por ANTONIO VICENT y VICENTE PALLÁS)   | 83        |
| <b>IN MEMORIAM</b>  | <b>87</b> |
| • Cristina Noval<br>(Por CARMINA MONTÓN, JUANA I. PÁEZ y REMEDIOS SANTIAGO)   | 87        |
| • Giovanni P. Martelli<br>(Por MARIANO CAMBRA y VICENTE CONEJERO)   | 89        |
| <b>SOCIOS PROTECTORES</b>   | <b>91</b> |
| <b>CRÉDITOS</b>   | <b>97</b> |





Vicente Pallás

# Presentación



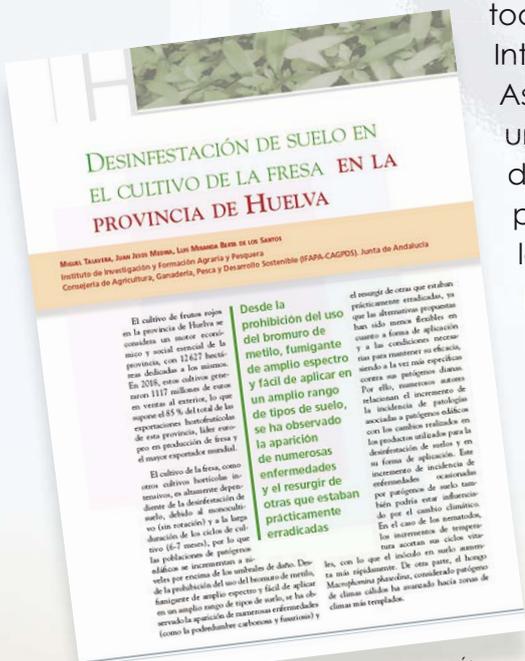
AÑO INTERNACIONAL DE LA SANIDAD VEGETAL

2020

preciados socios y amigos de la SEF,



Este es, sin duda, un año excepcional y atípico. Cuando escribo estas líneas deberíamos estar intercambiando ideas y experiencias en nuestro Congreso, cuya celebración estaba prevista este año en Valencia. El SARS-CoV-2 ha tenido, y lamentablemente continúa teniendo, un efecto demoledor en nuestra economía, relaciones sociales y actividades profesionales. Y todo ello en un momento en el que conmemoramos el Año Internacional de la Sanidad Vegetal, proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, y que constituía una oportunidad histórica para concienciar a la sociedad de la importancia de nuestro trabajo como fitopatólogos. A pesar de las dificultades en las que todos nos encontramos, la SEF, fiel a su compromiso con sus socios, tiene el placer de presentaros un nuevo número de nuestra revista que, en esta ocasión, hemos dedicado al **"Control de las enfermedades de plantas"**. Así, prestigiosos especialistas en la materia nos ofrecen una magnífica actualización sobre los métodos de control de las enfermedades causadas por virus (J. A. Díaz-Pendón y E. Moriones), bacterias fitopatógenas (A. Bonaterra y E. Montesinos), hongos y oomicetos (C. López-Herrera y J. M. Melero-Vara) y nematodos (A. Giné, N. Escudero y F. J. Sorribas).



Sección de HISTORIAS DE LA FITOPATOLOGÍA

En la sección HISTORIAS DE LA FITOPATOLOGÍA podréis encontrar un interesantísimo artículo sobre la Historia de la desinfección de suelo en el cultivo de la fresa en la provincia de Huelva, por B. de los Santos, M. Talavera, J. J. Medina y L. Miranda, y un no menos interesante recorrido histórico sobre la identificación y epidemiología de fitoplasmas en frutales y vid en España, por A. Batlle y A. Laviña.

En el apartado de FITOPATOLOGÍA Y SOCIEDAD encontraréis una detallada reflexión de J. Almacellas sobre el concepto de salud vegetal y la misión y responsabilidad que los laboratorios de Sanidad Vegetal tienen en la protección del mundo vegetal.



Sección de FITOPATOLOGÍA Y SOCIEDAD



En esta misma sección, A. Vicent y V. Pallás nos hablan sobre la incidencia de la pandemia en la Fitopatología y en los fitopatólogos.

En la ENTREVISTA a un fitopatólogo de relevancia y socio de la SEF, tenemos el placer de presentaros en este número a Fernando Romero Muñoz, exdirector del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil y vicepresidente de la SEF en dos periodos, que nos relata de manera pormenorizada su pasión por la Fitopatología y nos recuerda, de manera acertada, la necesidad de la conexión entre la investigación fundamental y la orientada.

En la sección que no nos gustaría tener que escribir nunca, *IN MEMORIAM*, queremos recordar a dos entrañables fitopatólogos que nos han dejado recientemente. La Dra. Cristina Noval Alonso, quien formó parte de la Junta gestora que redactó los estatutos de la SEF y de la que nos dan una acertada semblanza C. Montón, J. I. Páez y R. Santiago, y el Prof. Giovanni P. Martelli, presidente de la SIPV (la equivalente italiana a nuestra SEF) de 2002 a 2004, que ha tenido una relación muy estrecha con muchos de nuestros socios, entre ellos M. Cambra y V. Conejero, quienes nos escriben sobre su dilatada carrera profesional y sus entrañables relaciones personales.



En este número inauguramos una nueva sección que hemos denominado **SOCIOS PROTECTORES**, a los que queremos sinceramente agradecer su patrocinio y mediante la cual queremos darlos a conocer un poco mejor. En esta ocasión os presentamos a BELCHIM, CAMBRICO, BIOTECH, CITROSOL, COIAL, NEVAL, VALGENETICS y PLANTS.

Este último párrafo quiero dedicarlo a agradecer a todos los socios que han contribuido a secciones igualmente importantes tales como **RESEÑAS DE CONGRESOS** (S. Sacristán y S. A. Sukno), **COMENTARIOS DE ARTÍCULOS** (A. Aguado, J. Cabrera, L. Donaire, J. J. Diez Casero) y **LAS NUEVAS DESCRIPCIONES DE PATÓGENOS EN ESPAÑA** (J. A. Navas-Cortés).

Finalmente, reconocer el esfuerzo, mayor si cabe que en anteriores ocasiones, que Nieves Capote y Carmen Hernández han tenido que realizar en la revista en estas circunstancias tan delicadas. Espero que la disfrutéis y, sobre todo, cuidaos.

**Vicente Pallás**  
Presidente de la SEF

## Control de virus de plantas

ENRIQUE MORIONES ALONSO, es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente es profesor de investigación del CSIC y director del Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora". Su trabajo de investigación se centra fundamentalmente en enfermedades virales causadas por begomovirus (familia *Geminiviridae*) y crinivirus (familia *Closteroviridae*) que afectan al tomate. La actividad principal que lleva a cabo es el estudio de las epidemias, la diversidad genética y estructura de las poblaciones virales y su evolución, la búsqueda de estrategias de control de las infecciones incluida la resistencia genética y la comprensión de los mecanismos de patógenesis y de interacción virus-planta.

JUAN ANTONIO DÍAZ-PENDÓN es doctor ingeniero agrónomo por la Universidad de Córdoba. Actualmente

ENRIQUE MORIONES Y JUAN ANTONIO DÍAZ-PENDÓN

Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora"  
Universidad de Málaga-Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IHSM-UMA-CSIC) Estación Experimental "La Mayora". Algarrobo-Costa, Málaga

### Introducción

Los virus son parásitos intracelulares obligados que dependen de la maquinaria celular del huésped para su supervivencia. A pesar de los enormes esfuerzos en sanidad vegetal, las enfermedades virales siguen siendo muy difíciles de erradicar o controlar. Al contrario de otros microorganismos, como hongos o bacterias, no es posible aplicar tratamientos curativos contra los virus y en ello radica la dificultad de su control. La mayoría de las medidas de control que se adoptan son indirectas, orientadas a disminuir las fuentes de infección tanto dentro como fuera del cultivo, limitar la dispersión del virus o reducir los efectos de la infección sobre el rendimiento de la planta. Generalmente no se obtienen soluciones permanentes al problema, sino que es necesario ir revisando periódicamente las actuaciones a realizar. La única excepción de protección directa es la resistencia genética en las plantas cultivadas en los casos en los que existe de forma natural, o se ha incorporado por procesos de mejora genética clásica o por procesos biotecnológicos. Sin embargo, incluso en este caso la protección no suele ser definitiva, dado que pueden aparecer, con el tiempo, nuevas variantes virales capaces de superar la resistencia. Este último aspecto se ha estudiado en mucho detalle por ejemplo en el caso de los tobamovirus (género *Tobamovirus*, familia *Virgaviridae*) que afectan al pimiento<sup>[8]</sup>.

Los cultivos se ven afectados por un número cada vez mayor de enfermedades virales. Este aumento de la incidencia de

virus en el mundo probablemente se deba a la mejora de los métodos de identificación de virus de plantas, pero también son consecuencia de un cambio importante en los hábitos de cultivo tradicionales y del calentamiento global que puede tener un impacto drástico en poblaciones de los vectores. Por un lado, la globalización ha aumentado los intercambios de semillas y materiales vegetales en todo el mundo, lo que favorece el transporte y la introducción de nuevas virosis o vectores de virus a escala planetaria<sup>[3]</sup>. Por otro, existe una tendencia hacia una mayor homogeneidad genética del material vegetal que se utiliza en amplias áreas de cultivo, eliminando los policultivos tradicionales menos susceptibles a infecciones generalizadas. Además, la posibilidad de disponer de variedades adaptadas a un rango más amplio de condiciones ambientales, junto con una mejora en la gestión del agua, ha permitido ampliar los periodos de cultivo, con producciones más intensivas en cada época, así como el cultivo de las variedades en nuevas regiones geográficas. Todos estos factores, en conjunto, son los que han provocado un incremento en la importancia de las enfermedades virales y sus efectos dañinos en los cultivos, con frecuentes desarrollos explosivos de epidemias en zonas donde previamente no estaban descritas<sup>[5]</sup>.

En estas condiciones, es fundamental la adopción de medidas de control orientadas a disminuir los efectos de las virosis en los cultivos. En esta revisión se han considerado, por un lado, aquellos métodos

es científico titular adscrito al Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”. Su línea de investigación se centra en el estudio de las bases moleculares de las complejas interacciones que se dan entre los virus de plantas (tanto en el contexto de infecciones simples como mixtas), las plantas huéspedes y los insectos vectores. Para el estudio de dichas interacciones utiliza como modelo el virus del rizado amarillo del tomate (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV), el virus del amarilleo del tomate (*Tomato chlorosis virus*, ToCV), la mosca blanca *Bemisia tabaci* y el tomate (*Solanum lycopersicum* L.).

Uno de los principales factores que condicionan la precocidad de las epidemias de virus es la disponibilidad de fuentes de virus dentro del cultivo o en su entorno cercano

destinados a disminuir al mínimo la llegada del virus al cultivo, en base al control de las fuentes iniciales de inóculo y de su dispersión; y, por otro, las medidas basadas en la utilización de plantas más resistentes. Este último aspecto está recibiendo un fuerte impulso gracias al desarrollo de nuevas técnicas de ingeniería genética. Puesto que ninguno de los métodos de control aplicado aisladamente es totalmente eficaz, cada vez se da más importancia a la aplicación de sistemas de control integrado, cuya finalidad es el empleo de forma integrada de todas las estrategias de control disponibles<sup>[9]</sup>.

### Medidas sanitarias tendentes a reducir la cantidad de inóculo inicial

Uno de los principales factores que condicionan la precocidad de las epidemias de virus es la disponibilidad de fuentes de virus dentro del cultivo o en su entorno cercano. Como primera medida para controlar una virosis es indispensable la adopción de todas aquellas actuaciones que reduzcan al mínimo las posibilidades de que el virus llegue al cultivo y, por tanto, los focos primarios de infección. Estas medidas comprenderán tanto aspectos legislativos para limitar el movimiento de material infectado entre zonas o países, como medidas sanitarias sobre el material de partida (semillas, esquejes, bulbos, etc.) y eliminación de las fuentes de inóculo que puedan iniciar la expansión de la enfermedad.

La transmisión de los virus por las semillas es una forma muy eficaz para conservar el virus en el tiempo y en el espacio, y también de diseminación del virus a gran distancia, tanto dentro de un país como entre diversos países. En el caso de virus transmitidos por la semilla, las plantas procedentes de semillas infectadas proporcionan una fuente de virus dentro del cultivo desde la nascencia del mismo, que además está distribuida de forma dispersa por toda la superficie cultivada. Cuando la infec-

ción de las semillas es la única fuente de infección, o la más importante, y el cultivo puede realizarse en condiciones razonables de aislamiento de otras fuentes de infección, la utilización de semillas libres del virus puede proporcionar un medio muy efectivo para el control de una enfermedad viral.

En las especies vegetales de reproducción vegetativa, la situación es comparable a la de los virus transmitidos por semilla. La utilización de material de propagación infectado asegura una fuente de infección dentro del cultivo desde su implantación. Por ello, es esencial que las plantaciones se realicen con material sano libre de virus. Además, una vez que una planta se infecta, todo el material de propagación obtenido a partir de ella es portador del virus. El término “libre de virus” se usa para indicar que el material vegetal está libre de aquellos virus que han sido identificados y cuya presencia es discernible mediante pruebas diagnósticas. El material de propagación debe ser obtenido a partir de plantas libres de virus y debe ser objeto de inspección, al igual que el material de partida, estableciendo esquemas de certificación que permitan asegurar que está sano. Las plantas madre deben ser cultivadas en condiciones de aislamiento para protegerlas de infecciones posteriores y deben ser sometidas a controles y análisis periódicos para verificar que permanecen sanas. En especies frutales, tanto de pepita como de hueso, la utilización de material de propagación “libre de virus” es la base de los métodos de control, y en muchos países se han establecido programas de producción, certificación y distribución de dicho material.

Otras medidas de control que pueden contribuir a combatir ciertas enfermedades virales incluyen la erradicación del virus a través de prácticas culturales como la rotación de cultivos o barbechos, que pueden ser esenciales en el caso de virus persistentes en el suelo. También puede ser de utilidad el cambio de la fecha de siembra

En el caso de que la transmisión mecánica por el manejo de plantas sea significativa, son esenciales todas las medidas de manejo del cultivo dirigidas a limitar la dispersión a partir de los focos iniciales de infección

En el caso de virus transmitidos por artrópodos, las principales medidas están destinadas a reducir las poblaciones de vectores y prevenir o limitar el contacto de los individuos virulíferos con las plantas cultivadas

o plantación, alejándose de las épocas de máxima presión de infección, evitar el solape de cultivos susceptibles que favorece un mantenimiento continuo de infecciones virales, o la eliminación de fuentes de inóculo del propio cultivo y de huéspedes que pueden actuar como reservorios del virus y de sus vectores.

### Medidas tendentes a limitar la dispersión

Adoptadas las medidas para reducir la cantidad de inóculo inicial en el cultivo, es frecuente, a pesar de todo, la aparición de focos de infección. A partir de este momento, para controlar las epidemias, es indispensable la aplicación de medidas dirigidas a limitar la dispersión secundaria a partir de dichos focos primarios de infección.

En el caso de que la transmisión mecánica por el manejo de plantas sea significativa, son esenciales todas las medidas de manejo del cultivo dirigidas a limitar la dispersión a partir de los focos iniciales de infección. La transmisión mecánica o por contacto puede ocurrir, tanto durante la preparación de las plántulas en los viveros, como posteriormente, una vez instalado el cultivo en el campo, durante las operaciones



Daños ocasionados en el pimiento por las infecciones del virus del bronceado del tomate (*Tomato spotted wilt virus*, TSWV) (Fotografía tomada por los autores).

de poda, la manipulación de las plantas o al cosechar frutos. Una forma importante de prevenir la propagación del virus es mediante la limpieza cuidadosa de las manos, y la desinfección de la maquinaria y de las herramientas usadas en prácticas agrícolas o en áreas de almacenamiento.

La desinfección del suelo mediante productos químicos (cuando sea técnica y legalmente posible) o incluso mediante técnicas de solarización es el método más extendido para combatir hongos y nematodos, posibles vectores de virus en el complejo del suelo.

En el caso de virus transmitidos por artrópodos (insectos y ácaros, fundamentalmente), las principales medidas están destinadas a reducir las poblaciones de vectores y prevenir o limitar el contacto de los individuos virulíferos con las plantas cultivadas<sup>[4]</sup>. Esta acción se ha considerado durante mucho tiempo una de las principales formas de controlar los virus transmitidos por artrópodos, siendo el uso de plaguicidas el más popular. Sin embargo, la aparición de resistencias en las poblaciones de artrópodos a los plaguicidas empleados más frecuentemente, y el impacto negativo tanto en la salud humana como en el medio ambiente del uso intensivo de los mismos, han impulsado las estrategias encaminadas hacia el control biológico. Hoy en día, se han adoptado diferentes enfoques para el control biológico de los principales vectores de virus (pulgones, moscas blancas y *thrips* principalmente) y juegan un papel importante en el manejo de estas plagas. Otra medida muy interesante frente a virus transmitidos por estos insectos, en el caso de cultivos protegidos, es el uso de plásticos fotoselectivos que bloquean parte de la radiación ultravioleta (UV). Esta estrategia se basa en que los insectos necesitan la luz en la gama del UV para poder ver y orientarse y, por lo tanto, cuando los rayos UV están bloqueados, su comportamiento se ve afectado reduciéndose tanto la incidencia como la dispersión de los virus.

Una alternativa para proteger un cultivo frente a una infección viral es por medio del empleo de la resistencia genética al vector, utilizando plantas con características fenotípicas o fisiológicas que, de algún modo, reduzcan su atractivo a los vectores, o afecten a las poblaciones que se están desarrollando sobre ellas

Una alternativa para proteger un cultivo frente a una infección viral es por medio del empleo de la resistencia genética al vector, utilizando plantas con características fenotípicas o fisiológicas que, de algún modo, reduzcan su atractivo a los vectores, o afecten a las poblaciones que se están desarrollando sobre ellas (crecimiento, supervivencia, reproducción, etc.). Esta estrategia puede considerarse una vía indirecta de control basada en que la planta es menos susceptible a la infección y dispersión viral debido a que, de algún modo, el vector no se acerca o no se alimenta eficientemente reduciéndose así la eficiencia de adquisición y transmisión del virus y, por tanto, su dispersión. El empleo de esta opción tiene la ventaja de que ayuda a limitar la utilización de pesticidas, con los consecuentes efectos de protección del medio ambiente y la salud humana, respeto de los posibles enemigos naturales y eliminación de la presión selectiva sobre las poblaciones tratadas. Algunos mecanismos específicos se basan en la producción de volátiles y otros compuestos con propiedades tóxicas y repelentes que se producen y almacenan en tricomas glandulares o de exudados pegajosos, elevada pubescencia de las hojas, o características estructurales del tejido que dificultan el acceso del vector a los tejidos de la planta. Otros mecanismos se basan en la producción en la planta de sustancias denominadas “antialimentación” que, en ocasiones, se han empleado con éxito. En la naturaleza existen algunas sustancias que son tóxicas para algunos vectores. La localización del gen que controla la producción de dicha sustancia y su introducción en una planta para que la produzca constitutivamente es una vía para conferir resistencia frente a un vector que puede ayudar al control de las enfermedades virales transmitidas por el mismo. Un ejemplo es el caso de la proteína Tma12, del helecho *Tectaria macrodonta*, con efecto insecticida frente a moscas blancas. Sin embargo, existen limitaciones en el uso de este tipo de resistencias. Además, en algunos

casos, la resistencia al insecto no es suficiente para impedir las pruebas alimenticias y, por tanto, la dispersión de virus cuya adquisición y transmisión ocurre de forma rápida (transmisión no persistente). Cuando existen diferentes especies transmisoras del mismo virus, o una misma planta puede ser afectada por distintos virus, con vectores diferentes, resulta muy complicado conferir resistencias frente a todas estas posibilidades mediante el uso de resistencia al vector. El problema más importante se basa en la aparición, con relativa facilidad, de biotipos nuevos del vector que sobrepasan la resistencia incorporada. A pesar de las limitaciones expuestas, la utilización combinada de estas resistencias con otros métodos de control, en muchos casos puede ser de gran utilidad.

### Medidas tendentes a limitar la instalación de la infección viral en la planta

Con frecuencia, a pesar de las actuaciones dirigidas a limitar la llegada y dispersión del virus en un cultivo, se producen infecciones de plantas y el objetivo de las estrategias de control va orientado a limitar el daño que provoca la infección del mismo en la planta. Por ello, interesa que la planta disponga de mecanismos que impidan el desarrollo de una infección sistémica o, al menos, atenúen los efectos de la infección de modo que no afecte al rendimiento o calidad final del producto. Entre otras, las estrategias de control empleadas son las siguientes:

#### Protección cruzada

El uso de la protección cruzada, al igual que el de resistencias, como se verá en el apartado siguiente, está dentro de esta línea de actuación. Este método de protección consiste en preinocular las plantas con una cepa de virus que causa solo síntomas leves y que no tiene, o tiene un impacto muy limitado, en la producción y, de esta manera, proteger la planta frente a variantes agresivas del

El uso de la protección cruzada consiste en preinocular las plantas con una cepa de virus que causa solo síntomas leves y que no tiene, o tiene un impacto muy limitado, en la producción y, de esta manera, proteger la planta frente a variantes agresivas del mismo virus

Cuando se dispone de fuentes de resistencia genética, la incorporación de los genes de resistencia en cultivares comerciales es una de las mejores soluciones para combatir una enfermedad de naturaleza viral

mismo virus. Este fenómeno está relacionado con el fenómeno de silenciamiento génico, un proceso de regulación de la expresión génica que la planta explota como mecanismo de defensa antiviral. Una de las limitaciones de esta medida es que no siempre hay disponibilidad de cepas atenuadas para todos los virus y se complica su empleo para aquellos virus que no se pueden inocular de forma mecánica fácilmente. Además, la virulencia de las cepas de virus varía entre cultivos diferentes e incluso entre variedades de un mismo cultivo, de modo que la cepa empleada para proteger un cultivo puede ser potencialmente peligrosa en cultivos o variedades cercanos al protegido. Asimismo, hay que tener en cuenta los posibles efectos sinérgicos del virus protector con otros virus o patógenos que afecten a la planta o que la variabilidad natural de la cepa atenuada pueda convertirla en una cepa severa. A pesar de todo esto, cuando una virosis se encuentra de forma endémica y es factor limitante para un cultivo determinado, la protección cruzada puede ser una buena alternativa para el control si no se dispone de otros métodos más efectivos. La protección cruzada se ha empleado a escala comercial con buenos resultados para el control de diferentes virus de plantas<sup>[1]</sup>. Sin embargo, deben respetarse de forma estricta las regulaciones locales y los pasos de registro antes de llevar a cabo pruebas de campo o el uso a escala comercial de esta estrategia de control.

### Resistencia genética

La incidencia y agresividad de una enfermedad en un cultivo depende, entre otros factores, del genotipo de la especie que se esté cultivando. Tanto la gravedad de la infección como el progreso de la epidemia en campo, son el resultado de la interacción entre el cultivar, las condiciones ambientales y la cepa de virus. Se puede influir en la evolución de la enfermedad en un cultivo, jugando con el genotipo de la planta. En muchas especies existen

importantes fuentes de variabilidad y, por tanto, pueden encontrarse, o generarse de algún modo, genotipos menos susceptibles a la infección viral (genotipos con resistencia genética al virus). El proceso de mejora genética para incorporar una resistencia determinada puede realizarse de una forma empírica, con poco conocimiento de la base genética de la misma, o bien utilizando la información disponible sobre su regulación genética. Esto último permite un mejor aprovechamiento de los recursos genéticos, y conseguir resistencias más estables y duraderas frente al sistema genético del virus. Cuando se dispone de fuentes de resistencia genética, la incorporación de los genes de resistencia en cultivares comerciales es una de las mejores soluciones para combatir una enfermedad de naturaleza viral. La utilización de una resistencia genética efectiva permitiría el cultivo sin emplear ninguna actuación extra de control, lo que simplifica notablemente el cultivo de una especie susceptible a infecciones virales. Las limitaciones de esta estrategia de control vienen dadas por la falta de disponibilidad, puesto que se ha descrito un número relativamente bajo de factores de resistencia a virus y, aun disponiendo de resistencia, la durabilidad de la misma puede verse condicionada por la aparición de variantes virales que superen la resistencia. En el segundo caso, se sabe que el uso de resistencia actúa como una presión selectiva sobre la población del virus a controlar, de forma que se produce una selección a favor de los genotipos ante los que la resistencia no es eficaz y que, en un momento dado, puede producir que la resistencia deja de ser efectiva. Existen estrategias de uso de resistencia genética que favorecen la durabilidad de las mismas<sup>[2]</sup>.

### Resistencia a ingeniería genética

La ingeniería genética es una forma potencialmente fácil de alcanzar altos niveles de resistencia a los virus para los que no se encuentran recursos genéticos de resis-

Recientemente, la edición del genoma utilizando tecnologías CRISPR/Cas ha proporcionado nuevas vías para introducir resistencia contra virus y plagas en cultivos

tencias naturales. En las últimas décadas se ha demostrado que el uso biotecnológico de estrategias de resistencia transgénica a virus basadas en la interferencia del RNA (RNAi) pueden ser muy efectivas. Sin embargo, aunque se ha desarrollado resistencia a muchos virus que infectan diversos cultivos, incluidos alimentos básicos, las preocupaciones en los países en los que existe recelo al uso de organismos modificados genéticamente (OMG) limita el uso de esta tecnología. La utilización de la tecnología de RNAi también puede ser efectiva para el control de los vectores y así ayudar a limitar los daños ocasionados por los virus que transmiten<sup>[7]</sup>.

Recientemente, la edición del genoma utilizando tecnologías CRISPR/Cas ha proporcionado nuevas vías para introducir resistencia contra virus y plagas en cultivos<sup>[6,10]</sup>. En el caso de la resistencia a virus, hasta ahora, la mayoría de las estrategias empleadas incluyen la inducción de mutaciones dirigidas al genoma del virus que requieren el mantenimiento de un transgén

para Cas y sgRNA en el genoma de las plantas de cultivo, dejándolos sujetos a la regulación de OMG. Sin embargo, una estrategia alternativa para lograr la resistencia a las enfermedades virales consiste en modificar los genes de susceptibilidad (genes S) del huésped, segregar la herramienta CRISPR/Cas y obtener mutantes no transgénicos. Uno de los mayores inconvenientes de los sistemas CRISPR/Cas para la edición de genomas es la aparición de mutaciones en genes no deseados (*off-targets*). En el futuro, es probable que los cultivos editados con la tecnología CRISPR/Cas no solo brinden oportunidades interesantes para el control de enfermedades virales, sino que también sean más ampliamente aceptados ya que evitan la inserción de DNA extraño. Con una mayor conciencia de los beneficios de estas tecnologías y marcos regulatorios mejorados para su adopción comercial, los cultivos editados se convertirían en un componente integral de las futuras estrategias de control de enfermedades virales.

## REFERENCIAS

- [1] Agüero, J. *et al.* (2018). "Stable and broad spectrum cross-protection against pepino mosaic virus attained by mixed infection". *Front. Plant Sci.* **9**: 1810.
- [2] Cowger, C. y Brown, J. K. M. (2019). "Durability of quantitative resistance in crops: Greater than we know?". *Annu. Rev. Phytopathol.* **57**: 253-277.
- [3] Gilbertson, R. L. *et al.* (2015). "Role of the insect supervectors *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in the emergence and global spread of plant viruses". *Annu. Rev. Virol.* **2**: 67-93.
- [4] Jeger, M. J. *et al.* (2004). "Epidemiology of insect-transmitted plant viruses: modelling disease dynamics and control interventions". *Physiol. Entomol.* **29**: 291-304.
- [5] Jones, R. A. C. y Naidu, R. A. (2019). "Global dimensions of plant virus diseases: Current status and future perspectives". *Annu. Rev. Virol.* **6**: 387-409.
- [6] Kalinina, N. O. *et al.* (2020). "CRISPR applications in plant virology: Virus resistance and beyond". *Phytopathol.* **110**: 18-28.
- [7] Liu, S. *et al.* (2020). "RNA-based technologies for insect control in plant production". *Biotechnol. Adv.* **39**: 107463.
- [8] Moreno-Pérez, M. G. *et al.* (2016). "Mutations that determine resistance breaking in a plant RNA virus have pleiotropic effects on its fitness that depend on the host environment and on the type, single or mixed, of infection". *J. Virol.* **90**: 9128-9137.
- [9] Rojas, M. R. *et al.* (2018). "World management of geminiviruses". *Annu. Rev. Phytopathol.* **56**: 637-677.
- [10] Sun, D. *et al.* (2017). "Progress and prospects of CRISPR/Cas systems in insects and other arthropods". *Front. Physiol.* **8**: 608-608.



## Manejo integrado de enfermedades de las plantas causadas por bacterias fitopatógenas

**EMILIO MONTESINOS SEGUÍ** es Dr. en Ciencias Biológicas por la Universidad Autónoma de Barcelona (1982) y *Visitant Fellow* en el INRA-Angers (1989) y en la Universidad de Cornell, EE. UU. (1994). Catedrático de Producción Vegetal (Patología Vegetal) desde 1993 en la Universitat de Girona, es coordinador de línea de investigación sobre Epidemiología y control de enfermedades causadas por bacterias fitopatógenas.

**ANNA BONATERRA CARRERAS** es Dra. en Ciencias Biológicas por la Universitat de Girona (1997). Profesora Titular del área de Producción Vegetal desde 2003 en la Universitat de Girona, e investigadora del grupo de Patología Vegetal del Instituto de Tecnología Agroalimentaria. Su investigación actual se centra en la obtención, caracterización y mejora de

**ANNA BONATERRA y EMILIO MONTESINOS**

Centro de Innovación y Desarrollo en Sanidad Vegetal (CIDSAV)  
Instituto de Tecnología Agroalimentaria  
Universitat de Girona

Las bacterias fitopatógenas constituyen una gran amenaza para las producciones agrícolas y forestales, ya que provocan enfermedades de importante impacto económico y medioambiental<sup>[2,8]</sup>. En la actualidad, su efecto se ha agravado debido a la globalización y al cambio en las condiciones climáticas que facilitan la aparición de enfermedades emergentes y su rápida dispersión<sup>[12]</sup>.

El control de las bacteriosis es complejo debido a la falta de medidas de control eficaces, y a la poca o nula disponibilidad de cultivares tolerantes o resistentes de interés comercial. Las bacterias poseen características que dificultan la reducción de sus poblaciones: tienen una enorme capacidad de dispersión, ya que se transmiten a través de material vegetal infectado, del aire, agua y vectores invertebrados, y poseen una elevada tasa de crecimiento en condiciones ambientales óptimas, que les permite colonizar y sobrevivir en medios diversos, algunos de los cuales inaccesibles, como los espacios internos de las plantas<sup>[10]</sup>.

En este contexto, el manejo de enfermedades bacterianas mediante el uso integrado de medidas preventivas, representa la mejor estrategia para mantener su desarrollo por debajo de un nivel aceptable. Su aplicación requiere de un amplio conocimiento del patógeno, de la interacción planta-patógeno, del ciclo de la enfermedad y de las condiciones ambientales que influyen en ella, y puede llevarse a cabo mediante la combinación de medidas de exclusión, erradicación, evasión, resistencia y protección [Figura 1]. Esta aproximación integrada para el manejo de las enfermedades bacterianas debe permitir superar las limitaciones y retos asociados a las medidas disponibles, y así optimizar los beneficios económicos, ecológicos y sociales.

### Exclusión

Esta estrategia se basa en evitar la introducción y propagación de las bacterias fitopatógenas en nuevas explotaciones, regiones o áreas geográficas. La diseminación de estas bacterias a largas distancias se produce predominantemente a través de material vegetal infectado. Por lo tanto, es

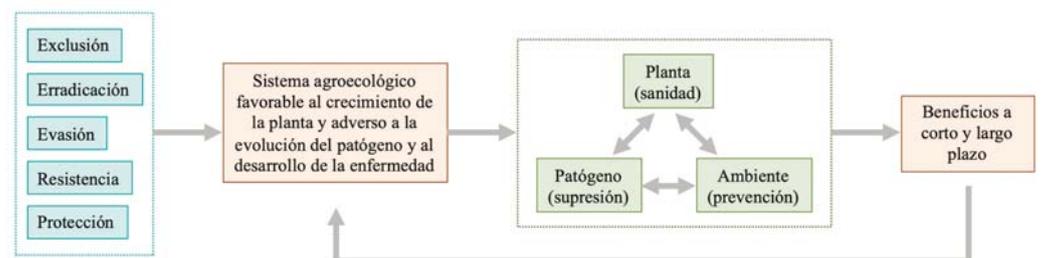


Figura 1. Manejo de enfermedades bacterianas a través de medidas racionales dirigidas a crear un ambiente favorable a la planta, adverso al patógeno y al desarrollo de la enfermedad (Figura modificada de<sup>[11]</sup>).

bioplaguicidas en el control de las enfermedades bacterianas.

Es necesario establecer programas de certificación que garanticen la producción de material de propagación, como semillas o plantones, libre de patógenos

Mediante normativa legal se establecen cuarentenas de ámbito regional o estatal para limitar el movimiento de material infectado, y se exige el uso de material de propagación libre de patógenos

necesario establecer programas de certificación que garanticen la producción de material de propagación, como semillas o plantones, libre de patógenos. Estos programas incluyen el aislamiento de las áreas de producción, así como inspecciones exhaustivas. Teniendo en cuenta que las infecciones causadas por bacterias pueden quedar latentes en plantas asintomáticas, es primordial disponer de métodos de análisis eficientes y sensibles, que permitan detectar el patógeno de forma precoz.

Para aplicar las medidas de exclusión en el caso de bacterias fitopatógenas emergentes, se debe realizar un análisis del riesgo a través de la identificación de bacterias causantes de enfermedades de importancia ecológica y económica, ausentes o parcialmente presentes en una zona determinada y conocer sus posibles rutas de entrada. Mediante normativa legal se establecen cuarentenas de ámbito regional o estatal para limitar el movimiento de material infectado, y se exige el uso de material de propagación libre de patógenos. En Europa, la Directiva 2000/29/EC (Reglamento 2016/2031) incluye en sus anexos los patógenos considerados de cuarentena y establece las normas comunes para la circulación de material vegetal mediante el requerimiento de un pasaporte fitosanitario, necesario para importar vegetales o productos vegetales, cuyo objeto es acreditar que el material está libre de bacterias cuarentenarias. Esta normativa exige a los centros de producción el control de calidad y certificación del material de propagación, semillas, tubérculos, plantones y plantas, para ofrecer las garantías necesarias de estrictas condiciones de higiene y para asegurar la sanidad del material de partida. En España, esta estrategia ha permitido retrasar la introducción de bacterias fitopatógenas como *Erwinia amylovora*, *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*, *Clavibacter michiganensis*, *Xylella fastidiosa*, o *Ralstonia solanacearum*, y evitar la introducción de *Candidatus Liberibacter asiaticus*<sup>[5]</sup>.

### Erradicación

Las medidas de erradicación se aplican con el objetivo de **eliminar o inactivar el inóculo** del patógeno para evitar su transmisión e impedir el desarrollo de la enfermedad. Para conseguir una erradicación eficaz es necesario conocer las fuentes de inóculo y los reservorios de las bacterias, sus estrategias de supervivencia y sus medios de diseminación.

En caso de posibles introducciones de bacterias de cuarentena en un territorio, se establecen, mediante reglamentaciones concretas, **planes de contingencia** para garantizar la eliminación del inóculo. Para que estos planes sean eficaces, se deben aplicar medidas a gran escala en todas las plantaciones de un área determinada y las plantas deben ser eliminadas cuando aparecen los primeros síntomas. Por ello, son necesarias inspecciones exhaustivas, frecuentes y rigurosas que permitan detectar el patógeno y tomar las medidas apropiadas para evitar su diseminación. Por ejemplo, en el caso de *Xylella fastidiosa*, considerado un organismo nocivo de cuarentena en Europa, tras la detección de diversos focos en Italia, Francia, España y Alemania<sup>[4]</sup> se adoptaron medidas de erradicación, previstas en la normativa (2015/789/UE), consistentes en la destrucción o inactivación del patógeno en plantas y vectores, y en el establecimiento de zonas infectadas y zonas tampón [Figura 2]. Asimismo, se han adoptado planes de contingencia para evitar la introducción de las bacterias asociadas a enfermedades como el fuego bacteriano<sup>[9]</sup> o el *huanglongbing* de los cítricos. La erradicación solo resulta efectiva si se actúa de forma rápida y contundente por parte de las autoridades competentes. Sin embargo, estas medidas tienen un elevado coste económico para los productores.

Si se han introducido las bacterias en un territorio, y la enfermedad se ha establecido, para minimizar la presencia de inóculo en los cultivos y evitar su dispersión, de-

La erradicación solo resulta efectiva si se actúa de forma rápida y contundente por parte de las autoridades competentes

Para impedir la diseminación mecánica se deben higienizar los materiales y herramientas de poda y de cosecha

El escape del patógeno puede conseguirse mediante el uso de rotaciones o barbecho, el avance o retraso de las fechas de siembra o cosecha, o la elección del lugar de siembra o plantación



Figura 2. Medidas de erradicación adoptadas en un foco de *Xylella fastidiosa* detectado en una finca de almendros de la zona de Taberna (Alicante), consistentes en la destrucción de almendros infectados (izquierda) y tratamiento de vectores del patógeno (derecha) (Imágenes tomadas por Emilio Montesinos).

ben utilizarse diferentes métodos de **saneamiento**, como la eliminación de material vegetal infectado, realizando podas severas de partes con síntomas como ramas, chancros o tumores, yemas o, en casos muy graves, arrancando la totalidad de las plantas infectadas. También deben eliminarse los restos de cosecha, de poda y de cultivos anteriores, ya que pueden representar una importante fuente de inóculo. Para impedir la diseminación mecánica se deben higienizar los materiales y herramientas de poda y de cosecha, preferiblemente con productos químicos como amonios cuaternarios, soluciones de ácido fosfórico y yodo, hipoclorito de sodio o etanol.

El material de propagación contaminado, como semillas o plántones, también debe ser higienizado mediante métodos físicos o químicos. En el caso de semillas, la desinfección con hipoclorito sódico se ha mostrado eficaz para reducir las infecciones, por ejemplo, de *Pseudomonas syringae* en guisante. Entre los métodos físicos que pueden aplicarse en semillas, tubérculos o estaquillas, se incluyen la radiación ultravioleta y la termoterapia con agua caliente o vapor, aunque en algunos casos estos

tratamientos pueden afectar a la viabilidad del material vegetal. Otras prácticas de saneamiento que pueden aplicarse directamente en los suelos incluyen la solarización o la utilización de enmiendas para aumentar la capacidad de mineralización de los restos orgánicos.

La diseminación de algunas bacterias como *X. fastidiosa* y *Candidatus Liberibacter* puede reducirse mediante la minimización de las poblaciones de sus vectores. Para el control de los vectores es imprescindible conocer sus ciclos biológicos y la evolución de sus poblaciones. Se evitará la presencia y propagación de vectores en las parcelas mediante la eliminación de sus huéspedes principales o, alternativamente, se aplicarán tratamientos fitosanitarios adecuados para reducir sus poblaciones. Estos tratamientos pueden realizarse mediante insecticidas de contacto y sistémicos, o en el caso que sea posible, mediante control biológico utilizando enemigos naturales.

### Evasión

Las medidas de evasión pretenden proteger a los cultivos de las enfermedades evitando la presencia del patógeno o alterando las

Ajustar la fertilización de forma equilibrada también permite minimizar la diseminación de las bacterias

La mayoría de resistencias a bacteriosis se han incorporado a través de programas de mejora genética que han conducido a la selección de cultivares resistentes

Existen solo unos pocos ejemplos de cultivos transgénicos resistentes a las enfermedades que hayan sido aprobados para uso comercial

condiciones ambientales que favorecen la colonización, infección y multiplicación. El escape del patógeno puede conseguirse mediante el uso de rotaciones o barbecho, el avance o retraso de las fechas de siembra o cosecha, o la elección del lugar de siembra o plantación, eludiendo lugares con presencia de la bacteriosis.

Hay diversos factores ambientales y nutricionales que favorecen las enfermedades bacterianas en las plantas. En general, la humedad elevada mejora la supervivencia y la dispersión de las bacterias, por lo que evitar el riego por aspersión limita el desarrollo de patógenos como *R. solanacearum* o *P. syringae* pv. *phaseolicola*. Las heladas o pedrisco causan heridas en hojas de plantas poco tolerantes facilitando la penetración de los patógenos. Por ello, el uso de redes antipedrisco o, en algunos cultivos como el guisante, el desplazamiento de la siembra para evitar el daño por frío, disminuyen la incidencia de las bacteriosis. Asimismo, ajustar la fertilización de forma equilibrada también permite minimizar la diseminación de las bacterias; por ejemplo, se deben evitar elevadas aplicaciones de nitrógeno, ya que provocan aumento de brotación en frutales y, por tanto, la presencia de tejidos más sensibles a la infección bacteriana, causando más incidencia, por ejemplo, en el caso de *E. amylovora*.

### Resistencia

La utilización de **cultivares resistentes o poco sensibles** es una de las aproximaciones más efectivas para el manejo eficiente de las bacteriosis, por ello es determinante disponer de información sobre la sensibilidad varietal a las bacterias fitopatógenas. La mayoría de resistencias a bacteriosis se han incorporado a través de programas de mejora genética que han conducido a la selección de cultivares resistentes, por ejemplo, frente *P. syringae* pv. *phaseolicola*, *P. syringae* pv. *tomato*, o *Xanthomonas* spp. Sin embargo, la evolución de las bacterias fitopatógenas y su elevada capacidad de

adaptación genética que permite la superación de la resistencia, obligan a mantener de forma continuada líneas de mejora genética, en algunos casos poco rentables<sup>[12]</sup>. La ingeniería genética tiene potencial para ampliar las posibilidades de introducir resistencias a enfermedades en cultivos para los que los programas de mejoramiento clásicos plantean obstáculos o no son factibles. Sin embargo, debido a las actuales restricciones legislativas en la Unión Europea, existen solo unos pocos ejemplos de cultivos transgénicos resistentes a las enfermedades que hayan sido aprobados para uso comercial.

El conocimiento profundo de los mecanismos de defensa de las plantas proporciona información valiosa para diseñar cultivos resistentes a enfermedades o tratamientos que permitan inducir en las plantas resistencia a los patógenos bacterianos. Las plantas disponen de un complejo sistema inmune que les permite defenderse de los agentes invasores a través del reconocimiento específico mediante receptores. Los receptores localizados en la superficie celular (PRR) reconocen patrones asociados a los patógenos o a otros microorganismos (PAMP/MAMP) activando la inmunidad PTI, mientras que los receptores inmunes intracelulares, producto de genes de resistencia (genes R), detectan proteínas efectoras específicas de los patógenos introducidas en la célula, activando la inmunidad ETI. El reconocimiento del patógeno activa en la planta respuestas locales (PTI y ETI), muchas veces acompañadas de una respuesta hipersensible (HR) y sistémica (SAR y ISR), que confiere resistencia a una gran cantidad de microorganismos. En mejora genética se usan varias estrategias para aumentar la resistencia a enfermedades, como el despliegue de receptores de inmunidad especializados que mejoran el reconocimiento de patógenos, la manipulación de genes de defensa activados durante el proceso de infección, así como la alteración de las principales rutas

En mejora genética se usan varias estrategias para aumentar la resistencia a enfermedades

El sistema inmunitario de las plantas puede ser activado a través del uso de inductores bióticos y abióticos aplicados de forma exógena

Los modelos de predicción de riesgo de bacteriosis constituyen herramientas muy útiles ya que permiten guiar las aplicaciones de productos de protección, evitando tratamientos innecesarios

hormonales de defensa de las plantas, o la sobreexpresión de compuestos antimicrobianos. Los receptores inmunes intracelulares (genes R) se han usado ampliamente en programas de mejora clásicos para generar resistencias a algunas enfermedades importantes. Asimismo, existen ejemplos de éxito de transferencia de receptores de inmunidad de superficie para la selección de resistencia ante enfermedades<sup>[3]</sup> como la canchros de los cítricos, la bacteriosis de las hojas del arroz y la marchitez bacteriana de la platanera. Actualmente, la identificación de nuevos receptores o de intermediarios de la respuesta inmune para la obtención de cultivares resistentes es un área de investigación extremadamente activa que puede ampliarse empleando tecnologías de edición del genoma como CRISPR/Cas9.

El sistema inmunitario de las plantas puede ser activado a través del uso de **inductores bióticos** y **abióticos** aplicados de forma exógena. Estos estimulantes inducen la resistencia en la planta por activación de las defensas o a través de un proceso de sensibilización, denominado “priming” que les confiere capacidad para activar su respuesta inmune de forma más rápida y robusta.

Algunos compuestos sintéticos tienen actividad estimuladora de defensas en plantas y han mostrado eficacia variable frente a las bacteriosis. Por ejemplo, los inductores de respuesta SAR, acibenzolar-S-metil y probenazol, han mostrado efectividad frente a la mancha bacteriana del tomate y la bacteriosis del arroz, respectivamente. Sin embargo, en algunos casos los inductores de SAR, como el ácido 2,6-dicloroisónico (INA), presentan efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas, causando fitotoxicidad<sup>[11]</sup>. Entre los compuestos de origen natural, la laminarina, obtenida del alga parda *Laminaria digitata*, o los glucanos ramificados como beta-(1,3)-(1-6)-glucanos, xiloglucanos, oligogalacturónidos y oligómeros de quitina o quitosano, muestran actividad estimuladora de defensa en

diversas plantas. De la misma forma, compuestos peptídicos como la flagelina 22, csp15 o Pep13, pueden también proteger de los patógenos a través de la inducción de las defensas en la planta ya que son reconocidos por los receptores de PRR como MAMP, induciendo la respuesta PTI. Asimismo, se han descrito péptidos endógenos elicitores (Pep) que también inducen la respuesta PTI. La resistencia en la planta también puede activarse por rizobacterias que inducen la respuesta ISR debido al reconocimiento de MAMP como lipopolisacáridos o enzimas provenientes de estos microorganismos. Por ejemplo, la cepa WCS417r de *Pseudomonas fluorescens*, inductora de la respuesta ISR, permite proteger a las plantas frente a la infección por *P. syringae* pv. *tomato*. Diversas cepas de *Bacillus*, *Pseudomonas* o *Trichoderma* forman parte de productos comerciales que pueden aplicarse en estrategias preventivas para inducir en las plantas resistencia a patógenos bacterianos.

### Protección

Esta estrategia se basa en realizar **aplicaciones preventivas con productos químicos o biológicos** que disminuyen los niveles poblacionales de las bacterias y evitan o minimizan el desarrollo de infecciones, una vez la enfermedad se ha establecido en una zona. Estos tratamientos deben realizarse cuando el patógeno está accesible, especialmente cuando hay poblaciones epifitas, en los períodos de máxima vulnerabilidad de los tejidos de la planta, y cuando las condiciones son favorables a la enfermedad. Por ello, los modelos de predicción de riesgo de bacteriosis constituyen herramientas muy útiles ya que permiten guiar las aplicaciones de productos de protección, evitando tratamientos innecesarios. Dichos modelos se establecen de forma específica para cada enfermedad basándose en la información climática, sobre la fenología del cultivo y la dinámica del patógeno, y permiten realizar mapas de riesgo

Los productos químicos que presentan mayor eficacia en la reducción de poblaciones epifitas de bacterias fitopatógenas son los antibióticos y los productos cúpricos.

Péptidos y pseudopéptidos presentan ventajas interesantes como elevada actividad antimicrobiana, baja toxicidad y elevada biodegradabilidad

El principal problema para el desarrollo de los péptidos reside en los elevados costes de síntesis, con lo que se están haciendo esfuerzos en reducir los costes de producción y en encontrar fuentes de origen biológico

agrocimático para programar temporalmente los tratamientos preventivos. Algunos de los modelos más establecidos son Maryblyt™ y Cougarblight, en el caso del fuego bacteriano, o el XanthoCast™, para la bacteriosis del nogal.

Los productos químicos que presentan mayor eficacia en la reducción de poblaciones epifitas de bacterias fitopatógenas son los **antibióticos** (estreptomizina, oxitetraciclina o kasugamicina) y los **productos cúpricos** (hidróxido de cobre, oxiclóruo de cobre, óxido de cobre, sulfato de cobre, o la mezcla “cardo bordelés”). Sin embargo, algunos de sus efectos negativos como la selección de poblaciones resistentes en muchas bacterias fitopatógenas, la fitotoxicidad y el impacto medioambiental, limitan su uso en estrategias de manejo integrado. Aunque el uso de antibióticos está permitido en algunos países, no están autorizados en la Unión Europea, excepto casos puntuales en procesos de erradicación de focos graves de infección. En el caso de los productos cúpricos, se limita el número de aplicaciones autorizadas, así como en épocas cercanas a la floración ya que provocan fitotoxicidad. Además, estos productos presentan baja persistencia y un escaso poder de penetración que impide la reducción del nivel de inóculo cuando el patógeno se ha introducido en tejidos internos. Asimismo, los compuestos de cobre inducen el estado de viable pero no cultivable en algunas bacterias fitopatógenas que les permite sobrevivir y mantener la patogenicidad. Otros compuestos químicos como la flumequina, fosetyl-Al y ácido oxanílico, presentan eficacia variable frente a bacteriosis como las causadas por *E. amylovora* o *P. syringae* pv. *syringae* [Figura 3].

En el campo de nuevos compuestos para desarrollar productos bactericidas, uno de



Figura 3. Eficacia de un tratamiento preventivo con fosetyl-Al (derecha) comparado a un control no tratado (izquierda), en un ensayo de control de la necrosis de yemas de flor del peral causada por *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, realizado en una finca comercial de la zona frutícola de Giróna (Imagen de Emilio Montesinos).

los avances más esperanzadores lo constituye la utilización de **péptidos y pseudopéptidos**<sup>[7]</sup>. Estos compuestos presentan ventajas interesantes como elevada actividad antimicrobiana, baja toxicidad y elevada biodegradabilidad. Se trata de secuencias cortas, generalmente catiónicas y con la capacidad de adoptar una estructura anfipática que les permite insertarse en la membrana microbiana. Los péptidos pueden obtenerse, bien por aislamiento de fuentes naturales, o bien por síntesis química, permitiendo la obtención de análogos no naturales con un mejor perfil biológico. A través de estas estrategias se han obtenido péptidos que han presentado actividad frente a organismos fitopatógenos, como péptidos lineales o cíclicos que presentan actividad antimicrobiana similar a los antibióticos. De acuerdo con estas propiedades, los péptidos se adecuan a las necesidades para su utilización en estrategias de manejo integrado. Sin embargo, el principal problema para su desarrollo reside en los elevados costes de síntesis, con lo que se están haciendo esfuerzos en reducir los costes de producción y en encontrar fuentes de origen biológico.

Los **bioplaguicidas** que incluyen microorganismos beneficiosos o los compuestos

Los bioplaguicidas microbianos son fáciles de producir y se aplican mediante estrategias inundativas o aumentativas que les permiten alcanzar poblaciones suficientes para controlar las enfermedades bacterianas

Otra estrategia consiste en el uso de bacteriófagos líticos mediante la estrategia inundativa

Es necesario diseñar un programa de manejo integrado utilizando una combinación de estrategias adecuadas para cada enfermedad



Figura 4. Biorreactores empleados para el escalado y producción semiindustrial de microorganismos para la formulación de bioplaguicidas, y prototipo de formulación envasada al vacío en formato de polvo mojable WP (Imágenes de Emilio Montesinos).

derivados de su metabolismo (los llamados metabolitos de fermentación), así como extractos de plantas, constituyen herramientas adicionales a los compuestos químicos que presentan características muy atractivas para el manejo integrado de bacteriosis. Los bioplaguicidas microbianos son fáciles de producir [Figura 4] y se aplican mediante estrategias inundativas o aumentativas que les permiten alcanzar poblaciones suficientes para controlar las enfermedades bacterianas. Además, frecuentemente presentan múltiples modos de acción que reducen la probabilidad de selección de resistencias en un patógeno determinado y, en algunos casos, tienen un bajo espectro de acción que disminuye su efecto tóxico frente a microorganismos no diana. Sin embargo, su manejo es complejo al tratarse de microorganismos que interactúan con la planta al mismo tiempo que con el patógeno, y su actividad se ve influida por el ambiente y la microbiota presente, lo que se traduce con cierta frecuencia en una inconsistencia en su eficacia<sup>[6]</sup>. Aunque existe una gran cantidad de estudios relacionados con el control biológico de las bacteriosis, son pocos los bioplaguicidas comercializados para este fin. Por ejemplo, en Estados Unidos existen productos comerciales a base de

*Agrobacterium radiobacter* para el control de tumores de cuello en frutales y a base de *P. fluorescens* y *Pantoea vagans* para el control de bacteriosis aéreas. En la Unión Europea los productos autorizados se reducen a productos a base de *Bacillus* spp. y *Aureobasidium pullulans*. Otra estrategia consiste en el uso de bacteriófagos líticos de los que se han descrito algunos activos frente a *R. solanacearum*, *E. amylovora* o *Xanthomonas* spp. Los bacteriófagos son abundantes en la mayoría de los ecosistemas y pueden ser aplicados mediante la estrategia inundativa. Sin embargo, la baja estabilidad en el ambiente y la selección de resistencias espontáneas limitan su uso.

### Manejo integrado de las bacteriosis

Para conseguir minimizar las pérdidas causadas por las bacteriosis es necesario diseñar un programa de manejo integrado utilizando una combinación de estrategias adecuadas para cada enfermedad. Estas deberían tener en cuenta simultáneamente todos los aspectos preventivos que eviten nuevas introducciones y la diseminación del inóculo, además de adoptar estrategias complementarias, como la utilización de material de propagación libre del patógeno, establecer factores de cultivo poco fa-

Dichas estrategias deben ser aplicadas de un modo integrado y armónico, para maximizar los beneficios de cada componente

vorables a la bacteria, el uso de cultivares resistentes o tratamientos barrera que reduzcan las poblaciones del patógeno o que estimulen las defensas del huésped. Dichas medidas deben ser aplicadas de un modo integrado y armónico, para maximizar los beneficios de cada componente. Sin embargo, esta aproximación dependerá de la disponibilidad de herramientas (cultivares resistentes, prácticas culturales, productos químicos y biológicos) eficaces para cada patosistema y que sean económicamente asequibles. Además, resultan decisivos en esta estrategia integrada los métodos moleculares de detección y cuantificación del

patógeno, en especial aquellos basados en dianas genómicas, que permitan establecer y verificar la eficacia de medidas de cuarentena y erradicación, así como monitorizar la diseminación, establecimiento y contención de la enfermedad. Finalmente, la aplicación de esta estrategia integrada requiere un seguimiento en tiempo real de factores ambientales (temperatura, humedad, pH del suelo, nutrientes, otros) para la predicción de las enfermedades y el establecimiento de umbrales económicos, que actúen como sistema de soporte para la toma de decisiones.

## REFERENCIAS

- [1] Dun-chun, H. E., Jia-sui, Z. y Lian-hui, X. (2016). "Problems, challenges and future of plant disease management: from an ecological point of view". *J. Int. Agric.* **15**: 705-715.
- [2] Kannan, R. V., Bastas, K. K. y Rajendran, S. (2015). "Scientific and economic impact of plant pathogenic bacteria". Cap. 20, pp. 369-392 en *Sustainable approaches to controlling plant pathogenic bacteria*. V. R. Kannan y K. K. Bastas (eds.). CRC Press. Londres, Reino Unido. 405 pp.
- [3] Lacombe, S. et al. (2010). "Interfamily transfer of a plant pattern-recognition receptor confers broad-spectrum bacterial resistance". *Nat. Biotechnol.* **28**: 365-369.
- [4] Landa, B. B. et al. (2017). "Características generales de *Xylella fastidiosa*". pp. 47-60, en *Enfermedades causadas por la bacteria Xylella fastidiosa*. B. B. Landa, E. Marco-Noales y M. M. López (eds.). Cajamar Caja Rural.
- [5] López, M. M. et al. (eds.) (2018). *Enfermedades de plantas causadas por bacterias*. Ed. Bubock y Sociedad Española de Fitopatología. 800 pp.
- [6] Montesinos, E. y Bonaterra, A. (2009). "Microbial Pesticides". pp 110-120, en *Encyclopedia of Microbiology*. Vol. 1. Schaechter M. (eds.). Third Edition. Elsevier Inc. Oxford, Reino Unido, y San Diego, CA, EE. UU. 4600 pp.
- [7] Montesinos E. et al. (2012). "Antimicrobial peptides for plant disease control. From discovery to application". pp. 235-261 en *Small Wonders: Peptides for Disease Control*. Rajasekaran, K., Cary, J. W., Jaynes J. M., y Montesinos, E. (eds.) Washington, DC: American Chemical Society.
- [8] Oerke, E. C. (2006). "Crop losses to pests". *J. Agric. Sci.* **144**: 31-43.
- [9] Palacio-Bielsa, A. y Cambra M. A. (eds.). (2009). "El fuego bacteriano de las rosáceas (*Erwinia amylovora*)". Ministerio de Agricultura y Medio Rural y Marino. 2ª edición. Madrid. 97 pp.
- [10] Sundin, G. W. et al. (2016). "Bacterial disease management: challenges, experience, innovation and future prospects". *Mol. Plant Pathol.* **17**: 1506-1518.
- [11] Walters, D. R., Ratsep, J. y Havis, N. D. (2013). "Controlling crop diseases using induced resistance: challenges for the future". *J. Exp. Bot.* **64**: 1263-1280.
- [12] Zhan, J. et al. (2015). "Playing on a pathogen's weakness: Using evolution to guide sustainable plant disease control strategies". *Ann. Rev. Phytopathol.* **53**:19-43.



## Control de enfermedades causadas por hongos y oomicetos en cultivos agrícolas

**CARLOS JOSÉ LÓPEZ-HERRERA y JOSÉ MARÍA MELERO-VARA**

Departamento de Protección de Cultivos  
Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC). Córdoba

La combinación de agentes de biocontrol sinérgicos con dosis bajas de fungicidas ha mejorado en ciertos casos la acción exclusiva de cada agente de biocontrol

Las enfermedades causadas por microorganismos (hongos, bacterias, virus, viroides y micoplasmas), así como nematodos o malezas, ocasionan importantes daños en los cultivos, pudiendo disminuir la vida útil de las plantas

### Resumen

El control del inóculo del patógeno es fundamental para proteger las plantas lo cual se consigue por diferentes técnicas. La erradicación puede conseguirse preventiva y óptimamente utilizando material vegetal propagativo libre de patógenos, y en el cultivo mediante poda y eliminación de plantas enfermas. El inóculo procedente de residuos se puede reducir arando el suelo, mediante solarización del mismo o adición de enmiendas orgánicas. La predicción de enfermedad, y la detección de inóculo por métodos convencionales o moleculares pueden reducir el número de aplicaciones fungicidas y su dosis, utilizándolos sólo cuando las condiciones son favorables para el patógeno. El control biológico es una alternativa a los tratamientos fungicidas y la aplicación de agentes de biocontrol ha resultado en algunos casos tan efectiva como los fungicidas en el control de enfermedades. La combinación de agentes de biocontrol sinérgicos con dosis bajas de fungicidas ha mejorado en ciertos casos la acción exclusiva de cada agente de biocontrol, favoreciendo así la aplicación de una menor dosis del fungicida. En general, las medidas de control de patógenos aéreos se pueden conseguir mediante intercultivos y mezcla de variedades o multilíneas, y los patógenos de suelo pueden controlarse con un correcto manejo del riego y la desinfección de herramientas y maquinaria pueden ayudar a limitar la diseminación de estos patógenos.

### Introducción

Las enfermedades causadas por microorganismos (hongos, bacterias, virus, viroides y micoplasmas), así como nematodos o malezas, ocasionan importantes daños en los cultivos, pudiendo disminuir la vida útil de las plantas. Aquellas llegan a ser limitantes, provocando pérdidas económicas a los productores y comercializadores y produciendo incluso graves epidemias en algunos cultivos y originando la hambruna y consiguiente emigración de la población humana en ciertas zonas, como ocurrió en 1845-1849 con el mildiu o tizón de la patata en Irlanda.

El control de una enfermedad consiste en reducir la población del patógeno a fin de mantenerla en niveles bajos o erradicarla, de modo que las pérdidas económicas asociadas sean asumibles por el agricultor y sea soportable un cierto nivel de enfermedad. El desarrollo de las técnicas de cultivo, el aumento de la superficie cultivada y el incremento de la producción, han contribuido a aumentar las poblaciones fúngicas perjudiciales para las plantas.

En la Antigüedad, los esfuerzos para controlar las enfermedades fueron obstaculizados por la falta de información sobre las causas de las mismas o por pensar que eran causa de la ira de Dios y, más tarde, por la creencia en la generación espontánea de enfermedades y de los microorganismos asociados a ellas. Sin embargo, algunos escritores como Demócrito (ca. 470 a. C.),

**Antes del cultivo es necesario estudiar el suelo donde se van a sembrar o plantar los cultivos, a fin de que tengan las condiciones necesarias para que no haya posterior desarrollo de enfermedades**

**El control en viveros debe ser exhaustivo, con desinfección general de las instalaciones, utilización de macetas y sustratos desinfectados químicamente o por pasteurización y eliminación de las plantas infectadas antes de suministrarlas a los agricultores**

recomendaron tratar las plagas de plantas pulverizándolas con subproductos del olivo después de extraer el aceite, y Homero (ca. 100 a. C.), mencionaba las propiedades terapéuticas del azufre en enfermedades de plantas.

En el control de los cultivos se deben utilizar técnicas de control que entrañen menores riesgos de toxicidad y menor impacto ambiental. Entre los diferentes métodos: culturales, detección precoz de la enfermedad, físicos, químicos, desarrollo de plantas resistentes, y biológicos, no todos son efectivos para controlar por sí mismos una enfermedad y, a veces, es necesario recurrir a la aplicación simultánea combinada de varios de ellos para lograr un control integrado de la misma.

### Prácticas culturales

Se deben desarrollar preventivamente o durante el cultivo de las plantas. Antes del cultivo es necesario estudiar el suelo donde se van a sembrar o plantar los cultivos, a fin de que tengan las condiciones necesarias para que no haya posterior desarrollo de enfermedades. Para ello, se ha de nivelar y subsolar los suelos para evitar encharcamiento, y utilizar estiércol adecuado aunque, en algunas ocasiones, este puede controlar el desarrollo de enfermedades y en otros aumentar la severidad de las mismas. Sobre todo en el caso de árboles, se deben utilizar patrones resistentes a hongos fitopatógenos de suelo. Se deben eliminar las malas hierbas y restos vegetales anteriores al nuevo cultivo, ya que pueden albergar los patógenos en estado latente, y desinfectar las herramientas utilizadas en siembra o trasplante (azadas, tijeras, navajas). En el caso de tener balsas para riego, se deben mantener cubiertas para impedir la transmisión de patógenos a través del agua de riego. El sistema de riego debe ser el adecuado, por goteo o microaspersión, para evitar ambientes excesivamente húmedos que favorezcan el desarrollo de en-

fermedades. Se ha observado que incluso el ángulo del aspersor puede influir en el desarrollo de la enfermedad, al producir zonas húmedas en los árboles.

Durante el cultivo, se ha de realizar una continua y correcta aplicación del riego para evitar el encharcamiento del suelo así como realizar un abonado equilibrado que evite altas concentraciones de nitrógeno o carencia de algún elemento que influya en el desarrollo de enfermedades. Durante las podas, hay que evitar producir heridas, eliminar o picar restos vegetales procedentes de podas, que pudieran constituir fuentes de inóculo, así como mejorar la ventilación de las plantas para facilitar la penetración de los fungicidas al realizarse los tratamientos. También se han de eliminar las malas hierbas que puedan competir con el cultivo, y eliminar las partes de las plantas infectadas.

El control en viveros debe ser exhaustivo, con desinfección general de las instalaciones, utilización de macetas y sustratos desinfectados químicamente o por pasteurización y eliminación de las plantas infectadas antes de suministrarlas a los agricultores. Hay que prever que las púas a injertar en plantas leñosas estén libres de patógenos antes de injertarlas, a fin de proveer a los agricultores con plantas certificadas sanitariamente.

### Detección precoz de la enfermedad

Es muy importante la detección precoz de la enfermedad para poder actuar preventivamente mediante las diversas técnicas de control antes de que se haya desarrollado la epidemia. Esto nos permitirá reducir el número de tratamientos químicos o biológicos. Tradicionalmente, la detección precoz de la enfermedad se realizaba mediante aislamiento de los agentes fúngicos en plantas sintomáticas o bien mediante enterrado de frutos o tallos trampa en suelos infestados para recuperar el patógeno. Pero en algunos casos, la expresión de síntomas de la

En los últimos años se han desarrollado técnicas moleculares que detectan el patógeno en diferentes partes de la planta asintomática, pero que están infectadas por hongos

La solarización es una técnica que aprovecha la energía solar para aumentar la temperatura del suelo húmedo como alternativa a su desinfestación mediante fumigantes

enfermedad es bastante tardía para iniciar un control de la misma, como ocurre con enfermedades que sólo expresan síntomas en la planta al final de su ciclo vital.

Por tanto, en los últimos años se han desarrollado técnicas moleculares que detectan el patógeno en diferentes partes de la planta asintomática, pero que están infectadas por hongos. Estas técnicas son más rápidas y fiables que las clásicas de aislamiento del hongo en medio de cultivo y, además, permiten no sólo detectarlo sino cuantificar su densidad de inóculo, sobre todo en hongos fitopatógenos de suelo, posibilitando el manejo de mayor número de muestras vegetales en menor tiempo. Se han utilizado con éxito las herramientas moleculares como la PCR convencional para facilitar la detección de patógenos del suelo como: *Verticillium dahliae*, *Pythium ultimum* y *Plasmiodiophora brassicae*. Muchos estudios han demostrado un éxito notable en la detección de hongos como *Rosellinia necatrix* utilizando herramientas moleculares (PCR convencional y qPCR), en suelos de cultivos leñosos como aguacate, cerezo, melocotón, nogal, olivo, pistacho y vid, infestados artificial y naturalmente<sup>[15,10]</sup>. Estudios posteriores sugieren que las técnicas cuantitativas de PCR en tiempo real (qPCR) son más sensibles y proporcionan una cuantificación precisa de hongos<sup>[5]</sup>, como *Phytophthora nicotianae*, *P. citrophthora* y *V. dahliae* en muestras de suelo; *Lionectria* spp. en vid y *Phytophthora* spp. en plantas ornamentales y árboles frutales en viveros. Incluso *R. necatrix* ha sido detectado y cuantificado por qPCR a partir de suelo infestado artificialmente y, recientemente, en muestras de suelo infestadas en condiciones naturales del cultivo del aguacate<sup>[3]</sup>.

### Control físico

Este método de control suele basarse en la elevación temporal de la temperatura del suelo antes o durante el cultivo, para lograr su desinfección. Los dos métodos más

utilizados son la desinfección con vapor de agua y la solarización del suelo (SS).

La desinfección con vapor de agua se fundamenta en ser este un excelente medio para transmitir el calor y suele aplicarse en pequeñas superficies, fundamentalmente en invernaderos, para eliminar los patógenos instalados previamente al inicio del cultivo.

La solarización es una técnica que aprovecha la energía solar para aumentar la temperatura del suelo húmedo como alternativa a su desinfestación mediante fumigantes<sup>[7]</sup>. Se utiliza tanto a nivel de invernadero como en campo abierto. Esta técnica puede ser respetuosa con el medio ambiente y aplicable tanto en suelo desnudo, previo a la plantación, como en cultivo establecido de árboles leñosos, sin que afecte al desarrollo vegetativo normal del mismo. Consiste en el tapizado del suelo con una cubierta plástica transparente de 40 a 75  $\mu\text{m}$  de espesor, dependiendo de si los cultivos son herbáceos o leñosos, estableciendo un riego previo del suelo a capacidad de campo. La cobertura plástica debe quedar totalmente sellada durante algunas semanas, para reducir al mínimo la evaporación durante el tratamiento. Además, no conviene regar el cultivo tras aplicar la cubierta transparente, ya que bajaría la temperatura del suelo y el tratamiento perdería eficacia. Dicha cubierta debe mantenerse en campo durante un periodo estival (de mediados de julio a fin de agosto para las zonas del sur de España). El efecto de la SS sobre el control del patógeno y desarrollo de la enfermedad radica en que la acumulación de grados-hora en el suelo durante el tratamiento, ejerce un fenómeno de pasteurización que inactiva el inóculo de patógenos hasta 60 cm de profundidad. Sin embargo, debido al vacío biológico que se produce, podría haber una posterior reinfestación del suelo a partir del patógeno superviviente en las capas más profundas. Por ello, suele exigir la repetición del tratamiento cada dos años, para mantener bajos niveles de inóculo en el suelo<sup>[8,9]</sup>.

En Europa, hacia 1870, se comenzó a investigar sobre fungicidas para controlar el mildiu de la vid y se utilizó una mezcla de sulfato de cobre y lima, concluyéndose en 1885 por Millardet esta mezcla (“caldo bordelés”) como efectiva

A veces, los tratamientos químicos inducen defensas de la planta contra patógenos denominadas “resistencia sistémica adquirida”

La solarización ha resultado particularmente efectiva en patosistemas como ajo/*Sclerotium cepivorum*, a pesar del lapso entre la finalización del tratamiento y la plantación del cultivo, e incluso en el patosistema algodonero/*Verticillium dahliae*<sup>[12]</sup>. También se logró reducir acusadamente la fusariosis vascular de cultivos de cucurbitáceas en invernaderos de Almería, y también se han demostrado efectos similares de SS sobre la viabilidad de micelio y esclerocios de *Botrytis cinerea*. En cultivos leñosos, tales como el aguacate, este tratamiento ha resultado efectivo en suelos tratados antes de la plantación en las Islas Canarias, Israel, Sudáfrica y California para el control de *P. cinnamomi* y en plantaciones establecidas del cultivo para el control de *P. cinnamomi* y *R. necatrix*<sup>[8,9]</sup>.

### Control químico

Los métodos químicos apuntan a la protección de las plantas contra el inóculo del patógeno que ha llegado o pudiera llegar, así como a la curación de una infección en progreso. En general, la reducción inicial o exclusión del patógeno es más fácil si este es monocíclico, utilizando métodos de rotación de cultivos, eliminación de huéspedes alternativos etc.; pero, cuando el patógeno es policíclico, estos métodos de control deben completarse con resistencia horizontal o control químico adicionales. La acción de los fungicidas puede efectuarse por toxicidad directa sobre el patógeno, protegiendo los puntos de entrada en la planta o mediante su actuación sistémica a través de la planta. Los fungicidas inhiben la capacidad del patógeno para sintetizar ciertas sustancias de su pared celular, la disuelven o la dañan, inactivando así ciertas coenzimas esenciales o enzimas y causando en el patógeno una precipitación general de las proteínas.

Refiriéndonos a la historia de los fungicidas, el uso más temprano del control químico lo realizaron agricultores del sur de

Inglaterra a finales del siglo XVII tratando el tizón del trigo con una solución de cloruro sódico; pero, más tarde, a mediados del siglo XVIII, este compuesto fue sustituido por sulfato de cobre, que aún se utiliza. En Europa, hacia 1870, se comenzó a investigar sobre fungicidas para controlar el mildiu de la vid y se utilizó una mezcla de sulfato de cobre y lima, concluyéndose en 1885 por Millardet esta mezcla (“caldo bordelés”) como efectiva. Además, esta mezcla resultó efectiva contra otras enfermedades como el mildiu o tizón tardío de la patata y mildius de otros cultivos. Durante 50 años fue utilizado como el fungicida más efectivo para la mayoría de enfermedades de plantas. En 1913 se utilizaron como fungicidas algunos compuestos orgánicos mercúricos hasta que fueron prohibidos en 1960 por su toxicidad. En 1934 se descubrió el primer fungicida, ditiocarbamato (thiram) (hoy día sustituido por fludioxonil) y se desarrollaron otros como ferbam, zineb, maneb; y en 1965 se descubrió el primer fungicida sistémico, carboxín, seguido de otros como el benomilo, actualmente prohibido.

A veces, los tratamientos químicos inducen defensas de la planta contra patógenos denominadas “resistencia sistémica adquirida”. No obstante, debido al riesgo para el aplicador y al negativo impacto ambiental derivado, se está obligando a reducir más la utilización de fungicidas en el control de las enfermedades.

La resistencia de los hongos a los fungicidas no se encontró en los de contacto como thiram, maneb o captán, cuando se comenzaron a utilizar, quizás debido a que estos afectan a varios procesos vitales del patógeno y sería necesaria la mutación de muchos genes para la aparición de resistencia a ese tipo de fungicidas. Sin embargo, en 1963 se descubrió la primera resistencia a fungicidas de contacto; y más tarde, en 1970, la introducción y aplicación de fungicidas sistémicos, especialmente benomilo, indujo la aparición de cepas fúngicas

La resistencia a fungicidas puede ser controlada utilizando mezcla de fungicidas sistémicos específicos y protectores de amplio espectro, o alternado la aplicación de ambos

Otras enmiendas orgánicas (EO) ricas en compuestos nitrogenados se han mostrado eficaces en la reducción drástica de diversos patógenos debido a la generación de amoníaco y ácido nítrico, y de otros compuestos tóxicos volátiles, a partir de la descomposición de la materia orgánica

con resistencia a uno o más fungicidas, lo que obligó a realizar aplicaciones combinadas de fungicidas para disminuir la aparición de resistencia. Importantes patógenos fúngicos como *Alternaria*, *Botrytis*, *Cercospora*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Verticillium*, *Sphaeroteca*, *Mycosphaerella*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Ustilago*, así como los oomicetos *Phytophthora*, *Phytium* y *Plasmodium halstedii* han desarrollado cepas resistentes a uno o más fungicidas sistémicos. Respecto a esta última especie, se descubrió en los años 70 un fungicida sistémico (metalaxyl) que, aplicado a las semillas a bajas dosis, lograba controlar eficazmente las infecciones de plántulas que solían morir o reducir enormemente su crecimiento y producción. Durante dos décadas constituyó un método fiable de control de la enfermedad, pero surgieron biotipos del patógeno tolerantes a metalaxyl que acabaron con su efectividad en muchos casos. Aunque ha habido esfuerzos por buscar un fungicida alternativo a este, hasta ahora no se ha encontrado ninguno que logre la gran efectividad demostrada por aquel en el último cuarto del siglo XX.

La resistencia a fungicidas puede ser controlada utilizando mezcla de fungicidas sistémicos específicos y protectores de amplio espectro, o alternado la aplicación de ambos. En este contexto, los fungicidas sistémicos suelen controlar efectivamente la enfermedad y los protectores reducen la posibilidad de supervivencia de las cepas del patógeno que puedan desarrollar resistencia a los fungicidas sistémicos o a los de acción específica.

### Enmiendas orgánicas

Al incorporar al suelo restos de cultivos de brassicas se generan altos niveles de isotiocianatos que actúan como biofumigantes que eliminan muchas estructuras de hongos fitopatógenos presentes en el suelo, reduciendo así los niveles de enfermedad en cultivos posteriores al tratamiento. Otras enmiendas orgánicas (EO) ricas en

compuestos nitrogenados se han mostrado eficaces en la reducción drástica de diversos patógenos debido a la generación de amoníaco y ácido nítrico, y de otros compuestos tóxicos volátiles, a partir de la descomposición de la materia orgánica. Estos mecanismos se favorecen con altas temperaturas y se ven beneficiados cuando pueden quedar confinados en el suelo durante algunas semanas. Esto puede lograrse tapizando el suelo húmedo al que se ha aportado la EO con lámina de polietileno transparente fino en periodos estivales con alta insolación, previo a la preparación para la siembra o plantación. La descomposición de la materia orgánica conlleva reacciones exotérmicas que incrementan aún más la temperatura en la capa arable de los suelos, por lo que simultáneamente a la toxicidad se efectúa un incremento térmico que acentúa el de la SS, con lo que es susceptible de realizarse en periodos más cortos o de temperaturas subóptimas para dicha SS.

Se han llegado a resultados de control satisfactorio de graves enfermedades de cultivos de clavel, espárrago y tomate, causadas por diversas *Fusarium* spp. fitopatógenas, aportando al suelo infestado EO como gallinaza, *pellet* de gallina y compost de alperujo a dosis no muy elevadas, unas semanas antes de preparar el suelo para la plantación<sup>[13]</sup>. Aparte de los efectos térmico y de emisión de compuestos volátiles tóxicos antes referidos, se han observado variaciones en las concentraciones de las poblaciones bacterianas en el suelo que podrían intervenir como mecanismos de biocontrol. Además del efecto de destrucción de propágulos fúngicos resistentes (clamidosporas, esclerocios, etc.) y de reducir los síntomas en el cultivo, se ha comprobado un mayor vigor y crecimiento de las plantas en los suelos tratados, que produce mejores rendimientos. Esto es atribuible, en parte, a una mejor fertilización nitrogenada derivada de la propia EO, con lo que, en este aspecto, cabría reducir la

Para garantizar el control de epidemias, el registro oficial de híbridos requiere la adecuada utilización de híbridos resistentes a las razas más frecuentes del patógeno en distintos países

Numerosos estudios han demostrado que la aplicación exógena de elicitores, aumenta la tolerancia a patógenos mediante la inducción de genes relacionados con la defensa

dosis de abonado mineral para aliviar la posible lixiviación de nitratos excedentes a la capa freática

### Uso de variedades resistentes a enfermedades

El uso de variedades resistentes suele ser más económico y seguro que los métodos más efectivos de control químico. Como ejemplos se describen estudios de variedades resistentes en cultivos herbáceos y en cultivos leñosos.

El mildiu de girasol está causado por *Plasmopara halstedii*, un oomiceto que inicia las infecciones en las radículas e hipocotilos de las plantas que contactan las zoosporas liberadas de zoosporangios procedentes de la germinación de oosporas. Estas últimas perduran como estructuras de resistencia en el suelo por varios años, aunque, ocasionalmente, puede surgir la enfermedad en campos no infestados, a partir de semillas infectadas. Desde hace 60 años se conocen dos razas del patógeno, una de origen europeo (raza 1) y otra de origen norteamericano (raza 2). Para ellas se descubrieron fuentes de resistencia que fueron utilizadas durante décadas para producir híbridos resistentes que acabaron siendo susceptibles a algunas de las más de 40 razas de mayor virulencia que fueron rápidamente surgiendo en el mundo, a pesar de que introdujeran conjuntamente múltiples genes de resistencia. Ante la falta de alternativa fungicida frente a esta enfermedad, se ha activado la búsqueda y caracterización de nuevos genes de resistencia a las numerosas razas de *P. halstedii* descritas en diversos países que cultivan girasol<sup>[14]</sup>. Estos vienen utilizándose regularmente en los programas de mejora genética y producción de híbridos de girasol que superen la virulencia de las razas del patógeno. Para garantizar el control de epidemias, el registro oficial de híbridos (llevado a cabo en la Oficina Española de Variedades Vegetales, del MAPA) requiere la adecuada utilización de híbridos resistentes a las ra-

zas más frecuentes del patógeno en distintos países.

Como ejemplo de cultivos leñosos, uno de los métodos de control de las podredumbres de raíces del aguacate causadas por el hongo *R. necatrix* y el oomiceto *P. cinnamomi* es la selección de patrones clonales tolerantes a estas enfermedades. En el caso de *P. cinnamomi* existen en el mercado una serie de portainjertos comerciales con diversos grados de tolerancia (“Duke 7”, “Toro Canyon” y “Dusa”) desarrollados en Sudáfrica y California (EE. UU.). Respecto a *R. necatrix*, estos países no llevan a cabo programas de selección de material tolerante ya que, hasta el momento, esta enfermedad no había supuesto un problema grave, aunque en los últimos años han comenzado a aparecer focos de infección en California, norte de Israel, México, Corea y Sudáfrica. En este sentido, se propone el uso de portainjertos de aguacate tolerantes a *R. necatrix*, sin duda, como uno de los métodos más efectivos para el control de esta enfermedad en las plantaciones del litoral andaluz. Actualmente existen preselecciones, con distinto grado de tolerancia a *R. necatrix*, que están evaluando en campo. En el estudio de aproximaciones genómicas se han identificado marcadores potenciales asociados a la tolerancia a este patógeno. Se ha comprobado que se produce la inducción de genes relacionados con la defensa a patógenos en plantas de aguacate recuperadas tras un estrés hídrico moderado, y que dicha inducción está correlacionada con un aumento de tolerancia a la podredumbre blanca radicular en aguacate. Parece que los mecanismos de defensa que se inducen en aguacate frente a la infección por *R. necatrix* son muy diferentes a los que se inducen frente a *P. cinnamomi*. Por ello, parece improbable la selección de un portainjerto que muestre doble tolerancia frente a ambos patógenos únicamente mediante la selección de supervivientes tras la inoculación artificial. Otra estrategia posible sería la reali-

Se consideran suelos supresivos a diferentes patógenos, aquellos suelos en los que el desarrollo de las enfermedades es más leve debido a diferentes mecanismos que incluyen factores bióticos y abióticos y que pueden variar con el patógeno que infesta a aquellos

Las bacterias antagonistas son conocidas como los microorganismos capaces de producir un rango más diverso de componentes antimicrobianos

zación de cruzamientos libres y dirigidos entre copias de las selecciones tolerantes a *R. necatrix* y porta-injertos tolerantes a *P. cinnamomi* que se desarrollan en programas de mejora de Canarias, California y Sudáfrica, que tratan de incorporar ambas tolerancias.

Por otra parte, numerosos estudios han demostrado que la aplicación exógena de elicitores, aumenta la tolerancia a patógenos mediante la inducción de genes relacionados con la defensa. El metil jasmonato, derivado del ácido jasmónico, y el ácido salicílico son los elicitores más utilizados para el control de enfermedades, dada su implicación en la cascada de transducción de señales que conduce a la inducción de los sistemas de defensa en la planta.

## Control biológico

### Suelos supresivos y microorganismos antagonistas

El crecimiento de patógenos de plantas en cultivos, depende del incremento de poblaciones de otros miembros de la biota que pueden reducir la enfermedad de un cultivo por uno o diferentes métodos como antibiosis, competencia, micoparasitismo, interferencia con mecanismos de virulencia y la inducción de resistencia sistémica ya descrita anteriormente.

Se consideran suelos supresivos a diferentes patógenos, aquellos suelos en los que el desarrollo de las enfermedades es más leve debido a diferentes mecanismos que incluyen factores bióticos y abióticos y que pueden variar con el patógeno que infesta a aquellos. A veces algunos microorganismos antagonistas habitantes del suelo son los que causan este efecto por producción de antibióticos o enzimas líticas, por competencia por el alimento o directamente parasitando el patógeno e impidiendo que alcance una población suficiente para producir enfermedad.

Existen muchos microorganismos antagonistas en el suelo, pero la mayoría

de ellos son hongos como *Trichoderma*, *Penicillium* y *Sporidesmium*, o bacterias como *Pseudomonas*, *Streptomyces* o *Bacillus*. Se ha desarrollado mucho la investigación sobre estos microorganismos antagonistas para controlar fundamentalmente hongos de suelo fitopatógenos.

Uno de los antagonistas más importantes es *Trichoderma* spp., que ha llegado a ser utilizado en el 90 % de las aplicaciones antagonista-fitopatógeno debido a su inhibición del crecimiento por antibiosis, competencia, micoparasitismo, promoción del crecimiento de cultivos y resistencia inducida<sup>[4]</sup>. Este antagonista se ha utilizado en un amplio rango de condiciones ambientales para hongos fitopatógenos como *Fusarium*, *Pythium*, *Pyrenophora tritici-repentis*, *Rhizoctonia* y *Sclerotium cepivorum*. El primer uso de *Trichoderma* como agente de biocontrol, llevado a cabo por Horne en 1914, estableció el micoparasitismo de *T. viride* sobre *Armillaria mellea*. Las bacterias antagonistas son conocidas como los microorganismos capaces de producir un espectro más diverso de componentes antimicrobianos. El primer preparado comercial antagonista fue la cepa K84 de *Agrobacterium*, para controlar la agalla de corona causada por *Agrobacterium tumefaciens* en muchos cultivos y *Bacillus subtilis* presentó un buen control de *damping-off* y podredumbre de raíz en soja y otros cultivos. También se han utilizado mezclas de microorganismos, como *Pseudomonas syringae* en combinación con *Trichoderma atroviride*, en el control de enfermedades de postcosecha como la podredumbre gris en frutos de manzana. Asimismo, se utilizaron combinaciones de rizobacterias, tales como *Pseudomonas* y *Bacillus*, con *Trichoderma* o el fungicida fluazinam a dosis bajas. Además, aislados no patogénicos de *R. necatrix* también han presentado un exitoso control contra aislados patogénicos de *R. necatrix*, así como sus combinaciones con fluazinam a bajas dosis<sup>[2]</sup>.

Se han propuesto los micovirus como una herramienta novedosa en el control biológico de enfermedades fúngicas

### Virocontrol

Se han propuesto los micovirus, ARN de doble cadena, que infectan hongos fitopatógenos, como una herramienta novedosa en el control biológico de enfermedades fúngicas, ya que estos microorganismos pueden conferir el factor de hipovirulencia y reducir así la virulencia del hongo fitopatógeno<sup>[11]</sup>; estos micovirus varían sus porcentajes de infección a hongos desde niveles bajos a superiores al 90 %. La transmisión *in vitro* entre cepas fúngicas se realiza horizontalmente entre cepas compatibles, y entre incompatibles se consigue modificando los niveles de zinc del medio de cultivo<sup>[6]</sup>. Otro método de transfección es vía fusión de protoplastos entre diferentes especies de un mismo género o entre diferentes géneros de hongos. Esta técnica de transmisión horizontal de micovirus

confiere hipovirulencia a aislados fúngicos virulentos libres de virus, como fue el caso de aislados de *R. necatrix* en plantas de manzano y aguacate. Este nuevo método de virocontrol ya fue previamente descrito en el control del tizón del castaño causado por *Cryphonectria parasitica* en condiciones de campo, mediante transfección de un hipovirus. Recientemente se ha descrito a *Entoleuca* spp., un género de hongos de la familia *Xylariaceae*, aislado de la rizosfera de árboles de aguacate, como un novedoso agente potencial de biocontrol contra *R. necatrix* en plantas de aguacate<sup>[1]</sup>. Además, todos los aislados de *Entoleuca* estudiados en el cultivo del aguacate de la costa sur de España se presentan infectados por micovirus, pudiendo así influir en la transmisión de hipovirulencia a otros hongos patógenos como *R. necatrix* concomitantes en los suelos de plantaciones de aguacate.

## REFERENCIAS

- [1] Arjona-Girona, I. y López-Herrera, C. J. (2018). "Study of a new biocontrol fungal agent for avocado white root rot". *Biological Control* **117**: 6-12.
- [2] Arjona-López, J. M. y López-Herrera, C. J. (2020). "Control of avocado white root rot using non-pathogenic *Rosellinia necatrix* isolates combined with low concentration of fluazinam". *BioControl* **65**: 247-255.
- [3] Arjona-López, J. M., Capote, N. y López-Herrera, C. J. (2019). "Improved real-time PCR protocol for the accurate detection and quantification of *Rosellinia necatrix* in avocado orchards". *Plant and Soil* **443**: 605-612.
- [4] Benítez T. et al. (2004). "Biocontrol mechanism of *Trichoderma* strains". *Int. Microbiol.* **7**: 249-260.
- [5] Capote, N. et al. (2012). "Molecular tools for detection of plant pathogenic fungi and fungicide resistance". pp 151-202 en *Plant Pathology*. Cumagun, C. J. (ed). InTech, Rijeka, Croatia.
- [6] Ikeda, K. et al. (2013). "Potentiation of mycovirus transmission by zinc compounds via attenuation of heterogenic incompatibility in *Rosellinia necatrix*". *Applied Environmental Microbiology* **79**: 3684-3691.
- [7] Katan, J. et al. (1976). "Solar heating by poly-ethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens". *Phytopathology* **66**: 683-688.
- [8] López-Herrera, C. J. et al. (1997). "Effect of soil solarization on the control of *Phytophthora* root rot in avocado". *Plant Pathology* **46**: 329-340.
- [9] López-Herrera, C. J. et al. (1998). "Soil solarization in established avocado trees for control of *Dematophora necatrix*". *Plant Disease* **82**: 1088-1092.
- [10] Matsumoto, N. et al. (2002). "Biocontrol of root diseases of fruit trees with dsRNA: merit and perspective". *IOBC/WPRS Bulletin* **25**: 61-64.
- [11] Melero-Vara, J. M. et al. (1995). "Control of *Verticillium* wilt of cotton by means of soil solarization and tolerant cultivars in southern Spain". *Plant Pathology* **44**: 250-260.
- [12] Melero-Vara, J. M. et al. (2011). "Effects of soil amendment with poultry manure on carnation *Fusarium* wilt in greenhouses in southwest Spain". *Crop Protection* **30**: 970-976.
- [13] Molinero-Ruiz, M. L. y Melero-Vara, J. M. (2010). "Mildiu de girasol". pp. 175-189 en *Enfermedades de las Plantas causadas por Hongos y Oomicetos*. Jiménez R. M. y Montesinos, E. (eds). Ed. Phytoma/SEF. Valencia.
- [14] Ruano-Rosa et al. (2007). "Comparison of conventional and molecular methods for the detection of *Rosellinia necatrix* in avocado orchards in southern Spain". *Plant Pathology* **56**: 251-256.
- [15] Rchena, L. e Ippolito, A. (2003). "Rapid and sensitive detection of *Rosellinia necatrix* in roots and soils by real time scorpion-PCR [woody plants-Italy]". *J. Plant Pathol.* (Italy) **85**: 15-25.



## Control de enfermedades de plantas causadas por nematodos

Los autores son integrantes del grupo de investigación reconocido por la Generalitat de Catalunya, **Gestión integrada de nematodos fitoparásitos**. La investigación llevada a cabo por el grupo se centra en la biología, ecología y epidemiología de los nematodos parásitos de plantas y sus efectos en la cantidad y calidad de la producción.

**ARIADNA GINÉ BLASCO** es graduada en Ingeniería Agrícola, máster en Sistemas Agrícolas Periurbanos, y doctora por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). **NURIA ESCUDERO BENITO** es licenciada y doctorada en Biología por la Universidad de Alicante. Y **FRANCISCO JAVIER SORRIBAS ROYO** es profesor titular de Producción Vegetal de la UPC, licenciado y doctor en Ciencias Biológicas por la Universitat de Barcelona.

**ARIADNA GINÉ, NURIA ESCUDERO y FRANCISCO JAVIER SORRIBAS**

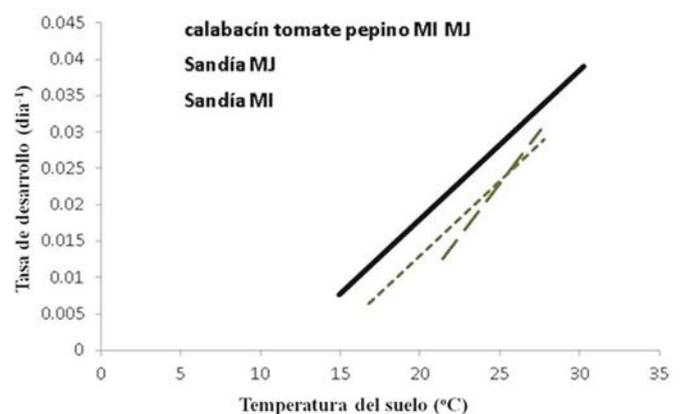
Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología  
Universitat Politècnica de Catalunya · BarcelonaTech

### Nematodos fitoparásitos

Los nematodos habitan en ambientes terrestres y acuáticos, representando más del 80 % de la diversidad taxonómica y funcional de metazoos del suelo. Su éxito biológico radica en su diversidad trófica (bacterívoros, fungívoros, predadores, omnívoros y parásitos de animales y plantas); de reproducción (sexual, asexual o hermafrodita); y de mecanismos de supervivencia frente a condiciones adversas (criobiosis, termobiosis, anoxibiosis, osmobiosis o anhidrobiosis). Algunos nematodos juegan un papel importante en el ciclo de nutrientes, otros en el control de plagas (entomopatógenos), y alrededor de una quinta parte de las 20 000 especies descritas hasta el momento son fitoparásitos. Se estiman en un 12 % las pérdidas de producción causadas por nematodos fitoparásitos a nivel mundial, aunque pueden variar según la interacción nematodo-planta-ambiente. De hecho, los nematodos pueden establecer relaciones sinérgicas con otros patógenos de plantas como hongos, bacterias y virus, incrementado la gravedad de las enfermedades y las pérdidas de producción. De entre los nematodos fitoparásitos, los endoparásitos sedentarios (nematodos agalladores y formadores de quiste) son los que causan las mayores

pérdidas a nivel mundial. Los nematodos fitoparásitos pueden afectar a cualquier órgano de la planta, causando síntomas inespecíficos que pueden confundirse con los causados por otros agentes abióticos o bióticos. En la parte aérea de las plantas se puede apreciar falta de desarrollo que, en algunos casos, conduce a la muerte de plántulas o marras de nascencia, síntomas de carencias nutricionales, deformaciones, amarilleamiento, necrosis o marchitamiento, hasta conducir a la muerte de la planta. En la parte subterránea se pueden observar proliferaciones, agallas, necrosis y podredumbres en asociación con hongos y bacterias.

El ciclo biológico general de los nematodos pasa por seis estadios de desarrollo: huevo, cuatro estadios juveniles y adulto.



**Figura 1.** Requerimientos térmicos de *M. javanica* (MJ) y *M. incognita* (MI) en calabacín, tomate o pepino (línea continua); y en sandía (línea discontinua, trazo corto, *M. incognita*; y trazo largo, *M. javanica*) (Figura elaborada por los autores).

El conocimiento de los requerimientos térmicos de los nematodos permite elaborar modelos fenológicos con el objetivo de monitorizar su desarrollo y poder actuar sobre los estadios más vulnerables para maximizar la eficacia de control, o para utilizar ciertas especies vegetales como cultivos trampa de nematodos endoparásitos sedentarios

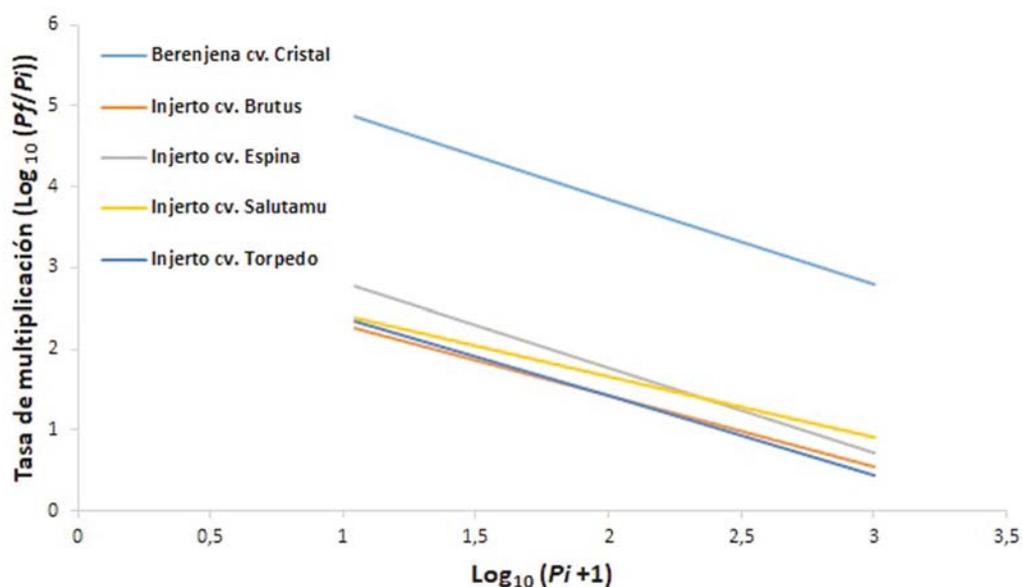
Los nematodos se distribuyen en agregados. La distancia que recorren por sus propios medios se reduce a unos pocos metros al año

Son animales poiquilotermos cuya velocidad de desarrollo depende del rango térmico de la especie. La tasa de desarrollo entre las temperaturas mínima y óptima es proporcional a la temperatura ambiental; y esta decrece entre la óptima y la máxima. El rango térmico de desarrollo puede variar entre especies de nematodos fitoparásitos y entre variantes de las mismas (termotipos o ecotipos) debido a fenómenos de adaptación. El conocimiento de los requerimientos térmicos de los nematodos permite elaborar modelos fenológicos [Figura 1] con el objetivo de monitorizar su desarrollo y poder actuar sobre los estadios más vulnerables para maximizar la eficacia de control, o para utilizar ciertas especies vegetales como cultivos trampa de nematodos endoparásitos sedentarios. Además, los nematodos necesitan ambientes húmedos para sobrevivir. De hecho, requieren de una película de agua que recubra la superficie del sustrato (suelo o planta) para moverse, de lo contrario entran en estado de resistencia o mueren. No obstante, ambientes saturados de agua no son favorables para el desarrollo de las poblaciones, pueden in-

cluso arrastrarlos por gravedad y alejarlos de la zona de desarrollo de los órganos de la planta que atacan, o incluso provocarles la muerte según la duración del período de inundación por falta de oxígeno y por el desarrollo de microorganismos anaerobios antagonistas de los mismos.

El desarrollo de las poblaciones de nematodos dependerá de su densidad en el momento de establecer el cultivo, del estatus de la planta huésped, y de los factores ambientales, tanto bióticos como abióticos, en que se produce la interacción [Figura 2].

Los nematodos se distribuyen en agregados, lo que posibilita aplicar medidas de control dirigidas a los focos de infestación, los cuales pueden ser detectados y geolocalizados a partir de la densidad de población, de imágenes hiper o multispectrales, o de síntomas de la parte aérea de la planta (cuando se conoce la causa de los mismos e historial de la parcela), y a veces complementado con síntomas de la parte subterránea (p. ej. agallas de *Meloidogyne*). La principal dispersión de los nematodos es pasiva, a consecuencia de movimientos



**Figura 2.** Tasa de multiplicación de *Meloidogyne incognita* en relación a la densidad de población en pretrasplante ( $P_i$ ) de berenjena susceptible cv. Cristal e injertada en diversos portainjertos de *Solanum torvum* resistentes (Brutus, Espina, Salutamu y Torpedo). (Figura adaptada de García Mendivil et al., 2019, *Plant Pathology*. 68:1215-1224).

La gestión de nematodos debe realizarse mediante estrategias que los combinen de forma compatible, que prioricen los métodos de regulación natural, y que consideren los factores toxicológicos, medioambientales y económicos, a fin de maximizar su eficacia y durabilidad, y minimizar los efectos indeseables para la salud y el medio ambiente

La gestión de nematodos requiere, en primer lugar, conocer los componentes de la comunidad de nematodos fitoparásitos y discernir, de entre todos ellos, cuáles suponen un riesgo para los cultivos

de tierra, escorrentía, herramientas, material vegetal infectado o insectos vectores. La distancia que recorren los nematodos por sus propios medios se reduce a unos pocos metros al año. Se mueven por los poros del suelo, por lo que, en aquellos con alta proporción de limo y arcilla, su movimiento se verá dificultado por presentar una gran proporción de poros de diámetro reducido, contrariamente a lo que ocurre en suelos de textura arenosa. Este hecho tendrá implicaciones en medidas de control como la solarización, ya que, en suelos pesados, la capacidad del nematodo para escapar de temperaturas elevadas y volver a la zona de crecimiento de las raíces una vez finalizada es limitada.

### Métodos y estrategias de gestión de enfermedades de plantas causadas por nematodos

Existen diversos métodos eficaces para el control de nematodos fitoparásitos que han sido descritos en tratados y capítulos de revisión<sup>[1,2,7,10]</sup>. La gestión de nematodos debe realizarse mediante estrategias que los combinen de forma compatible, que

prioricen los métodos de regulación natural, y que consideren los factores toxicológicos, medioambientales y económicos, a fin de maximizar su eficacia y durabilidad, y minimizar los efectos indeseables para la salud y el medio ambiente. En este apartado presentamos una estrategia general de gestión que incluye los diferentes métodos de control siguiendo un protocolo de actuación [Figura 3]. En este artículo, las especificidades por cultivos no pueden ser abordadas en detalle y remitimos a los lectores a consultar publicaciones específicas.

La gestión de nematodos requiere, en primer lugar, conocer los componentes de la comunidad de nematodos fitoparásitos y discernir, de entre todos ellos, cuáles suponen un riesgo para los cultivos. Para ello, es necesario realizar un muestreo para que laboratorios especializados procedan a la extracción, identificación y recuento de los géneros presentes (y especies cuando sea necesario). Normalmente, el agricultor es conocedor de los problemas causados por los nematodos una vez observa los síntomas y, en la mayoría de casos, después de corroborarlo con los análisis pertinentes.



**Figura 3.** Protocolo de actuación para llevar a cabo una estrategia general de gestión de nematodos fitoparásitos priorizando métodos de gestión alternativos al uso de nematicidas químicos (Figura elaborada por los autores).

**En caso de haberlas, se deben reducir las densidades de población mediante métodos como la solarización, biofumigación, o la combinación de ambas (biosolarización), o mediante fumigantes químicos antes de implantar el nuevo cultivo**

**Una vez reducidas las densidades a niveles inferiores al de detección por los métodos analíticos, se debe mejorar la fertilidad fisicoquímica y biológica del suelo para favorecer el desarrollo de la planta e interferir en el desarrollo de agentes nocivos para la misma**

Para entonces, ya debe recurrir a métodos drásticos que permitan reducir las densidades a niveles inferiores al de detección por los métodos analíticos. Así pues, el primer paso del protocolo de actuación es determinar la presencia y densidad de especies patógenas que puedan afectar al cultivo que se pretenda sembrar o trasplantar. En caso de haberlas, se deben reducir las densidades de población mediante métodos como la solarización, biofumigación, o la combinación de ambas (biosolarización), o mediante fumigantes químicos antes de implantar el nuevo cultivo.

La solarización puede alcanzar eficacias muy elevadas de control de nematodos fitoparásitos cuando se realiza durante un mínimo de cuatro semanas en la época con mayor radiación solar del año en la que se pueden alcanzar temperaturas de entre 35 °C y 50 °C, hasta, aproximadamente, 30 cm de profundidad. No es un método de control selectivo, por lo que se origina un cambio en la composición de las comunidades de meso y microorganismos del suelo, reduciendo aquellos componentes termosensibles a favor de los termorresistentes, algunos de los cuales pueden ser antagonistas de patógenos de plantas incluidos los nematodos.

La incorporación al suelo de materia orgánica fresca de origen vegetal, animal, o ambas, da lugar a su fermentación produciendo un incremento de la temperatura y una reducción de la concentración de oxígeno que favorece la proliferación de organismos anaerobios productores de compuestos tóxicos para los nematodos y otros organismos del suelo. Este proceso se conoce como biofumigación. Su eficacia depende del tipo y cantidad de materia orgánica, de la época del año en la que se realiza, si se utiliza o no cobertura plástica y del tipo de plástico. La cantidad de nitrógeno aportado con la biofumigación con estiércol fresco es un factor determinante de la eficacia pero también de la posible contaminación de acuíferos, limitando por ello su

aplicación. La eficacia de control aumenta cuando la materia vegetal fresca proviene de la incorporación de cultivos de cobertura no huésped, hospedadores pobres o resistentes de los nematodos a controlar y que, además, producen compuestos tóxicos en el proceso de fermentación, como son las brassicáceas, algunas gramíneas y las compuestas. La combinación de ambos métodos, la denominada biosolarización, permite alcanzar altas eficacias de control reduciendo la cantidad de estiércol fresco a aplicar y, consecuentemente, el impacto medioambiental.

En ciertos patosistemas las prácticas anteriormente mencionadas no son efectivas debido a factores limitantes, clima, disponibilidad de agua o de materia orgánica. El uso de fumigantes químicos con acción nematicida es una alternativa, aunque está prohibido en producción ecológica, y en otros sistemas de producción certificados debe estar debidamente justificado, cuando no expresamente autorizado por la entidad reguladora, a riesgo de perder la certificación. Los fumigantes autorizados por la legislación europea son escasos (Dazomet, Metam-Na y Metam-K), así como el número de nematicidas no fumigantes (EU Pesticides database, mayo 2020). De las 18 sustancias activas registradas como nematicidas en los últimos 20 años, solo ocho de ellas están autorizadas en la actualidad, y para siete de estas, la autorización expirará en los próximos tres años. La renovación de estas sustancias activas en el registro europeo podría enfrentarse a severas restricciones de uso, debido a las elevadas exigencias en la evaluación del actual reglamento. A la vez, el uso de nematicidas químicos se ve restringido por la Directiva 2009/128/CE que promueve el uso sostenible de los productos para la protección de las plantas.

Una vez reducidas las densidades a niveles inferiores al de detección por los métodos analíticos, se debe mejorar la fertilidad fisicoquímica y biológica del suelo para favo-

A la hora de implantar el cultivo, la elección de material vegetal certificado libre de organismos nocivos es básica por ser una de las principales fuentes de inóculo

El germoplasma seleccionado debería ser resistente o un huésped pobre y tolerante a los nematodos patógenos detectados en la zona, reduciendo así la capacidad de los mismos para infectar, desarrollarse y reproducirse en el mismo sin que sufra mermas significativas de producción

Además, debe estar adaptado a las condiciones edafoclimáticas de la zona de producción, ya que el ambiente es un factor que predispone a la enfermedad

recer el desarrollo de la planta e interferir en el desarrollo de agentes nocivos para la misma. La aplicación de enmiendas orgánicas, como son el estiércol elaborado de origen animal, compost, residuos agroindustriales, abono vegetal fresco procedente de cultivos de cobertura, entre otros, crean un ambiente supresivo para el desarrollo de las poblaciones de nematodos. A su vez, un adecuado programa de rotación de cultivos, el uso de cultivos intercalados o de cubiertas vegetales en cultivos de larga duración, que mejore las características físicas del suelo, que no comprometa la disponibilidad de nutrientes y agua para el/los cultivo/s, y que promueva la actividad y diversidad microbiana, es esencial para mejorar la capacidad antagónica del suelo. Se han descrito suelos supresivos de *Heterodera*, *Globodera*, *Nacobbus aberrans*, *Meloidogyne* y *Mesocriconema xenoplax*. Los mecanismos que hacen que un suelo sea, o pueda llegar a ser, supresivo, aún no están claros y pueden estar relacionados tanto con factores bióticos como abióticos, aunque la supresividad del suelo principalmente suele ser por el establecimiento, conservación y aumento de especies antagónicas. En España se han descrito suelos supresivos a *Meloidogyne* en los que el componente microbiano estaba representado por un conjunto de microorganismos con capacidad antagónica, destacando el hongo parásito de huevos de nematodo *Pochonia chlamydosporia*. En estos, el manejo agronómico también jugaba un papel preponderante. La aplicación de enmiendas orgánicas y abonos verdes, y la rotación de cultivos, permitían preservar y estimular la actividad microbiana del suelo, disminuyendo así la incidencia de nematodos<sup>[6]</sup>.

A la hora de implantar el cultivo, la elección de material vegetal certificado libre de organismos nocivos es básica por ser una de las principales fuentes de inóculo. El germoplasma seleccionado debería ser resistente o un huésped pobre y tolerante a los nematodos patógenos detectados

en la zona, reduciendo así la capacidad de los mismos para infectar, desarrollarse y reproducirse en el mismo sin que sufra mermas significativas de producción. Además, debe estar adaptado a las condiciones edafoclimáticas de la zona de producción, ya que el ambiente es un factor que predispone a la enfermedad. El uso de material vegetal resistente en monocultivo conduce a la selección de poblaciones virulentas capaces de romper la resistencia conferida por genes específicos de la planta, o en caso de ser durables, a cambios en los componentes de la comunidad de nematodos fitoparásitos y a la densidad de los mismos originando nuevos problemas de difícil solución. La identificación de nuevas fuentes de resistencia, y que en algunos casos lo son para diversos nematodos fitoparásitos, permite una mejor gestión de los mismos cuando se incorporan en el marco de estrategias de gestión integrada junto con el resto de métodos de control.

El uso de microorganismos que confieren resistencia o tolerancia a la planta también contribuye a diversificar las fuentes de resistencia. Por ejemplo, se ha demostrado que diversas especies de *Trichoderma*, *P. chlamydosporia* y *Bacillus firmus* confieren resistencia a *Meloidogyne* en cultivares de tomate no portadores del gen *Mi1.2* de resistencia al nematodo<sup>[3,8,4,5,9]</sup>; la resistencia conferida por *Trichoderma* se transfiere a la descendencia y es aditiva a la conferida por el gen *Mi1.2*<sup>[3,9]</sup>. Además del efecto que estos microorganismos pueden tener sobre la planta, algunos pueden actuar directamente sobre el nematodo parasitando algunos estadios de desarrollo, o mediante la producción de metabolitos tóxicos que afectan a su viabilidad. La capacidad antagónica del suelo se puede incrementar mediante la aplicación de formulados comerciales a base de microorganismos autorizados en Europa, y la mayoría registrados en España, a base de *Bacillus firmus* I-1582, *Purpureocillium lilacinum* 251, o *Pasteuria nishizawae* Pn1. La eficacia del control

La elaboración de secuencias de rotación de cultivos herbáceos en base al estatus de la planta como hospedador de nematodos fitoparásitos, también debe considerar la posibilidad de inducir resistencia en germoplasmas susceptibles mediante la interacción con microorganismos

Al finalizar el cultivo, este se debe arrancar para evitar que incremente la densidad de inóculo, así como para eliminar la fuente de alimentación

biológico es escasa cuando se utiliza como único método de control o cuando las densidades de población son elevadas. La capacidad de control a corto plazo es escasa comparada con otros métodos, aunque se sabe muy poco sobre su eficacia a medio o largo plazo. Un mejor conocimiento de las características biológicas y de los factores limitantes de la actividad de los antagonistas, de las interacciones con los diferentes estadios de desarrollo de los nematodos así como con las plantas, podría mejorar la eficacia de control.

La elaboración de secuencias de rotación de cultivos herbáceos en base al estatus de la planta como hospedador de nematodos fitoparásitos, también debe considerar la posibilidad de inducir resistencia en germoplasmas susceptibles mediante la interacción con microorganismos, así como las fechas de plantación de cada uno de los cultivos para disminuir el tiempo de interacción planta-nematodo, o para conseguir que alguno de los cultivos actúe como trampa de nematodos endoparásitos sedentarios. Es decir, el nematodo infecta las raíces pero no llega a reproducirse antes de finalizar el cultivo, del cual se arrancan o se destruyen las raíces. Algunos ejemplos de cultivos trampa para el control de *Meloidogyne* pueden ser cultivos susceptibles de ciclo corto y con un rendimiento económico para el agricultor como la lechuga o la rúcula. Otro tipo de cultivo trampa es el uso de plantas que induzcan la eclosión de los huevos pero que, a la vez, no sean buenos huéspedes, o huéspedes resistentes, por lo que, una vez eclosionados los huevos, los juveniles mueran por compuestos nematicidas producidos por ellas, como es el caso del uso de *Solanum sisymbriifolium* para el control de *Globodera pallida*, o el cultivo de plantas que contengan compuestos nematicidas, como las caléndulas para *Pratylenchus penetrans*. La modificación de la fecha de plantación puede reducir las poblaciones de nematodos si el cultivo finaliza antes de

que las hembras depositen los huevos, siendo un efecto parecido al del cultivo trampa. También el número de generaciones del nematodo se puede reducir y, por tanto, la densidad de inóculo que podrá parasitar al siguiente cultivo, como se ha descrito en el patosistema *Meloidogyne*–calabacín.

Al finalizar el cultivo, este se debe arrancar para evitar que incremente la densidad de inóculo, así como para eliminar la fuente de alimentación. El posterior trabajo del suelo altera sus condiciones ambientales debido a la exposición a la radiación solar y a la pérdida de humedad, afectando a la viabilidad de los nematodos. El descanso del suelo entre cultivos, durante el que no se permite el desarrollo de plantas huésped, comporta un desgaste para aquellos estadios de desarrollo que no son de resistencia, y su eficacia es aún mayor al combinar el descanso con el laboreo del suelo. La duración de los períodos de descanso, y la temperatura acumulada durante los mismos, afectan al porcentaje de supervivencia del nematodo al tratarse de organismos poiquiloterms y, en su mayoría, parásitos obligados de plantas. La posterior implementación de cultivos de cobertera que serán incorporados al suelo como abono en verde, puede, a su vez, ser un método de control cuando se cultivan especies con propiedades biofumigantes, como por ejemplo, la mostaza, nabo forrajero, sorgo del Sudán, *Tagetes*, entre otras, y en las cuales el nematodo no alcanza a reproducirse durante el tiempo de cultivo o las condiciones ambientales no lo permiten por no alcanzar los grados acumulados necesarios durante el cultivo, actuando así como cultivo trampa de nematodos endoparásitos sedentarios.

La elaboración de estrategias de gestión no es un trabajo fácil, aunque sí es apasionante y dinámico, a consecuencia de la mejora del conocimiento de los agroecosistemas, el desarrollo de nuevas herramientas de control, el descubrimiento y caracterización de nuevo germoplasma vegetal, de

antagonistas y sus modos de acción, etc., y los avances tecnológicos que permiten desarrollar nuevas herramientas para utilizarlas en la toma de decisiones. Normalmente, la duración de los proyectos de investigación es insuficiente para poder

evaluar la eficacia de estrategias de gestión a medio y largo plazo, lo que permitiría tener un conocimiento más profundo de la durabilidad de las mismas y del efecto de éstas en las complejas relaciones multitro-  
ficas que ocurren en los agroecosistemas.

## REFERENCIAS

- [1] Andrés, M. F. y Verdejo-Lucas, S. (eds.) (2011). *Enfermedades causadas por nematodos fitoparásitos en España*. SEF, Phytoma España. Valencia. 256 pp.
- [2] Davis, K. G. y Spiegel, Y. (eds.) (2011). *Biological control of plant-parasitic nematodes: building coherence between microbial ecology and molecular mechanisms*. Springer Dordrecht. 314 pp.
- [3] de Medeiros, H. A. et al. (2017). "Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica* linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride*". *Sci. Reps.* **7**: 40216.
- [4] Ghahremani, Z. et al. (2019). "*Pochonia chlamydosporia* Induces plant-dependent systemic resistance to *Meloidogyne incognita*". *Front. Plant Sci.* **10**: 945.
- [5] Ghahremani, Z. et al. (2020). "*Bacillus firmus* strain I-1582, a nematode antagonist by itself and through the plant". *Front. Plant Sci.* **10**: 3042.
- [6] Giné, A. et al. (2016). "Characterization of soil suppressiveness to root-knot nematodes in organic horticulture in plastic greenhouse". *Front. Plant Sci.* **7**: 164.
- [7] Gullino, M. L., Albajes, R. y Nicot, P. C. (eds.) (2020). *Integrated pest and disease management in greenhouse crops*. 2<sup>nd</sup> edition. Springer. Switzerland. 545 pp.
- [8] Martínez-Medina, A. et al. (2017). "Shifting from priming of salicylic acid- to jasmonic acid-regulated defences by *Trichoderma* protects tomato against the root knot nematode *Meloidogyne incognita*". *New Phytol.* **213**: 1363-1377.
- [9] Pocurull, M. et al. (2020). "Commercial Formulates of *Trichoderma* induce systemic plant resistance to *Meloidogyne incognita* in Tomato and the effect is additive to that of the *Mi-1.2* resistance gene". *Front. Microbiol.* **10**: 3042.
- [10] Sikora, R. A., et al. (eds.) (2018). *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 3<sup>rd</sup> edition. CABI, Wallingford, Reino Unido. 898 pp.



## DESINFESTACIÓN DE SUELO EN EL CULTIVO DE LA FRESA EN LA PROVINCIA DE HUELVA

MIGUEL TALAVERA, JUAN JESÚS MEDINA, LUIS MIRANDA y BERTA DE LOS SANTOS

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible (IFAPA-CAGPDS). Junta de Andalucía

El cultivo de frutos rojos en la provincia de Huelva se considera un motor económico y social esencial de la provincia, con 12 627 hectáreas dedicadas a los mismos. En 2018, estos cultivos generaron 1117 millones de euros en ventas al exterior, lo que supone el 85 % del total de las exportaciones hortofrutícolas de esta provincia, líder europeo en producción de fresa y el mayor exportador mundial.

El cultivo de la fresa, como otros cultivos hortícolas intensivos, es altamente dependiente de la desinfestación de suelo, debido al monocultivo (sin rotación) y a la larga duración de los ciclos de cultivo (6-7 meses), por lo que las poblaciones de patógenos edáficos se incrementan a niveles por encima de los umbrales de daño. Desde la prohibición del uso del bromuro de metilo, fumigante de amplio espectro y fácil de aplicar en un amplio rango de tipos de suelo, se ha observado la aparición de numerosas enfermedades (como la podredumbre carbonosa y la fusariosis) y el resurgir

**Desde la prohibición del uso del bromuro de metilo, fumigante de amplio espectro y fácil de aplicar en un amplio rango de tipos de suelo, se ha observado la aparición de numerosas enfermedades y el resurgir de otras que estaban prácticamente erradicadas**

de otras que estaban prácticamente erradicadas, ya que las alternativas propuestas han sido menos flexibles en cuanto a forma de aplicación y a las condiciones necesarias para mantener su eficacia, siendo a la vez más específicas contra sus patógenos dianas. Por ello, numerosos autores relacionan el incremento de la incidencia de patologías asociadas a patógenos edáficos con los cambios realizados en los productos utilizados para la desinfestación de suelos y en su forma de aplicación. Este incremento de incidencia de enfermedades ocasionadas por patógenos de suelo también podría estar influenciado por el cambio climático. En el caso de los nematodos, los incrementos de temperatura acortan sus ciclos

vitales, con lo que el inóculo en suelo aumenta más rápidamente. De otra parte, el hongo *Macrophomina phaseolina*, considerado patógeno de climas cálidos ha avanzado hacia zonas de climas más templados.

A pesar del uso prácticamente generalizado de fumigantes químicos, los hongos de suelo (*M. phaseolina* y *Fusarium* spp.) y los nematodos (*Meloidogyne* spp. *Pratylenchus penetrans* y *Hemicycliophora* spp.) se hallan ampliamente extendidos en la provincia de Huelva, con un 82 % y 63 % de parcelas infestadas, respectivamente. Entre 2012 y 2014, la in-

**A pesar del uso prácticamente generalizado de fumigantes químicos, los hongos de suelo y los nematodos (*Meloidogyne* spp. *Pratylenchus penetrans* y *Hemicycliophora* spp.) se hallan ampliamente extendidos en la provincia de Huelva**

cidencia media de patógenos fúngicos en plantas de fresa sintomáticas fue: 60 %, *Macrophomina phaseolina*; 23 %, *M. phaseolina* asociada a otras especies (fundamentalmente especies de *Fusarium*); 8 %, *Fusarium* spp.; 5 %, *Colletotrichum acutatum*; 3 %, hongos asociados a la podredumbre de las raíces; y 1 %, *Phytophthora cactorum*<sup>[2]</sup>. De otra parte, se han detectado 19 nuevos focos de fusariosis en la provincia de Huelva en la campaña 2014-15,

confirmándose todos los aislados evaluados como *F. oxysporum* f. sp. *fragariae*<sup>[1]</sup>. En el caso de los nematodos fitoparásitos, *Meloidogyne hapla* fue el más extendido, encontrándose en el 77 % de las parcelas; seguido de *Hemicycliophora* spp., 30 %; y *Pratylenchus penetrans*, 20 %. En definitiva, tenemos constancia de un incremento en la incidencia de determinadas enfermedades fúngicas y nematodos y de su dispersión geográfica en la zona fresera onubense, ocasionadas además por microorganismos capaces de producir estructuras

de resistencia que les permiten una alta persistencia en suelo, incluso en ausencia de la planta hospedadora.

Se estima que las pérdidas actuales en los cultivos de fresa en la zona ocasionadas por hongos de suelo están en torno al 10 % de la cosecha, y del 6 %, en el caso de nematodos<sup>[5]</sup>, estimándose pérdidas cercanas a los 27 millones de euros<sup>[4]</sup>.

Al no existir resistencias descritas en la fresa frente a estos patógenos, la desinfestación del suelo constituye la principal estrategia de



Plantas de fresa mostrando síntomas de infección por *Meloidogyne hapla* (Imagen propiedad de los autores).

control de patógenos edáficos en la zona. Actualmente, la desinfestación de suelo se practica en el 83 % de las parcelas, siendo el tratamiento más extendido la aplicación de 1,3-dicloropropeno:cloropicrina, seguido por metam sodio y dazomet. Estos métodos son los más eficaces en la reducción de las poblaciones de patógenos de suelo; por ejemplo, las

**Con la situación normativa actual, y salvo por las autorizaciones temporales, los agricultores carecen de alternativas químicas para la desinfestación de suelos, lo que puede comprometer la productividad de estos cultivos y su viabilidad económica, en casos de altas infestaciones por patógenos de suelo**

densidades de *Meloidogyne* en suelo se redujeron entre un 78 % y un 87 % tras la fumigación con 1,3-dicloropropeno:cloropicrina o con dimetil disulfuro, mientras metam sodio y otros productos fitosanitarios no fumigantes mostraron eficacias que oscilaban entre el 51 % y el 64 % y otros productos biológicos o biopesticidas no llegaban al 50 %<sup>[6]</sup>.

No obstante, recientemente los fumigantes de suelo hasta ahora autorizados en los Reglamentos de Producción Integrada de Andalucía para fresa, frambuesa y mora –dazomet, metam sodio y metam potasio (generadores de metil isocianato)– no han superado la revisión de los principios uniformes establecidos por el Reglamento (CE) n.º 1107/2009, y la autorización para su uso ha sido cancelada por la Dirección General de Sanidad de la Producción Agraria, mientras que el uso de 1,3 dicloropropeno y cloropicrina, o sus mezclas, están sujetos a la concesión de usos excepcionales por cultivo, zona y problema, concesión que se encuentra sometida a varios recursos. Por ello, con la situación normativa actual, y salvo por las autorizaciones temporales, los agricultores carecen de alternativas químicas para la desinfestación de suelos, lo que puede comprometer la productividad de estos cultivos y su viabilidad económica, en casos de altas infestaciones por patógenos de suelo. La búsqueda e implementación a corto plazo de alternativas de control de patógenos de suelo en el cultivo de la fresa es, por tanto, urgente.

Varios OPIS, como IFAPA, IMIDA e INIA, a través de distintos proyectos de investigación y transferencia, así como de convenios y contratos de asistencia técnica han seguido trabajando en la mejora de las aplicaciones de fumigantes y en el desarrollo de técnicas no químicas de desinfestación de suelos; pero, actualmente, no es posible recomendar una solución universal y única como fueron en su momento el bromuro de metilo u otros fumigantes de suelo. Por ello nos encontramos ante el reto

que supone desarrollar nuevas alternativas de manejo del suelo que sean eficaces en el control de enfermedades y, a la vez, viables económica y ambientalmente, conservando la biodiversidad edáfica y maximizando los servicios ecosistémicos que proporciona el suelo. Algunas opciones están basadas en la biodesinfestación (solarización, biofumigación, biosolarización). En la fresa, se ha demostrado la eficacia de la biosolarización con gallinaza fresca y cómo su uso continuado facilita pro-

**Nos encontramos ante el reto que supone desarrollar nuevas alternativas de manejo del suelo que sean eficaces en el control de enfermedades y, a la vez, viables económica y ambientalmente**

ducciones cercanas a las obtenidas con desinfestaciones químicas, sin provocar contaminación por nitratos. Sin embargo, estas técnicas no son de fácil adopción por los agricultores. Otras opciones son: el uso de fungicidas y nematicidas registrados y autorizados (de menor eficacia que los fumigantes, pero más sostenibles ambientalmente); la aplicación de organismos de control o protección biológica y bioestimulantes; el uso de variedades tolerantes; las aplicaciones de ozono y peróxidos (aún sin resultados concluyentes en cuanto a

su eficacia en la reducción de los niveles de patógenos); o bien, en caso de que no haya otras alternativas, la única posible pasa a ser el cultivo sin suelo, siempre que el coste de su instalación sea amortizable en un periodo relativamente corto de tiempo.

En cualquier caso, la eficacia de cualquiera de estas técnicas en la supresión de patógenos de suelo se ha mostrado menor que la de los fitosanitarios fumigantes. Y, aunque en casos de infestaciones bajas o medias del suelo pueden resultar suficientemente eficaces, en aquellos casos de altos niveles de inóculo de patógenos en suelo, no son suficientes para reducir los niveles por debajo de los umbrales de daño al cultivo por sí mismas, por lo que la combinación de distintas técnicas en una estrategia de manejo integrado de las enfermedades del suelo en el cultivo de la fresa, basada en el conocimiento científico adquirido, se hace más necesaria que nunca<sup>[3]</sup>. Este tipo de estrategias requieren un mayor esfuerzo en el conocimiento del problema



A) Aplicación de materia orgánica al suelo. B) Riego por aspersión. C) Colocación de láminas de polietileno (solarización). D) Elaboración de los lomos de cultivo e instalación de cinta de riego (Imágenes propiedad de los autores).

fitosanitario, especies de patógenos implicadas, nivel de inóculo y eficacia en la reducción del inóculo de las técnicas elegidas, a fin de poder optar por una combinación de técnicas lo más eficaz posible según el caso y la problemática. Además, es necesario concienciar a los agricultores y técnicos sobre el concepto

“suelo sano”, y de la viabilidad de estas alternativas, a través de acciones de transferencia, jornadas, mesas redondas, etc. donde intervengan todos los actores implicados, siendo necesarios nuevos desarrollos en investigación, formación y transferencia y, por supuesto, apoyo legislativo y normativo.

## REFERENCIAS

- 1 Borrero C. et al. (2017). “New foci of strawberry *Fusarium* wilt in Huelva (Spain) and susceptibility of the most commonly used cultivars”. *Scientia Horticulturae* **226**: 85-90.
- 2 Domínguez P. et al. (2014). “Soil biosolarization for sustainable strawberry production”. *Agronomy for Sustainable Development* **34**: 821-829.
- 3 Greco, N. et al. (2020). “Sustainability of European vegetable and strawberry production in relation to fumigation practices in the EU”. *Acta Horticulturae* **1270**: 203-210.
- 4 Lacasa, A. et al. (2018). *Agricultura intensiva, nematodos y 1,3 dicloropropeno*. Diego Marín, Libro-Editor S.L. Murcia. 274 pp.
- 5 Talavera, M. et al. (2018). *Problemática fitopatológica del cultivo de la fresa en Huelva*. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. 15 pp.
- 6 Talavera-Rubia, M. et al. (2019). “Nivel de eficacia de los fitosanitarios frente a los nematodos”. *Phytoma España* **314**: 98-102.



# IDENTIFICACIÓN Y EPIDEMIOLOGÍA DE FITOPLASMAS EN FRUTALES Y VID EN ESPAÑA

ASSUMPCIÓ BATLLE y AMPARO LAVIÑA

Programa de Protección Vegetal Sostenible

Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA)

Cabrils, Barcelona.

Los fitoplasmas son procariontes de crecimiento limitado al floema, que se transmiten por insectos y que causan daños en las especies cultivadas y en los ecosistemas naturales en todo el mundo. Pertenecen al reino o dominio *Eubacteria*, *phylum Tenericutes* y clase *Mollicutes*. El término ‘mollicute’ significa “piel blanda” debido a la ausencia de pared celular, lo que les confiere sensibilidad a la lisis osmótica, resistencia a la penicilina y a otros antibióticos que inhiban la síntesis de la pared celular; sin embargo, sí son sensibles a las tetraciclinas. Considerados parásitos obligados, ya que dependen del huésped para su existencia: colonizan los vasos conductores del floema en las plantas, causando desequilibrios hormonales en ellas.

Durante muchos años se pensó que las enfermedades asociadas actualmente a fitoplasmas eran debidas a virus, ya que presentaban una sintomatología parecida y además se transmitían

por insectos como muchos virus. En 1967, un grupo de fitopatólogos japoneses demostraron, gracias a la microscopía electrónica, que algunas enfermedades llamadas *yellows diseases* eran producidas por células procariontes y no por virus, como se presumía hasta entonces. El desarrollo de métodos de biología molecular y, en concreto, la aplicación de la PCR para la detección de fitoplasmas, fue un gran avance para poder identificar y caracterizar los fitoplasmas.

En un inicio se les llamó *mycoplasmas lyke organism* o MLO. En el año 1994, el Comité de Taxonomía de los Mollicutes de la IOM, estableció el nombre actual de fitoplasmas. Al no ser todavía cultivables, se utiliza el epíteto *Candidatus* delante del género *Phytoplasma*: *Candidatus phytoplasma* ([The IRPCM phytoplasma/spiroplasma Working Team 2004](#)).

Actualmente se clasifican basándose en la secuen-

**Los fitoplasmas son parásitos obligados, ya que dependen del huésped para su existencia: colonizan los vasos conductores del floema en las plantas, causando desequilibrios hormonales en ellas**

cia del gen ribosómico 16S, habiéndose establecido 33 grupos y propuesto más de 40 especies del género *Candidatus Phytoplasma*<sup>[3]</sup>, aunque el conocimiento de la secuencia de otras zonas del genoma, ha hecho que se esté cuestionando la pertenencia de algunos de ellos en un mismo grupo.

Debido a que se encuentran en el floema, los síntomas que ocasionan son parecidos a los de las enfermedades vasculares. Durante muchos años, estos síntomas han servido para poder diagnosticar enfermedades asociadas a los fitoplasmas. Los principales síntomas causados en planta son: entrenudos cortos, enanismo, decaimiento, desajustes vegetativos o necrosis. En flor, son: floración fuera de época, filodios, pérdida de dominancia apical (escobas de bruja), esterilidad y malformaciones. Los frutos pueden ser pequeños. Los fitoplasmas son transmitidos a través del material vegetal y, de manera natural, por insectos pertenecientes al orden Hemiptera (suborden Auchenorrhyncha; familias *Cicadellidae*, *Cixiidae*, *Cercopidae* y *Fulgoridae*; y al suborden Sternorrhyncha, familia *Psyllidae*), con multiplicación persistente en el insecto y con un periodo de latencia de 10 a 45 días.

En estos últimos 30 años ha habido un gran avance en el conocimiento de estas enfermedades provocadas por fitoplasmas, y estos han podido ser identificados y clasificados, se han realizado trabajos epidemiológicos y se ha iniciado la secuenciación de muchos de ellos, disponiéndose ya del genoma completo de algunos, entre ellos, el del causante de la pro-

## Los fitoplasmas son transmitidos a través del material vegetal y, de manera natural, por insectos pertenecientes al orden Hemiptera, con multiplicación persistente en el insecto y con un periodo de latencia de 10 a 45 días

liferación del manzano (*Candidatus Phytoplasma mali*).

Su citoplasma contiene ribosomas del tipo 70S para la síntesis proteica, y un cromosoma, que para la mayoría de fitoplasmas es circular—como en casi todos los mollicutes—excepto para los del grupo ribosómico X, que lo tienen lineal<sup>[4]</sup>. Se ha detectado también la presencia de ADN extracromosómico<sup>[4]</sup>.

El conocimiento del genoma ha permitido saber que este ha sufrido una reducción regresiva considerable en su proceso evolutivo, por lo que depende del huésped para muchos de sus procesos metabólicos<sup>[7]</sup>, siendo uno de los motivos por los que no han podido ser cultivados en condiciones axénicas. Aunque existe una única cita de su cultivo, no se ha demostrado la viabilidad de las colonias obtenidas.

Algunos de los genes identificados son los que codifican las proteínas de membrana, las cuales, al igual que ocurre en otros patógenos (virus

y bacterias), pueden tener un importante papel en las relaciones huésped/patógeno y también en las relaciones fitoplasma–insecto vector. La proteína antigénica de membrana Amp parece estar involucrada en la especificidad de transmisión del fitoplasma por un determinado vector.

Los fitoplasmas pueden observarse en forma esférica o filamentosa. Las primeras se encuentran cuando están en crecimiento activo y tienen entre 175 y 400 nanómetros (nm) de diámetro. Las formas filamentosas se encuentran en los tejidos conductores maduros y pueden llegar a tener entre 800 y 1700 nm de longitud. Están rodeados de una membrana plasmática trilaminar, de unos 10 nm de grosor, compuesta, al igual que en el resto de los procariontes, de dos tercios de proteínas y un tercio de lípidos. Son pleomórficos, lo que les confiere la capacidad de pasar a través de los poros de las células cribosas del floema donde se ubican.

Los fitoplasmas causan graves daños, tanto en plantas hortícolas como en leñosas, lo que ha hecho que la EPPO estableciera medidas de control para evitar la expansión de algunos de ellos, como los identificados en Europa produciendo pérdidas económicas importantes, como el decaimiento del peral (PD), la proliferación del manzano (AP), los amarilleamientos de los frutales de hueso (ESFY), la flavescencia dorada de la vid (FD) y el *bois noir* o stolbur. En estos últimos años se ha desarrollado un gran número de trabajos para determinar la importancia de estas enfermedades en nuestro país y conocer su epidemiología y su posible control. Estas enfermedades están



Figura 1. Árboles muy afectados de Pear Decline, con enrojecimientos, de la variedad *abate fetel* (Fotografía suministrada por Jordi Sabaté).

por el fitoplasma y con capacidad de transmisión, obteniéndose el mayor porcentaje de transmisión en agosto. Los porcentajes de psilas infectadas fueron similares entre sexos; sin embargo, las hembras transmitieron el fitoplasma en mayor porcentaje que los machos [2]. En las prospecciones realizadas en Aragón, Extremadura, Cataluña y Valencia para determinar la incidencia de la enfermedad en parcelas afectadas, se determinó que esta oscilaba entre un 5 y un 60 %, dependiendo de la variedad y del portainjerto, siendo la más alta en parcelas de la var. Limonera injertada en *Cydonia oblonga* y la menor en blanquilla. La incidencia media en Cataluña estaba alrededor del 7 %.

En los últimos años se ha identificado *Ca. P. pyri* en parcelas de melocotonero de Lleida, causando la enfermedad conocida como *Peach yellow leaf roll* [8].

incluidas en las listas EPPO como organismos de cuarentena (Lista A2, 9/2010).

**El decaimiento del peral o Pear decline (PD).** Actualmente, el *Candidatus Phytoplasma pyri* (*Ca. P. pyri*) se clasifica dentro del grupo 16 SrX-C y se encuentra en todos aquellos países donde se cultiva el peral y afecta a todas las especies de *Pyrus* y de membrillero. La primera descripción de esta enfermedad se conoció por el nombre de “moria”.

La sintomatología de la enfermedad es variable dependiendo de la variedad y del portainjerto utilizado. Los más patentes son: menor desarrollo vegetativo, necrosis de botones florales y yemas terminales. Las hojas son algo más pequeñas, con un ligero enrollamiento marginal y toman una coloración rojiza a mediados de verano, pudiendo caer prematuramente [Figuras 1 y 2]. En

el caso del decaimiento lento, que es el observado hasta el momento en nuestro país, la muerte del árbol se produce a partir de los dos años desde el inicio de la enfermedad; sin embargo, en algunos casos se puede producir una recuperación temporal del mismo.

En España fue observada y descrita en los años 60 y fue confirmada por PCR en 1994. El PD no representó ningún problema grave hasta los años 80, coincidiendo con un gran aumento de las poblaciones de *Cacopsylla pyri*, uno de los vectores de esta enfermedad y el más eficiente en el área mediterránea. Los estudios de transmisión realizados con individuos de *C. pyri* capturados a lo largo del año en parcelas afectadas, señaló que durante todo el año se presentan individuos infectados



Figura 2. Síntomas de Pear decline en la variedad *bartlett* (Fotografía suministrada por las autoras).

Los amarilleamientos de los frutales de hueso o *European Stone fruit yellows phytoplasma* (ESFY). Actualmente, el *Ca. Phytoplasma prunorum* se clasifica dentro del grupo 16SrX-B y afecta a todas las especies de *Prunus* L. Ha sido identificado también en plantas asintomáticas de *Fraxinus* sp., *Rosa* sp. y *Celtis australis*. El *Prunus mahaleb* es un huésped natural asintomático en el sur de Europa. Los síntomas de la enfermedad son: brotación anticipada en invierno, amarilleamiento, decaimiento y enrollado de hojas en verano [Figura 3]. Las enfermedades más graves que causa *Ca. P. prunorum* son el enrollamiento clorótico del albaricoquero (ACLR) y la leptonecrosis del ciruelo, que consiste en la aparición de una coloración rojiza en el tejido liberiano, que se observa fácilmente cortando la corteza. También puede producir aplopexia, que consiste en la muerte de la planta, sobre todo en inviernos muy fríos. Ha sido descrito en la mayoría de países de Europa en frutales de hueso.

En España se observaron graves desordenes vegetativos en albarico-

### Las enfermedades más graves que causa *Ca. P. prunorum* son el enrollamiento clorótico del albaricoquero y la leptonecrosis del ciruelo

queros y ciruelo japonés en Valencia, en 1973, pero fue a finales de los años 80 cuando se estudió con mayor profundidad. Sin embargo, el vector *Cacopsylla pruni* no fue identificado hasta el año 2003 en plantaciones del Baix Llobregat (Barcelona). En las prospecciones realizadas en años posteriores en plantaciones de Extremadura, Valencia y Aragón, también se identificó el vector [9].

Un estudio realizado en el Baix Llobregat (Barcelona) para determinar el ciclo de *C. pruni* mostró que esta especie presenta dos picos poblacionales: uno, a mediados de marzo correspondiente a los adultos

reinmigrantes; y otro, a mediados de junio, nuevas generaciones, que a partir del mes de julio se desplazan a los refugios invernales. El seguimiento de las poblaciones de esta especie se realizó tanto en *Prunus* cultivados como en silvestres, determinándose un ciclo similar. El porcentaje de individuos portadores del fitoplasma es mayor en los adultos reinmigrantes (20-30 %) que en los de las nuevas generaciones (7-15 % de portadores) [9].

El hecho de que el vector pueda completar su ciclo enteramente sobre huéspedes salvajes infectados, y emigrar a los cultivos con capacidad de transmisión, independientemente del manejo de las plantaciones, hace que los *Prunus* silvestres tengan un papel clave en la epidemiología de los ESFY y, por tanto, en su posible control.

La enfermedad ha sido descrita en todas las regiones españolas donde se cultivan *Prunus* sp. Las especies de *Prunus* con mayor sensibilidad a *Ca. P. prunorum* son, de mayor a menor: *P. persicae*, *P. armeniaca*, *P. salicina*,



Figura 3. (A) *Prunus salicina* afectado por ESFY, presentando desordenes vegetativos. (B) Muerte de la variedad de *Prunus salicina* por ESFY y rebrote del patrón (Fotografías tomadas por J. Sabaté, IRTA).

*P. serrulata*, *P. mariana*, *P. insitita*, *P. cerasifera*, *P. dulcis*, *P. domestica*, *P. spinosa*, *P. padus* y *P. mahaleb*. El *P. avium* es muy resistente al fitoplasma y rara vez se infecta.

Los muestreos realizados para determinar la incidencia de la enfermedad en distintos cultivos y áreas geográficas españolas, señalaron que la mayor incidencia de la misma se encuentra en ciruelo japonés en Cataluña (Baix Llobregat), y en ciruelo y melocotonero en Extremadura. Actualmente la incidencia en Aragón y Valencia es baja<sup>[9]</sup>.

**La proliferación del manzano o Apple proliferation (AP).** Actualmente, el *Candidatus Phytoplasma mali* se clasifica dentro del grupo 16SrX-A, y está presente en muchos de los países europeos donde se cultiva el manzano, habiéndose observado un incremento importante de la enfermedad en los últimos años. Los

## El *Candidatus Phytoplasma mali* está presente en muchos de los países europeos donde se cultiva el manzano

síntomas principales son: proliferaciones anormales o escobas de bruja, menor tamaño de frutos, estípulas grandes y, cuando están muy afectados, menor desarrollo vegetativo [Figura 4]. Muestreos realizados durante los últimos años confirmaron en Asturias y País Vasco la presencia de este fitoplasma, tanto en plantaciones de manzano como en material vegetal en proceso de certificación.

En Europa se han citado dos especies de psílidos como vectores de este fitoplasma, *Cacopsylla picta* (sin. *C. costalis*) y *Cacopsylla*

*melanoneura*. En muestreos realizados en España en parcelas afectadas se han capturado distintas especies de psílidos y de cicadélidos, entre ellas las dos especies de *Cacopsylla* citadas como transmisoras de la enfermedad. En Guipúzcoa, donde hay una mayor incidencia de la enfermedad, se ha identificado mayoritariamente *Cacopsylla picta* y algún individuo de *C. melanoneura*. El seguimiento de la población de estas especies ha mostrado dos picos de población: uno, correspondiente a los adultos reinmigrantes, que se produce en abril; y otro correspondiente a las nuevas generaciones entre junio y julio. En Cataluña no se ha identificado hasta el momento ninguna de estas dos especies<sup>[6]</sup>.

**La flavescencia dorada de la viña (FD).** Actualmente, *Candidatus Phytoplasma vitis* se clasifica en el grupo 16SrV. Las primeras epidemias fueron descritas en 1955 en la región de Armañac, y años más tarde se observó en Córcega; durante los años 80 se extendió por todas las zonas vinícolas francesas y, actualmente, se encuentra en Austria, Suiza, Italia, Portugal y en muchos países del este de Europa. En el año 1996 se identificó en Cataluña, en parcelas cercanas a la frontera francesa<sup>[1]</sup>, y en la actualidad la enfermedad está erradicada en esta región, aunque se continúan haciendo seguimientos periódicos para evitar algún nuevo brote. Los síntomas causados en las plantas son el agostamiento total o parcial de brotes y, en algunas variedades, especialmente las rojas, pueden observarse algunos puntos negros en los sarmientos. Las hojas son frágiles y amarillean o enrojecen según la variedad, algunas veces



Figura 4. Enrojecimientos prematuros en manzano (Fotografía tomada por D. Berra, Laboratorio Agroambiental Fraisoro, Guipúzcoa).

produciéndose un enrollamiento de estas en forma de teja. Otro síntoma muy característico, especialmente en las variedades rojas, es el enrojecimiento o amarilleamiento de sectores limitados exactamente por las nervaduras de primer o segundo grado dando la apariencia de un mosaico [Figura 5]. Las nervaduras y los tejidos próximos tienen tendencia a amarillear, necrosándose más tarde. Los racimos se secan y, en muchos casos, no llegan a formarse. Al principio de la infección, los síntomas pueden localizarse en una sola parte de la planta. Es transmitida por el homóptero *Scaphoideus titanus*, un insecto ampelófago que desarrolla todo su ciclo sobre la viña, transmitiendo la enfermedad de planta a planta. La lucha contra la FD se basa en la lucha contra el insecto vector mediante tratamientos químicos, evitando la introducción de material vegetal infectado, y en la destrucción de plantas enfermas. Actualmente, el control de la FD en Cataluña lo lleva a cabo el Servicio de Protección de los Vegetales, mediante el control de la aparición de nuevos focos y el control del vector.

Estudios recientes sugieren que las cepas actuales que producen

### La lucha contra la FD se basa en la lucha contra el insecto vector mediante tratamientos químicos, evitando la introducción de material vegetal infectado, y en la destrucción de plantas enfermas

flavesencia dorada y *Palatinate grapevine yellows* podrían tener un origen europeo común a partir del fitoplasma de *Alnus sp.* o *Alder yellows phytoplasma* (AldY), perteneciente al grupo 16SrV-C. Estas cepas podrían haber sido transmitidas ocasionalmente a la vid por el vector *Oncopsis alni* y, con la introducción desde EE. UU. del vector ampelófago *S. titanes*, transmitirse entre vides causando graves epidemias.

En las prospecciones realizadas desde el año 1994 hasta la actualidad, para identificar los fitoplasmas de viña presentes en nuestro país,

se ha determinado que el fitoplasma más extendido es el fitoplasma del stolbur, causante de la enfermedad de la madera negra o *bois noir*, mientras que la FD solo se ha encontrado en el norte de Girona; en cuanto a *S. Titanus*, ha sido identificado únicamente en el litoral catalán.

**Bois noir (BN) o fitoplasma del grupo stolbur.** Actualmente, el *Candidatus Phytoplasma solani* se clasifica en el grupo 16SrXII-A, existiendo distintos aislados del mismo. En nuestro país, el fitoplasma del stolbur es el más común, afectando a distintos cultivos, tanto hortícolas como leñosos, incluyendo la vid. También es el más extendido en todas las áreas vitivinícolas de Europa, entre ellas Francia, Alemania (donde la enfermedad se denomina *Vergilbungskrankheit*, VK), Italia, Israel, Croacia, Suiza, Eslovenia y Grecia.

En los últimos años se ha observado una tendencia al incremento de la presencia de la enfermedad, debido, entre otras cosas, a la aparición de nuevos aislados que parecen transmitirse con mayor facilidad.

La enfermedad de la madera negra o *bois noir*, fue identificada en



Figura 5. (A) Falta de lignificación (decaimiento), enrollamiento y clorosis de hojas en cultivar de uva blanca. (B) Parcela muy afectada por flavesencia dorada con muerte de vides (Fotografías suministradas por las autoras, tomadas en Alt Empordà, Girona, en 1996). (C) *Scaphoideus titanus*, vector de la flavesencia dorada (Fotografía tomada por J. Sabaté, IRTA).

España por primera vez en 1994<sup>[9]</sup>. Causa los mismos síntomas en las plantas que la FD y es imposible diferenciar estas dos enfermedades por la sintomatología causada [Figura 6]. El principal transmisor del stolbur en viña es el fulgórico *Hyalesthes obsoletus*, un insecto muy polígrafo que puede alimentarse en más de cincuenta especies vegetales<sup>[5]</sup>. Esta especie realiza su ciclo biológico principalmente en *Convolvulus arvensis*, en donde se multiplica y adquiere el patógeno. Otras especies donde puede realizar el ciclo son *Urtica dioica*, *Vitex agnus-castus*, *Crepis foetida* y *Lavandula officinalis*. Debido al incremento de la enfermedad en los últimos años, se realizaron

## El fitoplasma del stolbur es el más extendido en todas las áreas vitivinícolas de Europa

muestreos tanto del patógeno como del vector en Aragón, La Rioja, Rioja Alavesa, Cataluña y Navarra. En estas prospecciones, los insectos se capturaron mediante aspiración en los márgenes e interior de las parcelas de viña y, una vez clasificados, se analizaron mediante PCR para determinar el porcentaje de individuos portadores de fitoplasmas.

La incidencia de la enfermedad en parcelas con cepas sintomáticas osciló entre el 5 y el 80 %<sup>[8]</sup>. Las principales variedades y áreas afectadas fueron la variedad chardonnay en el área de Somontano (Aragón), y las variedades garnacha y tempranillo en determinadas parcelas de La Rioja y Navarra. En la Rioja alavesa y en Cataluña también se identificaron parcelas con cepas enfermas, pero con incidencias mucho más bajas.

No se determinaron poblaciones elevadas de *H. obsoletus*, pero sí se observó, en general, una correlación positiva entre la importancia de este vector y la incidencia de la enfermedad. *H. obsoletus* se identificó



Figura 6. (A) Vid de la variedad tempranillo afectada por BN, mosaicos delimitados por nervios de las hojas. (B) Vid de la variedad chardonnay afectada por BN, enrollamiento y amarilleamiento nervios de la hoja (Fotografías suministrada por las autoras). (C) *Hyalesthes obsoletus*, vector del bois noir, en una vid *in vitro* (Fotografía tomada por J. Sabaté, IRTA).

en todas las parcelas muestreadas y también en Extremadura y Valencia.

Las capturas más importantes de *H. obsoletus* fueron las que se realizaron sobre *Convolvulus arvensis*, por lo que se confirma la asociación de este vector a esta especie vegetal. El porcentaje de individuos de *H. obsoletus* portadores del fitoplasma osciló entre el 20 y el 100 %<sup>[9]</sup>.

Se han identificado distintos aislados del fitoplasma del stolbur. Mediante el análisis del gen que codifica el factor de elongación Tu, se distinguen tres subgrupos muy bien diferenciados epidemiológicamente<sup>[5]</sup>. El aislado Tuf I está asociado preferentemente a *U. dioica* como

### Mediante el análisis del gen que codifica el factor de elongación Tu, se distinguen tres subgrupos del fitoplasma del stolbur muy bien diferenciados

planta huésped, mientras que el tipo Tuf II se encuentra principalmente en *C. arvensis*. El tipo Tuf III se ha identificado en *Calystegia sepium* y, hasta el momento, no se ha identificado en plantas de vid. Hasta hace

pocos años, el aislado asociado a *C. arvensis* era el prevalente en las distintas regiones vinícolas de Europa y este huésped era el reservorio más importante, tanto del fitoplasma como del vector. Sin embargo, en la mayoría de países donde se está produciendo un incremento de la incidencia de esta enfermedad, como en Alemania e Italia, es el aislado Tuf I asociado a *U. dioica* el que se está extendiendo con mayor rapidez. En España, Tuf II es el aislado prevalente en la mayoría de áreas geográficas. También estudios del gen *vmp1*, que codifica una proteína de membrana, confirman la diversidad genética del stolbur.

#### BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- 1 Batlle, A. et al. (1997). "Detection of flavescence dorée phytoplasma in grapevine in northern Spain". *Vitis* **36**: 211-213.
- 2 García-Chapa, M. et al. (2005). "Role of *Cacopsylla pyri* in the epidemiology of pear decline in Spain". *European Journal of Plant Pathology* **111**: 9-17.
- 3 Harrison, N. A. et al. (2014). "'*Candidatus* Phytoplasma palmicola', associated with a lethal yellowing-type disease of coconut (*Cocos nucifera* L.) in Mozambique". *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **64**: 1890-1899.
- 4 Kube, M. et al. (2012). "Current view on phytoplasma genomes and encoded metabolism". *Scientific World Journal*, Article ID 185942.
- 5 Langer, M. y Maixner, M. (2004). "Molecular characterization of grapevine yellows associated phytoplasmas of the stolbur-group based on RFLP-analysis of non-ribosomal DNA". *Vitis* **43**: 191-199.
- 6 Laviña, A., Sabate, J. y Batlle, A. (2011). "'*Candidatus* Phytoplasma mali', identification of potential insect vectors in Spanish apple orchards". *Bull. Insectology* **64**: 126-127.
- 7 Oshima, K., Maejima A. y Namba, S. (2013). "Genomic and evolutionary aspects of phytoplasmas". *Front. Microbiol.* **4**: 230.
- 8 Sabaté, J., Laviña, A. y Batlle, A. (2014a). "First report of '*Candidatus* Phytoplasma pyri' causing Peach yellow leaf roll (PYLR) in Spain". *Plant Disease* **98**: 989.
- 9 Sabaté, J., Laviña, A. y Batlle, A. (2014b). "Incidence of Bois Noir phytoplasma in different viticulture regions of Spain and Stolbur isolates distribution in plants and vectors". *European Journal of Plant Pathology* **139**: 185-193.
- 10 Sabaté, J., Laviña, A. y Batlle, A. (2016). "Incidence and distribution of '*Candidatus* Phytoplasma prunorum' and its vector *Cacopsylla pruni* in Spain: an approach to the epidemiology of the disease and the role of wild *Prunus*". *Plant Pathol.* **65**: 837-846.



## ...al Dr. FERNANDO ROMERO MUÑOZ



El Dr. Fernando Romero Muñoz fue Director del IFAPA Centro Las Torres-Tomejil desde 1992 hasta su jubilación en febrero de 2016. Antes de asumir el cargo, puso como condición poder seguir trabajando con su grupo, y así fue a pesar del sobreesfuerzo que supuso. En esta entrevista nos cuenta su trayectoria profesional, los retos y logros obtenidos en su vasta carrera investigadora y sus experiencias en el mundo de la Fitopatología.

... por Nieves Capote

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA) Centro "Las Torres".  
Alcalá del Río, Sevilla

**F**ernando, cuéntanos brevemente en qué consistió tu trayectoria profesional.

Es muy difícil resumir los trabajos realizados durante mi vida profesional. Intentaré resumir lo mejor posible, sin aburrir mucho.

En 1973 me contrató el INIA y soy adscrito al Centro Regional y de Desarrollo Agrario (CRIDA) de Córdoba. En esos momentos se estaba produciendo una reestructuración de la investigación, por la que el INIA, mediante acuerdo con el Banco Mundial, enviaba a su personal investigador a diferentes universidades y centros de investigación extranjeros de reconocido prestigio. En este proceso intervinieron activamente los coordinadores puestos por el Banco Mundial en los diferentes CRIDA. En Córdoba desempeñaba esa función el Dr. Sakston, cuya especialidad era la Patología Vegetal. Bajo su dirección conocí la importancia del rigor, la crítica y la dedicación. Por esa misma fecha se detectó la presencia del mildiu (*Plasmopara helianthi*, *P. halstedii*) del girasol, cultivo que se había introducido en España hacía pocos años. Dada la importancia del mismo y la gravedad del problema se establecieron dos

objetivos a medio y corto plazo: La evaluación de la enfermedad, su desarrollo epifitótico y posibles métodos de control. En tal sentido se pudo determinar la rápida dispersión del patógeno y la importancia de la utilización de cultivares e híbridos resistentes a la enfermedad, ya que los fungicidas de nueva generación derivados del alaninato de metilo (como el metalxil), aunque eficaces contra el patógeno, no impedían la formación de estructuras de resistencia del hongo por carecer de movimiento simplástico, además de ser económicamente poco rentable.

Con posterioridad participé, como patólogo, en la obtención de la primera variedad española PEMIR resistente al mildiu del girasol. Dicha variedad, al carecer el INIA de la capacidad de multiplicación y distribución al sector agrario, fue, mediante convenio, facilitada a diferentes empresas interesadas para, de ese modo, hacerla llegar al agricultor.

Con una beca del Banco Mundial pude disfrutar de una estancia de tres meses en el Departamento de Plant Pathology de la Universidad de Wageningen, Holanda, con el profesor Bollen, aprendiendo técnicas de evaluación del espectro antifúngico de diferentes moléculas, derivados

azole, y sus efectos fungistáticos y fungicidas.

La introducción en España del cultivo de la colza supuso un nuevo aliciente para el agricultor, dentro de las alternativas de secano, registrándose en pocos años un incremento importante de la superficie de siembra. La aparición de una enfermedad conocida como “mancha negra” (*Altemaria brassicae*, *A. brassicicola* y *A. raphani*) que originaba, entre otros efectos, la dehiscencia prematura de silicuas, hizo necesario abordar su etiología y posibles métodos de control. Se identificaron tres patógenos y testaron un conjunto de variedades; parte de este trabajo fue objeto de mi tesis de licenciatura.

Desafortunadamente, la alarma social que originó el síndrome tóxico asociándolo al aceite de colza motivó que el cultivo casi desapareciera; paradójicamente, sobre esas fechas, en Francia había aproximadamente un millón de hectáreas de colza; en Alemania y otros países de Europa, superficies importantes.

## **Desafortunadamente, la alarma social que originó el síndrome tóxico asociándolo al aceite de colza motivó que el cultivo casi desapareciera**

Entre finales de 1978 y 1979 estuve en la Universidad de Guelph (Canadá), en el Departamento Environmental Biology, Plant Pathology con una beca del Banco Mundial, teniendo como tutor al profesor Macneill. Durante el año que permanecí en esa Universidad estudié los mecanismos de parasexualidad de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. Se pudo determinar que dichos mecanismos podían estar implicados en la diversificación de razas y patotipos

del patógeno y que se efectuaban en el proceso de colonización vascular del huésped; de este modo se aportó conocimiento al origen de las mismas.

Mi tesis doctoral la realicé estudiando el proceso de la patogénesis entre *P. helianthi*-girasol, y la influencia del ácido giberélico ( $AG_3$ ), ácido indolacético (AIA), potasio y calcio, poniéndose de manifiesto que estos dos cationes juegan un papel fundamental en dicho proceso, siendo primordiales para la interacción con el AIA y  $AG_3$ .

Después de la estancia en Canadá, y de vuelta en el CRIDA de Córdoba, inicio una línea de trabajo relacionada con la presencia de una planta parásita *Orobanche cernua* (*O. cumana*), sobre girasol de consumo directo, denominado “de pipa blanca”, que estaba ocasionando la desaparición del cultivo. A petición del sector, se dota, por parte de la Consejería de Agricultura, de una beca para abordar dicha problemática. Con este trabajo se pudo poner de manifiesto que era el propio agricultor el principal medio de dispersión del patógeno, desplazando las semillas de zonas infestadas a otras vírgenes en este cultivo. Pudimos probar



Campo de colza en la Borgoña (Francia) (Foto: Myrabella, 2014; CC BY-SA 4.0).

que las semillas de jopo se adhieren electrostáticamente a la testa de las semillas de girasol, siendo capaz una sola de ellas, en caso de germinar y desarrollarse, de dejar inviable una hectárea de suelo en dos años. Las moléculas estudiadas para su control no fueron totalmente eficaces, en algún caso se obtuvo un control que permitía la rentabilidad del cultivo. Este trabajo fue motivo de una tesis doctoral codirigida con el Dr. García Torres y publicaciones en revistas de impacto y congresos nacionales e internacionales. Este patógeno se ha mostrado muy virulento y agresivo diversificando su actuación sobre el girasol para aceite.

El cultivo de la remolacha en la década de los 80 era de un elevado interés económico, no solo para Andalucía sino también para otras regiones de España; se detectó una caída de plántulas en pre y postemergencia “damping-off” que llegó a ocasionar pérdidas de hasta el 30 %. En tal sentido se abordó un proyecto que tuvo por objetivos fundamentales la caracterización etiológica y epifítica de la enfermedad y los posibles métodos de control. Se pudo determinar que el principal agente causal era *Phoma betae*, estando implicados ocasionalmente algunas especies de *Pythium*, y que las mayores pérdidas se originaban en postemergencia con unos requerimientos de humedad y temperatura. Mediante la incorporación de diferentes fungicidas en el pildorado de las semillas, prácticamente se pudieron eliminar las pérdidas por *damping off*. Este trabajo fue motivo de una tesis doctoral, y publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

La zanahoria es una hortícola que tiene diferente implantación en Andalucía y en España,

## **El cultivo de la remolacha en la década de los 80 era de un elevado interés económico, no solo para Andalucía sino también para otras regiones de España**

en algunos casos, con áreas muy restringidas. En provincias como Cádiz, este cultivo tiene una gran importancia, no solo por su carácter familiar social si no porque sus producciones llegan a adquirir – por hectárea– valores importantes. La enfermedad conocida como “cavity spot”, se caracteriza por unas cavidades necróticas que la hacen inservible para consumo humano. Para determinar las causas y factores implicados en su ocurrencia, se consideraron diversos objetivos como contenido del agua, del suelo, época de siembra, factores nutricionales, patógenos implicados y posibles métodos de control. Se pudo determinar que las siembras tempranas favorecían la incidencia de la enfermedad; no existían híbridos o cultivares resistentes; tratamientos químicos específicos eran capaces de disminuir significativamente la enfermedad. La causa del “cavityspot” era exclusivamente biótica, estando implicados tres especies de *Pythiu*. Se descartó la implicación de *Rhizoctonia solani*, agente causal que interviene en otros países donde se cultiva esta planta. Este trabajo fue parte de una tesis doctoral y



Fresas cultivadas (Imagen CC0 Dominio público).

publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

El cultivo de la fresa es de gran importancia para Andalucía: España es la primera productora de fresa de Europa, encontrándose a nivel mundial en el sexto lugar, la provincia de Huelva aporta más del 90 % de la fresa que se produce en España. El espectro parásito de este cultivo es muy amplio y puede llegar a ocasionar pérdidas de más del 50 %.

Se han abordado diferentes líneas de investigación, referentes a la patología de esta planta. Detectamos, por primera vez en España, *Colletotrichum acutatum* parasitando plantas de fresa. Es un patógeno de cuarentena y uno de los más importantes que afectan al cultivo. Se estudió la caracterización morfológica y bioquímica, así como su desarrollo epifitótico y control.

Se pudo determinar que la utilización de anticuerpos monoclonales es eficaz en la caracterización de

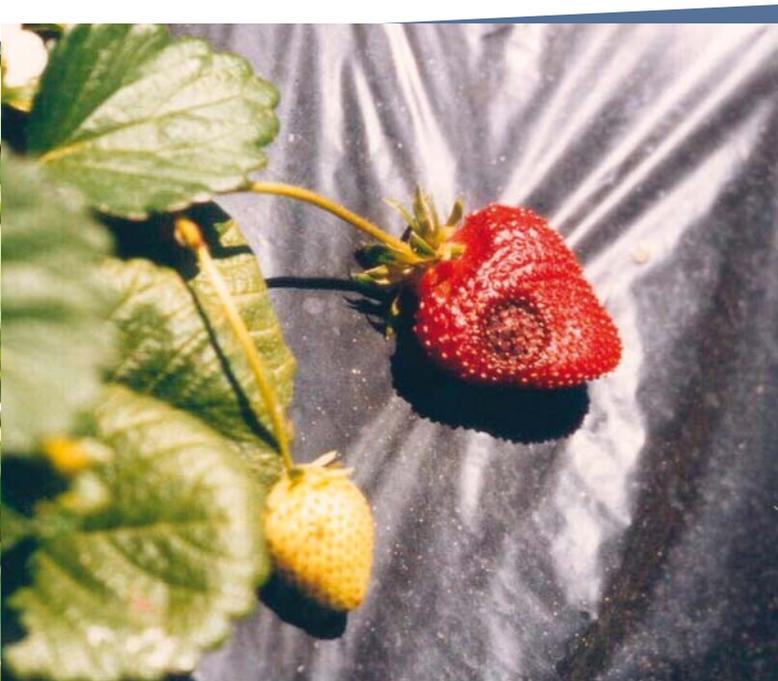
**España es la primera productora de fresa de Europa, encontrándose a nivel mundial en el sexto lugar. El espectro parásito de este cultivo es muy amplio y puede llegar a ocasionar pérdidas de más del 50 %.**

*C. acutatum*. La mayor incidencia de muertes de plantas en los campos de cultivo es debida a que estaban infectadas antes de la plantación. *C. acutatum* no es un patógeno de suelo, de nuestras zonas de cultivo. El arándano (*Vaccinium* spp.) puede actuar como huésped intermediario del agente causal, citándose en España por primera vez este patógeno sobre ese cultivo. Se puso de manifiesto que algunos de los fungicidas estudiados se pueden utilizar complementariamente con otros sistemas de control. Los resultados de este trabajo fueron motivo de una tesis y de

publicaciones en revistas de impacto.

*C. acutatum* se muestra como un patógeno que puede actuar asintómicamente en diferentes circunstancias. Con tal motivo se llevó a cabo un trabajo para caracterizar el proceso de infección desde una perspectiva estructural y ultraestructural, poniéndose de manifiesto, entre otros, que el desarrollo de la antracnosis en frutos de fresa en campo puede ser debido a infecciones latentes en frutos no-maduros. La melanización del apresorio de *C. acutatum* resulta esencial para la formación del poro apresorial y gancho de penetración. La estrategia de invasión del patógeno es subcuticular e intramural y la infección latente en tejidos está representada por hifas subcuticulares e intramurales. Este trabajo fue motivo de una tesis doctoral y publicaciones en revistas internacionales y de impacto.

En el estudio de los posibles métodos de control no químicos, se ha estudiado, en colaboración con equipos de las Universidades de Málaga y Córdoba, la diferente expresión de genes de variedades de fresa a *C. acutatum*. En tal sentido se pudo realizar una caracterización parcial de las bases moleculares de la interacción de este patógeno y la planta. Parece ser que existe una dependencia varietal de los genes en la intensidad y tiempo de respuesta al patógeno. Este trabajo ha sido motivo de publicaciones en revistas y comunicaciones internacionales y de impacto.



Fruto de fresa con mancha necrótica originada por *Colletotrichum acutatum* (Foto proporcionada por el entrevistado).



Fruto de fresa con podredumbre originada por *Phytophthora cactorum* (Foto proporcionada por el entrevistado).

*Phytophthora cactorum* es un patógeno de suelo que, en determinadas condiciones de humedad y temperatura, puede ocasionar pérdidas importantes de plantas y frutos. Origina la enfermedad conocida como “Crown rot” o podredumbre de corona, ampliamente distribuida por todas las áreas del cultivo de la fresa. El patógeno fue citado por nosotros por primera vez en España sobre este cultivo, siendo motivo en publicaciones en revistas de impacto.

En la búsqueda de nuevas alternativas a “desinfestantes” de suelo, se inició un trabajo, pionero en España, en el que se utiliza la solarización comparativamente con otras técnicas para determinar la eficacia en la disminución del potencial de inóculo de *P. cactorum* y *Rhizotocnia* spp, en suelos “infestados” de la provincia de Huelva, mostrándose significativamente más eficaz que otros compuestos químicos diversos utilizados, además de ser económicamente más rentable y menos agresivo para el medio ambiente. Este trabajo fue motivo de una tesis doctoral y publicaciones en congresos y revistas internacionales.

Otras enfermedades importantes que afectan al cultivo

de la fresa son el oídio (*Sphaerotheca macularis*) y el moho gris (*Botrytis cinerea*). En condiciones favorables pueden llegar a ocasionar pérdidas de más del 30 % de la producción de frutos. En la caracterización de los agentes causales y estudio de sus desarrollos epifitóticos y de control, se puso de manifiesto, por primera vez en España, la presencia de *S. macularis* en fresa. Existe diferente susceptibilidad a oídio entre los cultivos utilizados. La incidencia de oídio y podredumbre gris en frutos de fresa está relacionada en mayor medida con las condiciones ambientales que con la concentración de inóculo en el aire. *B. cinerea* no debe ser considerado patógeno de suelo, ya que no sobrevive en dicho medio en las condiciones de cultivo de la provincia de Huelva.

Las aplicaciones de tratamiento de azufre en periodos tempranos de desarrollo de cultivo, aumenta la producción y permite el control de oídio en fruto, reduciendo la severidad en la superficie foliar. En cambio, las aplicaciones preventivas de fungicidas químicos en floración no redujeron significativamente la incidencia de la enfermedad. Estos trabajos han sido motivo de una tesis doctoral y publicaciones en revistas de impacto y congresos nacionales e internacionales.

En la búsqueda de alternativas de la utilización de bromuro de metilo en las zonas de cultivo de fresa en la provincia de Huelva para el control de patógenos de suelo, se



Frutos de fresa afectados por *Botrytis cinerea* (Foto proporcionada por el entrevistado).



Hojas de planta de fresa afectadas de oídio (Foto proporcionada por el entrevistado).

ha trabajado en la utilización conjunta de la solarización y preparados de *Trichoderma spp.*, obteniéndose resultados en la reducción de *Phytophthora spp.* en suelo. Asimismo, esta técnica combinada incrementa la población de *Trichoderma* con los beneficios que supone, ya que hemos podido constatar la implicación de este hongo en el aumento de la productividad y en la disminución de la mortalidad de las plantas de fresa. Estos trabajos han sido motivo de una tesis doctoral y publicaciones en revistas de impacto y congresos nacionales e internacionales.

En el proyecto para la obtención de variedades de fresa con un ideotipo característico para las zonas de cultivo, fundamentalmente de Huelva y Valencia, he participado en la obtención de la variedad "Aguedilla", evaluando su comportamiento de resistencia a enfermedades. Dicha variedad está registrada y licenciada, encontrándose a la venta en el mercado.

**¿Cuándo comenzó tu interés por la fitopatología y concretamente por los hongos fitopatógenos?**

El interés por la fitopatología comenzó de adolescente, época en la

que tuve la oportunidad de pasar temporadas en la finca del abuelo materno, oyendo con frecuencia quejarse por las pérdidas que ocasionaban las plagas, y en ellas estaban incluidas las enfermedades, ya que no hacían distinción. Después de la carrera con la asignatura de Criptogamia, acabé afianzándome en la necesidad de estudiar las enfermedades de las plantas. Recuerdo una anécdota con el profesor Manuel Losada, con el que tuve la osadía de examinarme oralmente de Bioquímica II: me preguntó a qué iba a dedicarme cuando terminara Biológicas, y cuando le contesté que "a la Fitopatología", es curioso que la respuesta no fuera criticada, si no que me animó en ese objetivo, pues según él, España necesitaba personas que trabajasen en esa especialidad.

**¿Cuáles han sido tus mejores y peores experiencias como director del Centro IFAPA Las Torres-Tomejil?**

Los principales problemas que he tenido que afrontar como director de un centro de investigación y formación, han sido diversos y no siempre agradables, aunque tengo que reconocer que me han hecho crecer como persona y comprender mejor a los compañeros.

La financiación económica adecuada y a tiempo parece que son problemas generalizados en los centros de investigación; por ello, optimizar los recursos es fundamental. En la medida de lo posible, empatizar

con los compañeros y apoyarlos en sus trabajos y necesidades, ha sido una tarea muy agradable, a veces difícil por no poder dar la respuesta adecuada.

**¿Cuál ha sido tu papel en la SEF y qué te ha aportado?**

La Sociedad Española de Fitopatología, en sus comienzos estaba adscrita a la Sociedad Española de Microbiología. Con dificultades, una serie de socios decidimos independizarnos, y así se creó nuestra sociedad, de la que creo debemos sentirnos orgullosos, por su trayectoria y los logros conseguidos. He sido dos

**El interés por la fitopatología comenzó de adolescente, época en la que tuve la oportunidad de pasar temporadas en la finca del abuelo materno, oyendo con frecuencia quejarse por las pérdidas que ocasionaban las plagas**

veces vicepresidente, una con el Dr. Mariano Cambra y otra con el Dr. Antonio Gómez Barcina; de ambas guardo gratos recuerdos.

**¿Cuáles son los principales problemas a los que se enfrenta un centro de investigación y formación agraria?**

Desde mi experiencia puedo indicarte que hay dos fundamentales, el de personal –tanto investigador, técnico y auxiliar– y el económico.

Creo que es una asignatura pendiente a nivel nacional el reconocimiento de la importancia de la investigación no solo en el ámbito agrario sino en general. Aunque los últimos años ha habido en España un incremento sobre el PIB en I+D+i, a finales de 2017 era del 1,2 % según la Fundación Cotec, estando muy alejado de la media europea.

La percepción que tengo con respecto a la I+D+i en la agricultura española es que los gobiernos autonómicos no reconocen en toda su dimensión la importancia que esta tiene, sobre todo en Andalucía, donde la agricultura juega un papel económico-social fundamental.

En los tres últimos años ha habido una disminución significativa del personal investigador, técnico y auxiliar en los centros IFAPA. Solo nos acordamos de la investigación cuando aparecen problemas de enorme repercusión económica como puede ser la *Xylella fastidiosa* u otros.

**¿Cuál ha sido tu mayor reto en el mundo de la Fitopatología?**

Para poder afrontar grandes retos es fundamental disponer de un buen equipo, con dedicación y entusiasmo, y es en ese afán donde he puesto gran esfuerzo.

Después, los retos son todos importantes dependiendo del mo-

**Fundamentalmente los problemas a los que se enfrenta un centro de investigación y formación agraria son el de personal (tanto investigador, técnico y auxiliar) y el económico**

**Debería impartirse mayor número de cursos de doctorado relacionados con las tesis doctorales en Fitopatología; muchas veces el alumno no recibe formación específica, ni relacionada sobre un tema motivo de su tesis**

mento y las circunstancias. Quizás al que hemos dedicado más tiempo ha sido a la antracnosis de la fresa y a las enfermedades que lleva asociado este cultivo.

**¿Cómo ves el futuro de la Fitopatología? ¿Cuáles serán los aspectos clave que deberían ser abordados en el futuro?**

La Patología Vegetal es fundamental en todas sus especialidades. Debería aparecer como asignatura obligatoria en la carrera de Biología; solo en algunas universidades se imparte Fitopatología Microbiana, a veces condicionada.

He sido durante seis años profesor de postgrado en la Universidad de Sevilla, impartiendo cursos en el programa de doctorado sobre Patogénesis en Plantas Cultivadas. Normalmente, un porcentaje muy bajo de alumnos iban a realizar una tesis en Fitopatología, el resto no tenían relación. Lo que vengo a decir es que debería impartirse mayor número de cursos de doctorado relacionados con las tesis doctorales en Fitopatología; muchas veces el alumno no recibe formación específica, ni relacionada sobre un tema motivo de su tesis. Entiendo que esta medida podría favorecer el reconocimiento de la Fitopatología.

A medio y largo plazo se debería abordar la sustitución de moléculas de síntesis, para el control de patógenos, por compuestos de origen natural e incidir en los estudios de la respuesta SAR.

La biofumigación o solarización tendría que ser una práctica habitual en la desinfección de suelos, sobre todo en cultivos intensivos. Hay que profundizar en el conocimiento de biofumigantes y sus sinergias con microorganismos, tales como *Trichoderma*, para el control de patógenos de suelo.

La genética molecular se ha mostrado como un instrumento fundamental en el conocimiento de las relaciones huésped-patógeno; cada vez son más los fitopatólogos que trabajan en esta área, pero no debería perderse la perspectiva de la colaboración estrecha con otras especialidades, que es como se podrá conseguir el objetivo principal que es el control de las enfermedades.

**¿Cuáles crees que son los factores que determinan el éxito de una carrera investigadora?**

**¿Qué consejos darías a los que empiezan o aspiran a empezar ahora?**

La vocación, la constancia, el espíritu de sacrificio y la suerte de tener a tu lado el profesor que te guíe. Estos podrían ser los aspectos fundamentales para iniciarte como investigador; después, medir el éxito es difícil, depende de cómo lo conceptúes. Para mí el éxito ha estado siempre ligado a la utilidad social: aunque cualquier investigación podría ser considerada como útil, ya que aporta conocimiento, creo que esta debería estar en

**Fundamentalmente los problemas a los que se enfrenta un centro de investigación y formación agraria son el de personal (tanto investigador, técnico y auxiliar) y el económico**

disposición de ser innovada o, lo que es lo mismo, de originar un beneficio social. Decía un economista que “la investigación convierte el dinero en conocimiento y la innovación hace que este se transforme en dinero”. Mi perspectiva es más amplia pero algo parecida.

**¿Cuáles son tus principales actividades en tu nueva etapa?  
¿Mantienes alguna relación con el mundo de la Fitopatología?**

Leo mucho, procuro mantenerme en forma y, siempre que puedo, viajo y practico la navegación en un velero que tengo desde hace algunos años. Le dedico más tiempo a la familia y a los nietos.

Agradecerte, Nieves, la oportunidad de esta entrevista, y desearte, al igual que a todos los socios de la SEF que tienen la suerte de ejercer una profesión magnífica, sigan en el empeño para conseguir una agricultura más competitiva y respetuosa con el medio ambiente.

**Muchas gracias, Fernando, por atender nuestra invitación y por tu valiosa aportación al área de la Fitopatología.**





## ➔ Uso de hongos formadores de setas para prevenir y reducir micotoxinas en productos cereales

ANA AGUADO  
IFAPA Centro Las Torres  
Alcalá del Río, Sevilla

### ***Using mushroom-forming fungi in preventing and reducing mycotoxins in cereal products***

Savoie, J. M., Mata, G., Atanasova-Penichon, V. A. y Foulongne-Oriol, M.  
*Scientia Fungorum* 49: e1256.

Publicado el 31 de diciembre de 2019

La producción mundial de cereales aumenta cada año, y los granos se contaminan por micotoxinas, metales pesados y herbicidas. Las micotoxinas las producen de forma natural los hongos filamentosos y son metabolitos secundarios tóxicos para animales y personas. Entre las micotoxinas más tóxicas destacan las aflatoxinas (B1, B2, G1 y G2). Su producción está relacionada con el sistema de defensa secundario del hongo activado para protegerse de las especies reactivas de oxígeno (ROS). Esto explica por qué los antioxidantes son eficaces en la capacidad de control de la producción de esta toxina. Las micotoxinas también son producidas como una respuesta del hongo a la exposición de compuestos antifúngicos. Los hongos productores de las mismas son del género *Aspergillus*, destacando las especies *A. fumigatus*, *A. flavus* y *A. parasiticus*. Hongos como *Fusarium* spp. *Penicillium* spp. son productores de otras micotoxinas como zearolona (ZEA), tricotecenos (TCTB), desoxinivalenol (DON) y fumonisinas (FB). Las micotoxinas son difíciles de eliminar, termoestables y pueden ser muy tóxicas a bajas concentraciones.

Todos estos hongos se encuentran tanto en los granos de los cereales como en los restos de cultivo y en el suelo, y pueden perdurar varios años.

Entre las estrategias para el control de estas sustancias está el uso de variedades resistentes y buenas prácticas agrícolas en precosecha. También se usan fungicidas, pero su eficacia está por debajo del 50 % y los hongos crean resistencia. Para evitarlo, es recomendable alternar el uso de distintas moléculas, pero hay pocos antifúngicos disponibles en el mercado para su uso. Por ello, la industria busca compuestos naturales para controlar las enfermedades que producen en plantas estos hongos y la producción de micotoxinas. Los tratamientos biológicos postcosecha representan una estrategia prometedora en la descontaminación de los granos. Las bacterias, levaduras y algunos hongos filamentosos son capaces de metabolizar las micotoxinas.

Los macrohongos formadores de cuerpos fructíferos, tanto basidiomicetos como ascomicetos, destacando las especies de *Agaricus* y *Pleurotus*, colonizan los sustratos o producen micorrizas, degradan la lignocelulosa

de la materia orgánica, compiten por los nutrientes disponibles excluyendo a los patógenos, crean compuestos detoxificantes, antimicotoxinas, antibacterianos y antifúngicos, reduciendo el nivel de micotoxinas y de inóculos de los patógenos productores de micotoxinas en el suelo y en los restos de cultivo, además de ser una fuente de extractos activos antifúngicos, siendo una esperanza en ese sentido para utilizarlos durante el cultivo, el almacenaje o añadido al alimento y al pienso. También pueden ser una alternativa al uso de fungicidas. Además, son

una fuente rica en compuestos bioactivos para la prevención o tratamiento de enfermedades animales o humanas.

Considero que es una alternativa interesante, original y prometedora. Estoy informada por los autores del trabajo, de que se están haciendo ensayos con este tipo de hongos, en los que se valora su capacidad de biocontrol contra hongos micotoxínicos, así como su aporte nutricional en el alimento en el que se aplica para detoxificarlo. Sus resultados, aún no publicados, son muy alentadores.

## ➔ El metabolismo de las feromonas de nematodos en plantas media las interacciones planta-nematodo

JAVIER CABRERA

Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas (UPM-INIA)  
Parque Científico y Tecnológico de la UPM  
Pozuelo de Alarcón, Madrid.

### ***Plant metabolism of nematode pheromones mediates plant-nematode interactions***

Manohar, M., Tenjo-Castano, F., Chen, S., Zhang, Y. K., Kumari, A., Williamson, V. M., Wang, X., Klessig, D. F. y Schroeder, F. C.  
*Nature Communications* 11: 208.

Publicado en enero del 2020

Los nematodos parásitos de plantas son uno de los grupos de patógenos con mayor impacto en la agricultura y, sin embargo, el estudio de su control está aún lejos de alcanzar los resultados obtenidos con otros patógenos. Esto podría deberse a que sus principales síntomas se ven ocultados en las raíces y pasan desapercibidos, o se confunden con síntomas de otras enfermedades. La prohibición paulatina de nematicidas químicos por su impacto en el medio ambiente y la salud

(Directiva 2009/128/CE), y la falta de cultivos resistentes, han llevado a una intensificación del estudio a nivel molecular de la interacción entre la planta y el nematodo.

De una forma similar a la flagelina o la quitina en bacterias y hongos, recientemente se ha descubierto que los ascarósidos, feromonas presentes casi exclusivamente en nematodos, pueden ser considerados como PAMP (patrones moleculares asociados a patógenos)

que producen una respuesta inmunitaria en la planta. En concreto, la exposición de raíces a ascr#18, presente en los nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp.) y de quistes (*Heterodera* spp.), provoca resistencia en *Arabidopsis* y cultivos como tomate o patata frente a nematodos, pero también frente a hongos, virus o bacterias<sup>[1]</sup>. En este nuevo artículo, los autores demuestran, utilizando cromatografía líquida con espectrometría de masa (LC-MS) y análisis metabolómico, que el ascarósido ascr#18 del nematodo es metabolizado por la planta en ascarósidos más pequeños, principalmente ascr#9. Además, se demuestra que este proceso ocurre en los peroxisomas, ya que, utilizando la misma aproximación, pero en mutantes de *Arabidopsis* afectados en la ruta de  $\beta$ -oxidación en peroxisomas, el procesamiento de ascr#18 se ve afectado. Mientras que el metabolismo

de ascr#18 no es necesario para la resistencia frente a bacterias como *Pseudomonas syringae*, ya que la respuesta inmune también se induce en plantas incapaces de metabolizar ascr#18, la resistencia a nematodos parece estar mediada por la secreción de ascr#9 al exterior. De esta manera, los metabolitos derivados de ascr#18 ejercerían su función en la disminución de la infección más como sustancias repelentes de los nematodos que como mediadores de una respuesta inmune clásica. Así, **feromonas del nematodo detectadas por la planta, serían procesadas por la misma y devueltas al suelo para rechazar la infección.**

Estos nuevos avances ensalzan el papel de la intercomunicación química que se produce entre los nematodos y las plantas y su necesario estudio para generar productos efectivos y específicos para el control de estos patógenos.

## REFERENCIA

- [1] Manosalva, P. *et al.* (2015). "Conserved nematode signalling molecules elicit plant defenses and pathogen resistance". *Nat. Commun.* 6: 7795.

## ➔ Inmunidad antiviral en soja conferida por una dsRNasa que se localiza en los complejos de replicación virales

LIVIA DONAIRE

Departamento de Biología del Estrés y Patología Vegetal  
Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC)  
Campus Espinardo. Murcia

### **Soybean antiviral immunity conferred by dsRNase targets the viral replication complex**

Ishibashi, K., Saruta, M., Shimizu, T., Shu, M., Anai, T., Komatsu, K., Yamada, N., Katayose, Y., Ishikawa, M., Ishimoto, M., & Kaga, A. (2019). *Nature Communications* 10: 1–10.

Publicado el 27 de septiembre del 2019

**D**urante las infecciones de virus de plantas se forman moléculas de RNA de doble cadena (dsRNA) como intermediarios

durante su replicación, que son reconocidas y activan distintos mecanismos del sistema de defensa de la planta, entre ellos, la llamada

inmunidad innata o el silenciamiento por RNA. Para contrarrestar estos mecanismos de defensa, los virus han desarrollado diferentes estrategias. Por ejemplo, la mayoría de los virus expresan proteínas que suprimen el silenciamiento o, en el caso de los virus con genomas de RNA de cadena sencilla y polaridad positiva [(+)ssRNA], su maquinaria de replicación se relocaliza en el interior de compartimentos membranosos, denominados complejos de replicación viral (VRC), donde las dsRNA quedan protegidas de la acción de la maquinaria de defensa de la planta. La interacción planta-virus es un sistema complejo, donde no solo los virus, sino también las plantas, desarrollan estrategias para tratar de permanecer en la lucha. En este trabajo, Ishibashi *et al.* describen un mecanismo en soja para evadir este secuestro de las dsRNA virales en los VRC gracias a la acción de la proteína codificada por el gen *Rsv4*. Este gen estaba previamente descrito como un gen de resistencia en soja frente al virus del mosaico de la soja (*Soybean mosaic virus*, SMV), aunque su mecanismo de acción era desconocido y presumiblemente diferente al descrito para otros genes de resistencia dominantes. Los autores demostraron que *Rsv4* codifica una proteína perteneciente a la

familia de las RNasa H, y además: i) que la resistencia mediada por *Rsv4* estaba asociada a la actividad de esta RNasa H; ii) que esta RNasa H era capaz de degradar solamente sustratos de dsRNA y que esta actividad dsRNasa era esencial para la resistencia a SMV; y iii) que esta proteína interactuaba con proteínas del virus implicadas en su replicación para así relocalizarse en el interior de los VRC y, de este modo, tener acceso y degradar las dsRNA virales, inhibiendo la multiplicación viral en la planta. Aparte de la descripción de este novedoso mecanismo, uno de los aspectos más relevantes de este trabajo es que presentan evidencias de que la resistencia mediada por *Rsv4* podría aplicarse frente a otros virus de (+)ssRNA, ya que virtualmente todos ellos se multiplican en VRC. Estas plantas *knock-in*, libres de transgenes, expresarían una RNasa H fusionada a factores de la planta implicados en replicación viral. Sin embargo, existen ciertas limitaciones, que probablemente complican la aplicación de esta tecnología, entre ellas: la proteína de fusión debería conservar la localización subcelular en los VRC y la función RNasa H; y, además, la multiplicación viral no estaría inhibida por completo.

➔ **El hipovirus asintomático de *Cryphonectria parasitica*, CHV4, infecta de una forma más estable al hongo causante del chancro del castaño cuando lo coinfecta con MyRV2, un reovirus que parece suprimir los mecanismos de silenciamiento de ARN del hospedante**

JULIO JAVIER DIEZ CASERO  
Laboratorio de Patología Forestal  
Campus Yutera, Palencia.  
Universidad de Valladolid

***A symptomless hypovirus, CHV4, facilitates stable infection of the chestnut blight fungus by a coinfecting reovirus likely through suppression of antiviral RNA silencing***

Aulia, A., Andika, I. B., Kondo, H., Hillman, B. I. y Suzuki, N.  
*Virology* 533: 99-107.

Publicado el 18 de mayo de 2019

Este interesante estudio está centrado en dos de los virus que posee el hongo patógeno causante del chancro del castaño, *Cryphonectria parasitica*, que, por la gravedad de sus efectos y por ser un organismo modelo para el estudio del control biológico mediante hipovirulencia, es uno de los más citados en patología forestal. Los virus fúngicos (micovirus) están muy extendidos en todos los grupos principales de hongos, y las coinfecciones por varios hongos en un solo huésped son fenómenos comunes. En el caso de *C. parasitica* se han descrito cuatro hipovirus (CHV1, CHV2, CHV3 y CHV4), dos reovirus (MyRV1 y MyRV2), y diversos virus de las familias *Narnaviridae* y *Chrysoviridae*. En este trabajo se han estudiado las interacciones existentes entre dos de los virus de este hongo, y los resultados indican que la presencia del hipovirus CHV4 facilita la infección natural de *C. parasitica* por el reovirus MyRV2. Este tipo de trabajos son muy escasos en patología forestal, por lo que posee interés teórico, y también práctico en la mejora de los tratamientos mediante hipovirulencia del chancro del castaño.

Para confirmar los efectos e interacciones de cada virus sobre *C. parasitica*, los investigadores consiguieron cepas de hongos infectadas individualmente por CHV4 y MyRV2 mediante la realización de cultivos monospóricos. Para ello se analizaron más de 100 aislamientos del hongo para identificar la infección por CHV4 o MyRV2, o la coinfección por ambos. Mientras que las cepas libres de MyRV2 pudieron obtenerse

fácilmente, las cepas libres de CHV4 fueron más difíciles de aislar.

El grupo de investigación observó que, mientras se mantenía a la cepa de *C. parasitica* infectada con MyRV2 y libre de CHV4, el reovirus se solía perder fácilmente durante el subcultivo de la cepa fúngica. Por el contrario, la coinfección con CHV4 condujo a una mayor tasa de transmisión del MyRV2.

El CHV4 también facilitó la infección estable de MyRV2 y mejoró su transmisión vertical. Así, la transmisión a través de la esporulación asexual se comparó entre infecciones simples y dobles, y se detectó una tendencia similar a la observada para la transmisión horizontal por subcultivo. La coinfección con CHV4 condujo a una mayor tasa de transmisión conidial de MyRV2 en comparación con la infección aislada de MyRV2.

Parece ser que la estabilidad del MyRV2 se produce por un fenómeno de silenciamiento de ARN antiviral mediado por CHV4. Para probar esta posibilidad, los autores prepararon un mutante de delección de un gen clave de silenciamiento antiviral, *DCL2*, en uno de los aislamientos libres del virus CHV4. Este mutante tuvo el mismo comportamiento que los aislamientos coinfectados por ambos virus. Parece ser que CHV4 inhibe los mecanismos de silenciamiento de ARN existentes en *C. parasitica*, y conduce a una infección estable y una transmisión vertical más efectiva de MyRV2.



## ➔ *Libro Blanco de la Sanidad Vegetal en España*

**Editores:** Rafael M. Jiménez-Díaz y María Milagros López-González.

**Nº de páginas:** 696 -

**ISBN:** 978-84-9927-455-3

**Editorial:** UCOPress, Editorial Universidad de Córdoba.

**Año de publicación:** 2019

La Sanidad Vegetal adolece de graves problemas en nuestro país en la actualidad. A las deficiencias de orden estructural existentes desde hace décadas, se suman más de medio centenar de enfermedades, plagas y malas hierbas exóticas importantes introducidas durante los últimos 20 años, a las que se une un número similar de ellas ya establecidas, que requieren control, aunque no tienen una repercusión pública y en los medios de comunicación comparable al perjuicio que causan. Esta insuficiente visibilidad social de la Sanidad Vegetal española, junto con las complejidades derivadas del marco legislativo en la UE y las dificultades inherentes a la aplicación de la gestión integrada, llevaron a la Junta Directiva Constituyente de la Asociación Española de Sanidad Vegetal (AESaVe) a desarrollar un Libro Blanco de la Sanidad Vegetal en España para: (i) proporcionar una visión realista y crítica del panorama actual; (ii) identificar sus debilidades, amenazas y fortalezas; (iii) proponer acciones a corto y medio plazo que puedan ayudar a contrarrestarlas; y (iv) propiciar una reflexión en las administraciones públicas, instituciones, sector empresarial y usuarios, respecto de la necesidad y las oportunidades de mejorar nuestra Sanidad Vegetal a corto y medio plazo.

El libro consta de 25 capítulos distribuidos en cuatro partes: (1) “Descripción de la estructura actual del sistema español de Sanidad Vegetal”; (2) “Problemáticas, estratégicas actuales y amenazas en Sanidad Vegetal”; (3)



“Necesidades derivadas del nuevo marco legislativo de 2009”; y (4) “Debilidades y fortalezas del sistema de Sanidad Vegetal”. Su elaboración es fruto de la colaboración de 49 expertos de la SEF, la SEEA (Sociedad Española de Entomología Aplicada), la SEMh (Sociedad Española de Malherbología), instituciones relacionadas con la Sanidad Vegetal privadas y de la administración central del estado y las CC. AA., siete universidades españolas, organismos de investigación científico-técnica (CSIC, INIA y centros de I+D de las CC. AA.), y diversas Organizaciones Profesionales. El Libro Blanco concluye con una 5ª parte en la que se recogen hasta 59 “Conclusiones y propuestas de acciones” relativas a cada una de las partes anteriores. En dichas conclusiones se señala, entre otros temas, que:

- El control de las enfermedades y plagas establecidas en España es difícil por su naturaleza compleja, la limitada disponibilidad de sustancias activas eficientes, la complejidad inherente de las estrategias de gestión integrada, la carencia de un verdadero sistema de certificación sanitaria, etc.

- Contrarrestar los riesgos de introducción de agentes nocivos exóticos requiere la intensificación de la investigación en los mismos, junto con la inspección exhaustiva en las importaciones, la pronta erradicación tras su detección y la adopción de medidas para minimizar los riesgos de diseminación.
- La considerable **reducción de recursos humanos y económicos** experimentada por la investigación en **Sanidad Vegetal** y por los Servicios de Sanidad Vegetal de las CC. AA. durante los últimos años, limita gravemente las posibilidades prácticas de innovación y actuación.
- La acentuada **reducción de la carga docente universitaria en las disciplinas nucleares de la Sanidad Vegetal en las titulaciones** agrarias y forestales, incide negativamente sobre la cualificación de los asesores.
- A todo ello se suma la práctica **desaparición de instituciones y estructuras oficiales** con funciones específicas de **transferencia** de los conocimientos y tecnologías desarrollados por la I+D en Sanidad Vegetal.
- Es imprescindible **promover la formación especializada y sólida de los profesionales de la Sanidad Vegetal**, junto con mejoras obvias en la investigación y transferencia, y que su importancia sea reconocida por los estamentos públicos y privados implicados y por la sociedad en general.

Los editores del Libro Blanco de la Sanidad Vegetal en España recomiendan su lectura y consulta. Ha sido **editado por UCO Press** y **distribuido por la Editorial Phytoma** en versión en papel y *online*. La extensa información que contiene será muy útil para disponer de una visión holística sobre su estado actual y posibilidades de mejora.

**Comentario realizado por RAFAEL MANUEL JIMÉNEZ-DÍAZ**, catedrático emérito de Patología Vegetal, premio Rey Jaime I de Protección al Medioambiente y *Fellow* de la American Phytopathological Society. ETSIAM; Universidad de Córdoba e Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC, Córdoba. Y **MARÍA MILAGROS LÓPEZ-GONZÁLEZ**, profesora de Investigación, Departamento de Bacteriología (jubilada); Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada, Valencia.





## Los investigadores de la RED DE INVESTIGACION “Aprendiendo de la naturaleza: interacciones multitróficas para la protección de cultivos y bosques” complementan sus capacidades y recursos dirigidos a un objetivo común

ISABEL DÍAZ RODRÍGUEZ

Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas

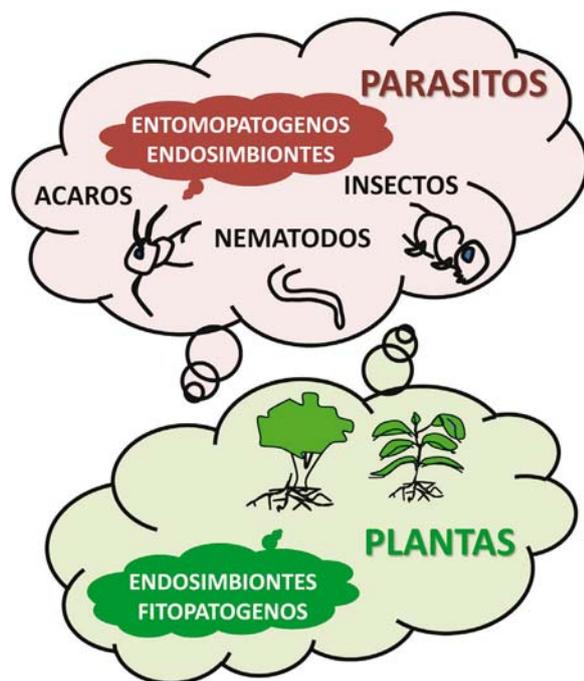
Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria

Universidad Politécnica de Madrid

Esta Red de Investigación (Ref. RED2018-102407-T) financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades durante 2020-21, de la que formamos parte 11 grupos españoles de investigación, tiene un interés común que es ahondar en el conocimiento del complejo entramado de la interacción planta-parásito.

La disminución de la productividad y rendimiento de los cultivos es un grave problema agrícola, en parte debido a las pérdidas derivadas del ataque de parásitos que se estiman alrededor del 25 % de las cosechas, y que puede agudizarse por la contaminación ambiental y el cambio climático. Este cambio de escenarios altera los ecosistemas, las respuestas plásticas de las plantas y su gestión sanitaria. En este contexto, la red pretende impulsar la investigación a través de la acción coordinada entre los grupos para ampliar el conocimiento, mejorar la capacidad productiva, proponer nuevas hipótesis de trabajo y facilitar la transferencia de resultados. Estos objetivos están avalados por la complementariedad temática y experiencia consolidada de sus integrantes, lo que permite un abordaje holístico para la implementación de estrategias de Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades, que reduzcan la dependencia del control químico. Por tanto, contribuye a la consecución de los objetivos de la directiva Europea [2009/128/EC](#) de uso sostenible de productos fitosanitarios para incrementar la seguridad alimentaria, la calidad ambiental y la salud pública.

La red, coordinada por la Dra. Isabel Díaz (Universidad Politécnica de Madrid), integra grupos de investigación liderados por investigadores que pertenecen a otras cuatro universidades públicas: Dra. Carolina Escobar (U. Castilla-La Mancha), Dr. Víctor Flors (U. Jaume I, de Castelló), Dr. F. Javier Sorribas (U. Politécnica de Cataluña) y Dr. Salvador Herrero (U. Valencia); cinco centros del CSIC: Dr. Félix Ortego (Centro de Investigaciones Biológicas “Margarita Salas”), Dra. M. José Pozo (Estación Experimental del Zaidín), Dr. Rafael Zas (Misión Biológica de Galicia), Dr. Rafael Fernández (Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea “La Mayora”) y Dra. Ainhoa Martínez (Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Salamanca); y por el Dr. Alberto Urbaneja, de un centro de investigación autonómico (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias). Estos investigadores trabajan con las principales plagas vegetales (insectos y ácaros) y con nematodos que afectan a huéspedes que incluyen especies modelo (*Arabidopsis*), cultivos hortícolas entre los que se encuentran especies muy bien caracterizadas a nivel genómico (tomate, berenjena, pimiento, calabacín, etc.) y leñosas (cítricos y especies forestales). Entre los objetivos que persiguen están: i) el estudio de las interacciones multitróficas entre huéspedes, parásitos, enemigos naturales y microorganismos beneficiosos y patógenos; y ii) el análisis de factores ambientales (sequía) y la implicación del microbioma del suelo en las mencionadas interacciones. La red también incluye grupos que trabajan con especies leñosas expuestas a un ambiente biótico y abiótico cambiante durante largos periodos, lo que aporta otra perspectiva y enfoque complementarios para el estudio de las interacciones planta-parásito. El abordaje multidisciplinar permite examinar las bases moleculares, genéticas, fisiológicas, metabólicas y ecológicas de estas interacciones en el actual contexto de cambio climático, lo que



Fuente: IVIA.

posibilita un enfoque mucho más amplio y realista, añadiendo una nueva dimensión a las aplicaciones derivadas de este estudio. Además, algunos investigadores desarrollan proyectos en colaboración con empresas del sector, entre otros, estudios de resistencia a insecticidas, de resistencia múltiple frente a fitófagos, de la evaluación de residuos vegetales en forma de biochar combinado con pesticidas en el control de plagas, así como el efecto del “priming” como mecanismo multicomponente en la protección de cultivos. Por tanto, la red también contempla la actividad de investigación traslacional que sirve de puente entre la investigación básica y la aplicada en el ámbito de la interacción planta-parásito.

Desde esta red, que desarrolla una actividad científica en aspectos relacionados con la Biología Molecular, la Genética, la Entomología, la Fisiología, la Fitopatología y la Ecología, tanto de la planta como del parásito, y de su interacción entre ellos y con el medio, se promueve el establecimiento de colaboraciones y sinergias para enriquecer el conocimiento de los ecosistemas agrícolas y forestales



## Caracterización molecular, efecto sobre el huésped y transmisión del micovirus *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* virus 1 (FodV1)

- **Doctorando:** D. Carlos Germán Lemus Minor
- **Institución:** Instituto de Agricultura Sostenible y el Instituto de Hortofruticultura Subtropical y Mediterránea "La Mayora", del Consejo Superior de Investigaciones Científicas y la Universidad de Córdoba (IAS-IHSM-CSIC-UCO)
- **Directoras:** Dra. Encarnación Pérez Artés (IAS-CSIC) y Dra. María Dolores García Pedrajas (IHSM "La Mayora" - CSIC)
- **Defensa:** 4 de mayo de 2018. IFAPA Centro Alameda del Obispo, Córdoba

## Durabilidad de la resistencia a *Meloidogyne* spp. mediada por genes *R* en cultivos de solanáceas y cucurbitáceas

- **Doctorando:** D. Helio Adán García Mendivil
- **Institución:** Universitat Politècnica de Catalunya
- **Director:** Dr. Francisco Javier Sorribas Royo
- **Defensa:** 29 de octubre de 2019. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona UPC, Castelldefels, Barcelona

## Micovirus en aislados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*: caracterización genómica y biológica

- **Doctoranda:** D.<sup>a</sup> Almudena Torres Trenas
- **Instituciones:** Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Universidad de Córdoba (IAS-CSIC-UCO)
- **Directoras:** Dra. Encarnación Pérez Artés (IAS-CSIC) y Dra. María Dolores García Pedrajas (IHSM "La Mayora" - CSIC)
- **Tutor:** Enrique Vargas, Universidad de Córdoba
- **Defensa:** 15 de noviembre de 2019, IFAPA Centro Alameda del Obispo, Córdoba



**Control biológico de la verticilosis del olivo con la cepa no patogénica de *Fusarium oxysporum* FO12 y con el compost de orujo de vid CGR03**

- **Doctorando:** D. Antonio Mulero Aparicio
- **Institución:** Campus Universitario de Rabanales. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes (ETSIAM). Universidad de Córdoba
- **Directores:** Prof. Antonio Trapero Casas y Prof. Francisco Javier López Escudero
- **Defensa:** 16 de diciembre de 2019. Campus Universitario de Rabanales, Córdoba



***Integrated control of avocado white root rot through biological and chemical methods***

- **Doctorando:** D. Juan Manuel Arjona López
- **Institución:** Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IAS-CSIC), Departamento de Protección de Cultivos.
- **Director:** D. Carlos José López Herrera (IAS-CSIC)
- **Defensa:** 24 de febrero de 2020. IFAPA Centro Alameda del Obispo, Córdoba



# RESEÑAS SOBRE CONGRESOS Y REUNIONES CIENTÍFICAS

## → 15<sup>th</sup> European Conference on Fungal Genetics

Del 17 al 20 de febrero de 2020. Roma, Italia

SOLEDAD SACRISTÁN

Centro de Biotecnología y Genómica de Plantas y  
Departamento de Biotecnología-Biología Vegetal  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica,  
Alimentaria y de Biosistemas. Universidad Politécnica de Madrid



evolutionary ecology”, el congreso incluyó trabajos de muy diversa índole en el estudio de los hongos, tocando temas como la señalización y dinámica celular, la expresión génica, la genómica, la evolución molecular, las interacciones múltiples con huéspedes y socios simbióticos, la ecología, la biología sintética y la micología aplicada al medio ambiente y a la industria.

El congreso se estructuró en conferencias *key note*, sesiones plenarias y sesiones paralelas clasificadas en los temas generales de Biología Celular, Interacciones Hongo-Huésped y Evolución y Ecología Molecular, y las correspondientes sesiones de pósters. Aunque se trata de un congreso donde tradicio-

La Conferencia Europea de Genética de Hongos tuvo lugar en Roma los días 17 a 20 de febrero. Este congreso se celebra cada dos años en algún lugar de Europa y reúne a participantes de todos los continentes. La sede en esta ocasión fue la Universidad de Roma La Sapienza, lugar de trabajo de la mayor parte de los miembros del comité organizador. El comité científico contó con integrantes de diferentes instituciones científicas europeas, como la Universidad de Liverpool en Reino Unido, la Universidad de Leiden en Países Bajos o el Centro de Investigaciones Biológicas en España, entre otras, y también de otros países fuera de Europa, como la Universidad de Cornell en Estados Unidos o el Instituto de Tecnología de Israel, por poner algunos ejemplos. Bajo el título “Fungal genetics, host pathogen interaction and



La Dra. M. Carmen Limón (Universidad de Sevilla) y el Dr. Corrado Fanelli (Universidad de Roma La Sapienza, Italia), organizadores de la sesión concurrente de metabolismo primario y secundario; y la Dra. Slavica Janevska (Instituto Leibniz de Investigación de Productos Naturales y Biología de Infecciones–Instituto Hans Knöll, Jena, Alemania), presentando su comunicación titulada “The fumonisin cluster gene FUM18 encodes a functional ceramide synthase that confers self-protection against the produced sphingolipid inhibitor”.

Todas las fotografías han sido cedidas por Serenella Sukno, del Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE), Universidad de Salamanca.

ECFG15  
ROME - ITALY  
2020

Fungal genetics,  
host pathogen interaction  
and evolutionary ecology

FEBRUARY 17-20, 2020 ROME - SAPIENZA UNIVERSITY OF ROME

15TH EUROPEAN CONFERENCE ON FUNGAL GENETICS  
PROGRAM & ABSTRACTS



La Dra. A. Mariana Robledo-Briones (CIALE, Universidad de Salamanca), durante la presentación de su trabajo sobre efectores de *Colletotrichum graminicola*, junto a la Dra. Carla González (Instituto Max Plank de Microbiology Terrestre, Marburg, Alemania).

nalmente se presentan trabajos dedicados a aspectos genéticos y moleculares utilizando especies modelo como *Aspergillus nidulans* o *Neurospora crassa*, la importancia de las interacciones de los hongos con las plantas fue patente, ocupando un lugar preeminente. Así, además de en las sesiones específicas dedicadas a las interacciones de los hongos y las plantas, se presentaron comunicaciones sobre patógenos de plantas en todas las sesiones dedicadas a diferentes temáticas. En total, más de 40 comunicaciones orales y 140 pósters presentaron resultados sobre diferentes aspectos de la biología de las interacciones de los hongos con las plantas, ya fueran como patógenos o como mutualistas (micorrizas o endofitos) o utilizados en biocontrol (micoparásitos, entomopatógenos o entomófagos). De entre las comunicaciones *key note*, destacar la intervención de Nicholas J. Talbot, del Sainsbury Laboratory (Reino Unido), sobre la biología celular de la formación del apresorio y las hifas invasivas de *Magnaporthe oryzae*. Y, de entre las plenarias, las intervenciones de Bart P. H. J. Thomma, de la Universidad de Wageningen (Países Bajos), sobre efectores de *Verticillium dahliae*; David Turrà, de la Università di Napoli

Federico II (Italia), sobre las interacciones entre *Fusarium oxysporum*, la planta huésped y otros microorganismos de la rizosfera; Hailing Jin, de la Universidad de California (EE. UU.) sobre el intercambio de ssRNA relacionados con la patogénesis entre *Botrytis cinerea* y el huésped; o Yen-Ping Hsueh, de la Academia Sinica (Taiwan), sobre la diversidad y comportamiento predador de hongos nematófagos formadores de trampas.

Previo al Congreso, se organizaron simposios satélites especializados en *Neurospora*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Clonostachys* y otros hongos de biocontrol, y sobre *Colletotrichum*. Este último organizado por nuestra compañera de la SEF, Serenella Sukno, del Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE), Universidad de Salamanca (véase reseña en este mismo número, a continuación).

En resumen, fue un congreso para aprender sobre aspectos muy diversos de la biología de los hongos en general, y de los hongos fitopatógenos en particular, con una gran participación de fitopatólogos de todos los continentes. La ciudad anfitriona, Roma, fue obviamente un atractivo adicional de este congreso, que se recordará también por haber sido una de las últimas reuniones científicas celebradas en Europa en la era pre-pandemia de la COVID-19.



Algunos investigadores pre y postdoctorales, y profesores de diferentes procedencias y nacionalidades, en una cena durante el congreso.



## 15<sup>th</sup> European Conference on Fungal Genetics

### → Simposio satélite “*Colletotrichum* 2020”

17 de febrero de 2020  
Roma, Italia

SERENELLA A. SUKNO  
Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE)  
Universidad de Salamanca



El simposio de *Colletotrichum* se organiza, en general, dentro del Congreso Europeo de Genética de Hongos cada dos años en un país europeo. El último simposio se celebró el 17 de febrero en Roma, organizado este año por los Dres. Riccardo Baroncelli y Serenella Sukno, ambos investigadores del CIALE (Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias), Universidad de Salamanca.

Al simposio asistieron 35 investigadores de 12 países. La reunión se estructuró en 12 comunicaciones orales, siendo estas presentadas por investigadores principales, posdoctorales y es-

tudiantes de doctorado de 12 instituciones de 10 países. Las comunicaciones orales fueron de 20 minutos seguidas con otros 5 minutos de discusión. La jornada comenzó con la bienvenida de los organizadores.

Las ponencias fueron de temas muy diversos. Entre las charlas de genómica, el profesor Michael R. Thon, del CIALE, Universidad de Salamanca, presentó la primera ponencia acerca de la importancia de la transferencia horizontal de genes en la evolución de la virulencia de *Colletotrichum*; continuada por la Dra. Pamela Gan, investigadora del RIKEN de Japón (Centro de Ciencias de Recursos Sostenibles), quien expuso cómo los reordenamientos del genoma impulsan la evolución de genes relacionados con la virulencia en los genomas del complejo de especies de *C. gloeosporioides*. La estudiante de doctorado Thaís R. Boufleur, de la Universidad de San Pablo, Brasil, presentó sus resultados de investigación en el repertorio

Imágenes obtenidas por la Dra. S. Sukno, con permiso de los investigadores



Presentación por la Dra. Pamela Gan (RIKEN, Centro de Ciencias de Recursos Sostenibles, Yokohama, Japón).



Ponencia del Dr. Michael R. Thon (CIALE, Instituto Hispano Luso de investigaciones Agrarias, Universidad de Salamanca).



Dr. Gaétan Le Floch (Universidad de Bretaña Occidental, Brest, Francia).

de efectores de *C. truncatum* (patógeno de la soja) obtenidos a través de análisis de genómica y transcriptómica.

Entre los estudios evolutivos se presentaron dos ponencias en diversidad genética en *C. lupini*, el agente causal de la antracnosis del altramuza, por el Dr. Gaétan Le Floch, de la Universidad de Brest, Francia, y por el estudiante de doctorado, Joris Alkemedede, del FiBL (Instituto de Agricultura Orgánica) filial en Suiza. Otro de los estudios de diversidad genética de *Colletotrichum* en plantas aromáticas y ornamentales en Italia fue expuesto por el Dr. Valdimiro Guarnaccia, de AGROINNOVA (Centro para la Innovación en el Campo Agroambiental), de la Universidad de Turín. La ponencia del Dr. Pedro Talhinhas, de la Universidad de Lisboa, Portugal, versó sobre el patosistema de la antracnosis del olivo, centrándose en la antracnosis del fruto y el estudio de su compleja taxonomía, diversidad genética y epidemiología.

Entre las ponencias de interacciones planta-patógeno, el Dr. Noam Alkan, del Instituto de Agricultura Volcani, Israel, mostró sus resultados en la actividad antifúngica de los flavonoides glicosilados del mango contra el hongo patógeno *C. gloeosporioides*. El profesor Lars Voll, de la Universidad de Marburgo, Alemania, presentó su trabajo en el sistema *C. higginsianum-Arabidopsis*, demostrando cómo la dosificación de especies reactivas de

oxígeno en cloroplastos mejora la resistencia frente al hongo de una manera dependiente de los factores de transcripción WRKY33. La ponencia del Dr. Bastien Bissaro, del INRA-Marsella, Francia, versó sobre el papel que juegan las peroxidases en la patogenicidad de las plantas utilizando el modelo *C. orbiculare*-pepino. La ponencia del Dr. Eduardo Goulin, del CCSM (Centro de Citricultura Sylvio Moreira) y la Universidad Federal de Santa Caterina, Brasil, trató sobre el ARNi como una herramienta que puede explotarse para controlar la enfermedad de la caída de la fruta en cítricos utilizando el sistema *C. abscisum*-naranja. El estudiante de doctorado Peter Plaumann, de la Universidad de Erlangen-Núremberg, Alemania, presentó su trabajo en el sistema modelo *C. higginsianum-Arabidopsis* y el estudio de la importancia de los cromosomas B o supernumerarios en la virulencia y colonización del huésped.

La información detallada del programa, así como los resúmenes de las comunicaciones [pueden descargarse desde este enlace](#). Como resultado del simposio, se han establecido nuevas colaboraciones entre los grupos. Se espera otra reunión conjunta con el ECFG16 en Innsbruck, Austria, en marzo del 2022.



Foto del grupo de participantes en el simposio *Colletotrichum* 2020.



# Nuevas descripciones de Patógenos en España

## octubre 2019 - septiembre 2020

JUAN A. NAVAS-CORTÉS

### NOTA INFORMATIVA:

Os recordamos la obligación de comunicar a la administración pública competente "...la aparición de organismos nocivos de los vegetales o de síntomas de enfermedad para los vegetales y sus productos, cuando no sean conocidos en la zona...", tal y como establece la [Ley de Sanidad Vegetal](#) (Ley 43/2002).

En consecuencia, y con anterioridad a la publicación de los resultados, los investigadores tienen la obligación de ponerse en contacto con el Servicio de Sanidad Vegetal de la Comunidad Autónoma correspondiente para informar de la detección de nuevos patógenos, si se trata de primeras citas en España.

Igualmente, se debe contactar con dichos servicios ante cualquier nueva detección de un organismo de cuarentena (aunque no sea primera cita en España); ante la duda, se recomienda consultar con estos servicios el posible estatus de organismo de cuarentena para el patógeno identificado.

### HONGOS Y OOMICETOS

#### **First report of *Fusarium solani* causing stem canker in english walnut in Spain**

Mulero-Aparicio, A., Agustí-Brisach, C., Raya, M. del C., Lovera, M., Arquero, O. y Trapero, A.  
*Plant Disease* **103** (2019): 3281

#### **First report of canker disease caused by *Lasiodiplodia theobromae* on blueberry bushes in Spain**

Borrero, C., Pérez, S. y Avilés, M.  
*Plant Disease* **103** (2019): 2684

#### **First report of *Stromatinia gladioli* causing neck and corm rot of *Crocus sativus* in Spain**

Muñoz, R. M., Lerma, M. L., Castillo, P., Armengol, J., Somoza, E., & Woodhall, J. W.  
*Plant Disease* **104** (2020): 282

#### **Etiology of branch dieback and shoot blight of english walnut caused by *Botryosphaeriaceae* and *Diaporthe* Species in Southern Spain**

López-Moral, A., Lovera, M., Raya, M. del C., Cortés-Cosano, N., Arquero, O., Trapero, A. y Agustí-Brisach, C.  
*Plant Disease* **104** (2020): 533-550

#### **First report of a new highly virulent pathotype of sunflower downy mildew (*Plasmopara halstedii*) overcoming the *pl<sub>8</sub>* resistance gene in Europe**

Martín-Sanz, A., Rueda, S., García-Carneros, A. B. y Molinero-Ruiz, L.  
*Plant Disease* **104** (2020): 597

**First report of stalk rot of maize caused by *Phaeocystostroma ambiguum* in the Iberian Peninsula**

de la Riva, A., García-Carneros, A. B. y Molinero-Ruiz, L.  
*Plant Disease* **104** (2020): 1255

**First report of *Neocosmospora falciformis* causing wilt and root rot of muskmelon in Spain**

González, V., García-Martínez, S., Ruiz, J. J., Flores-León, A., Picó, B. y Garcés-Claver, A.  
*Plant Disease* **104** (2020): 1256

**First report of Fusarium wilt of lettuce caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* race 1 in Spain**

Guerrero, M. M., Martínez, M. C., León, M., Armengol, J. y Monserrat, A.  
*Plant Disease* **104** (2020): 1858

***Neocosmospora keratoplastica*, a relevant human fusarial pathogen is found to be associated with wilt and root rot of muskmelon and watermelon crops in Spain: epidemiological and molecular evidences**

González, V., García-Martínez, S., Flores-León, A., Ruiz, J. J., Picó, B. y Garcés-Claver, A.  
*European Journal of Plant Pathology* **156** (2020): 1189–1196

**Aetiology of branch dieback, panicle and shoot blight of pistachio associated with fungal trunk pathogens in southern Spain**

López-Moral, A., del Carmen Raya, M., Ruiz-Blancas, C., Medialdea, I., Lovera, M., Arquero, O., Trapero, A. y Agustí-Brisach, C.  
*Plant Pathology* **69** (2020): 1237-1269

**First Report of *Verticillium* wilt on Eggplant in Almería Province, Spain**

Gómez-Vázquez, J. M., Aguilera-Lirola, A. y Martín-Bretones, G.  
*Plant Disease, First look* (2020)

**BACTERIAS**

***Brenneria goodwinii* and *Gibbsiella quercinecans* isolated from weeping cankers on *Quercus robur* L. in Spain**

González, A. J. y Ciordia, M.  
*European Journal of Plant Pathology* **156** (2020): 965-969

**NEMATODOS**

**First report of *Bursaphelenchus xylophilus* (Nematoda: Aphelenchoididae) on *Monochamus galloprovincialis* (Coleoptera: Cerambycidae) in Spain**

Abelleira, A., Pérez-Otero, R., Agúin, O., Prado, A. y Salinero, C.  
*Plant Disease* **104** (2020): 1259

**Integrative descriptions and molecular phylogeny of two new needle nematodes of the genus *Longidorus* (Nematoda: Longidoridae) from Spain**

Cai, R., Archidona-Yuste, A., Cantalapiedra-Navarrete, C., Palomares-Rius, J. E. y Castillo, P.  
*European Journal of Plant Pathology* **156** (2020): 67-86

**VIRUS Y VIROIDES**

**First report of Plum bark necrosis stem pitting-associated virus in Sweet cherry in Spain**

Ruiz-García, A. B., Morán, F. y Olmos, A.  
*Plant Disease* **104** (2020): 602

**First report of Grapevine asteroid mosaic associated virus in grapevine in Spain**

Morán, F., Canales, C., Olmos, A. y Ruiz-García, A. B.  
*Plant Disease, First look*



## TODO UN MUNDO VEGETAL a proteger

JAUME ALMACELLAS

Laboratori d'Agricultura i Sanitat Vegetal de Catalunya  
Generalitat de Catalunya

Con esta publicación, y en nombre de todo el personal de los Laboratorios de Sanidad Vegetal de España, queremos participar en la celebración del Año Internacional de la Sanidad Vegetal 2020, y reconocer la tarea apasionada y abnegada de todas las personas que contribuyen a proteger el mundo vegetal, así como la necesidad de unos laboratorios equipados y de calidad.

AGRADECIMIENTOS: Al investigador y estimado compañero Jaime Cubero, del INIA de Madrid, por la generosidad y desinterés en revisar esta publicación.

¿Cuál es el universo de especies objeto de análisis en un laboratorio de sanidad vegetal? ¿Qué orden de magnitud tiene la cifra de este objeto de estudio? ¿Para qué necesitamos conocer estos datos?

De modo genérico y sin concretar en casos especiales, los laboratorios que trabajan en sanidad vegetal tienen, respecto de los objetivos dirigidos al control de enfermedades y plagas, una misión fundamental que es la detección de los agentes causales o hipotéticamente parasitarios en cualquier muestra vegetal que pueda llegar a sus instalaciones. Pero, ¿de cuántos vegetales (especies vegetales) estamos hablando?, y

¿cuántas especies parasitarias son susceptibles de ser conocidas, reconocidas y diagnosticadas en estos vegetales? Aunque no sea fácil, puesto que existen discrepancias en los datos según las

fuentes, intentaremos aportar un poco de luz sobre esta cuestión.

Para este análisis, establecemos que los laboratorios oficiales de diagnóstico de sanidad vegetal españoles asumen sus funciones en el trabajo diario soportando presiones y problemas cuyas soluciones son muchas veces ajenas a su responsabilidad, y todo ello sumado al aumento constante de las cargas de trabajo (véase como ejemplo la [figura 1](#)). En este artículo queremos situar la salud de las plantas dentro de un contexto global, contemplando las diferencias que hay con otras disciplinas y los problemas que eso lleva aparejado en un entorno de trabajo rutinario.

### El concepto de salud vegetal frente a otros conceptos de salud

La primera premisa que se debe uno plantear cuando trabaja en sanidad vegetal, y concretamente en el área del diagnóstico de enfermedades, es la necesidad de ser consciente del univer-

**Queremos situar la salud de las plantas dentro de un contexto global, contemplando las diferencias que hay con otras disciplinas**

Laboratorio de Agricultura y Sanidad Vegetal de Cataluña  
Número de análisis por año

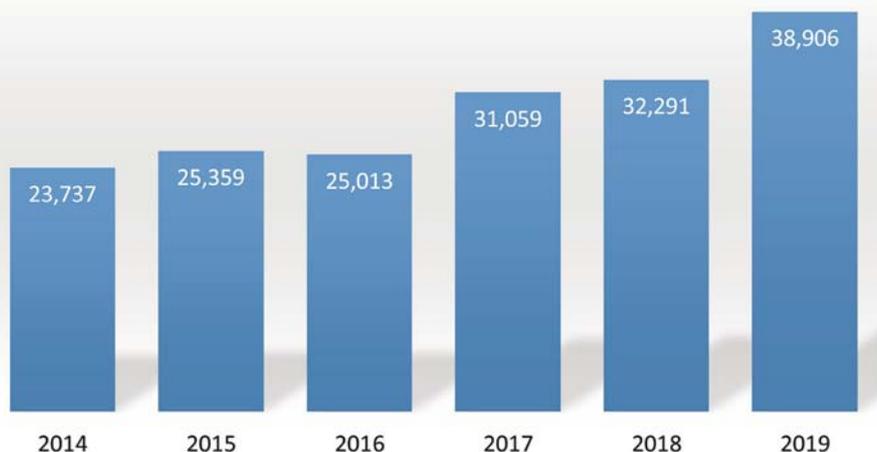


Figura 1. Número de análisis del Laboratorio de Agricultura y Sanidad Vegetal de Cataluña. Período 2014-2019 (Fuente: Datos propios).

so en el que nos movemos. Para contextualizar, podemos empezar comparando con el ejemplo de la sanidad en humanos. Los laboratorios de diagnóstico en esta área dirigen su actividad “únicamente” a una especie huésped, la especie humana, y a todo el complejo microbio que la afecta. Desde el inicio y sin contemplar otras consideraciones, este hecho ya supone una tarea ingente y complicada, ¿o es que acaso no se nos hace un mundo el pensar la cantidad de microorganismos que pueden afectar a nuestra salud? La microbiología en humanos y el diagnóstico de las enfermedades que producen los microorganismos en esta especie son, lógicamente, los métodos más desarrollados y no hace falta explicar las razones que han llevado a ello.

Si seguimos comparando, en un segundo escalón se encontraría la salud animal. Los laboratorios de diagnóstico de salud animal dirigen su responsabilidad de diagnóstico a los animales, principalmente aquellos que están domesticados y que, de una forma u otra, tienen una relación directa con la actividad humana, aunque en los últimos años también se ha estado desarrollando trabajo diagnóstico para la fauna salvaje. Estos laboratorios suelen centrar sus objetivos

**La sanidad vegetal no es ninguna novedad, pero sí lo es el concepto holístico de salud que contempla los tres ámbitos de salud: la humana, la animal y la vegetal**

en la producción animal, cuyas explotaciones son objeto de control sanitario y de vigilancia para las epizootias. En estos casos, la actividad se dirige también “solamente” a unos cuantos hospedadores que son objeto de vigilancia y que, en algunos casos dan lugar a campañas oficiales de detección y saneamiento. Podríamos decir sin equivocarnos que, aunque se tiene que afrontar el problema en más especies que en el caso de la salud humana, se trata todavía de un número muy limitado.

En un tercer escalón estaría la salud vegetal. La sanidad vegetal o salud vegetal, como se quiera llamar, se ha desarrollado históricamente a partir de las otras dos sanidades antes mencionadas, porque la humanidad ha priorizado siempre, lógicamente, sus objetos más preciados, las personas y los animales. La protección de las plantas, al menos los inicios de ella, también parte de muy antiguo. Se podría citar a Teofrasto (371-287 a. C.) como precursor de muchos estudios sobre botánica y física, y también de la salud de las plantas. En el decurso de la historia, muchos autores han ido marcando a su vez hitos en los avances de la salud vegetal y su relación con el medio ambiente y su cuidado. La sanidad vegetal, por tanto, no es ninguna novedad, pero sí lo es el concepto holístico de salud que contempla los tres ámbitos de salud: la humana, la animal y la vegetal. El concepto *One Health*<sup>[13]</sup> [Figura 2], o “Una Sola Salud”, se va implantando en los ámbitos educativos y reflejaría, quizás de algún modo, aquel viejo médico de familia que hace ya muchos años, por su edad, experiencia y convivencia, tenía en cuenta una multiplicidad de factores (también respecto la interacción humana, y esta con la animal y la ambiental) cuando un paciente suyo era atendido. Este concepto de *Una sola salud* se muestra más amplio y, por

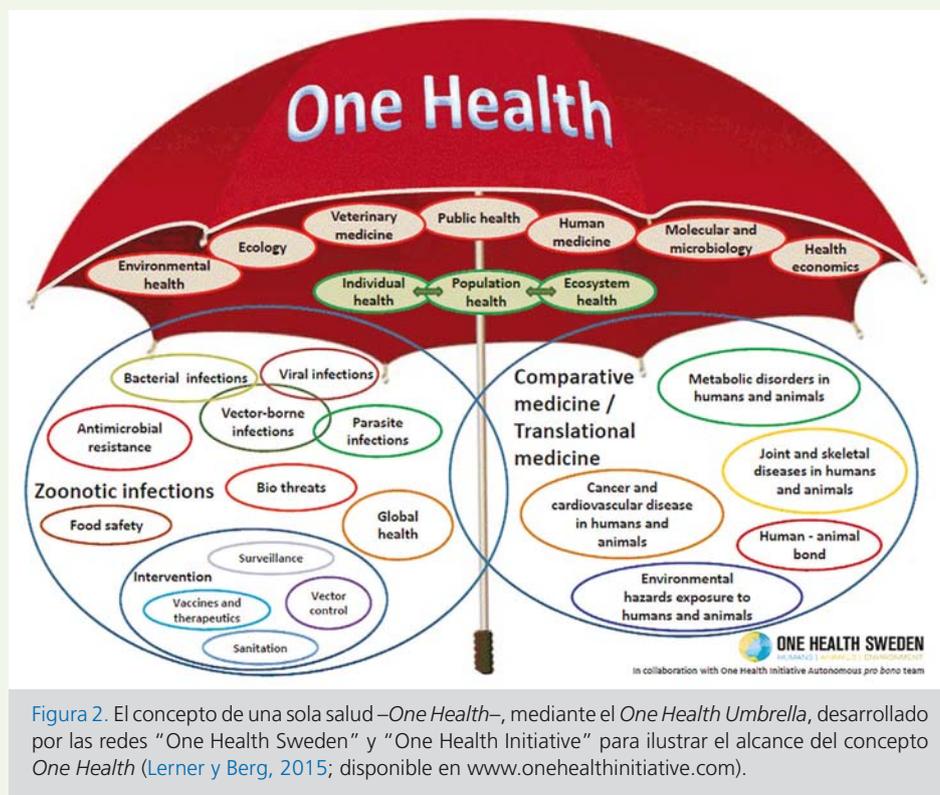


Figura 2. El concepto de una sola salud –One Health–, mediante el One Health Umbrella, desarrollado por las redes “One Health Sweden” y “One Health Initiative” para ilustrar el alcance del concepto One Health (Lerner y Berg, 2015; disponible en [www.onehealthinitiative.com](http://www.onehealthinitiative.com)).

la perspectiva que adquiere la evolución del conocimiento, ha venido a quedarse.

## El mundo vegetal

La sanidad vegetal en el ámbito del diagnóstico también ha sufrido una revolución en muchos aspectos, sobre todo recientemente. De atender únicamente los cultivos agrícolas, objeto productivo y económico, ha pasado también a atender las especies forestales, las ornamentales y a dar soporte a cualquier actividad económica relacionada con los vegetales o productos vegetales que precise de sus servicios. De esta forma, las masas forestales, no solamente las productivas sino las relacionadas con el paisaje, o con actividades lúdicas como los parques y jardines o los campos para actividades deportivas, se han sumado y requieren trabajos de sanidad vegetal y concretamente de diagnóstico de enfermedades. Igualmente, las importaciones, las exportaciones, o las campañas de detección de organismos de cuarentena en los territorios han pasado a ser una prioridad debido, no solo a la importancia económica, sino también paisajística, turística o social.

**Los ámbitos vegetales objeto de diagnóstico se van ampliando continuamente y ello implica un aumento de la diversidad de la acción de los laboratorios**

Vemos, pues, que los ámbitos vegetales objeto de diagnóstico se van ampliando continuamente y ello implica un aumento de la diversidad de la acción de los laboratorios. Por tanto, vamos a la primera cuestión planteada: ¿cuán de diverso es, pues, el universo vegetal al que deben dirigirse los laboratorios de diagnóstico? Para una primera respuesta podemos referirnos a la EPPO-OEPP, la Organización Europea para la Protección de las Plantas que, en su página web, recoge una cifra aproximada de 47 000 especies vegetales objeto de estudio para los aspectos sanitarios, tanto cultivadas como silvestres. Como podemos constatar, a diferencia de la sanidad humana o animal, no se trata de

una sola especie, ni tan siquiera de unas decenas o centenares, sino de miles de ellas que se ponen encima de la mesa como objeto de estudio y protección. Así pues, existen y pueden llegar a los laboratorios de sanidad vegetal muestras de un universo de miles de especies vegetales para el estudio diagnóstico. Este hecho supone una primera e importante dificultad a los laboratorios afectados. Aunque los ámbitos territoriales a los que los laboratorios dirigen sus servicios son menos diversos en especies vegetales que este “universo mundial” al que nos hemos referido, se pueden contar, al menos en centenares, las especies vegetales objeto de sus análisis para un laboratorio determinado. Y constatamos por experiencia que su número y diversidad va aumentando sostenidamente día a día.

## El universo microbiano vegetal

Hemos visto que el objeto de protección en salud vegetal es muy diverso, mucho más que en la salud animal o humana, pero ¿y



Figura 3. Número de organismos fitopatógenos en el mundo distribuidos por grupos patógenos (Fuente: Organización Europea para la Protección de las Plantas – OEPP/EPPO).

el universo microbiano?, ¿cuán de diverso es el universo microbiano que afecta o puede afectar a los vegetales en estudio?

Recurriendo otra vez como fuente a la EPPO, encontramos que esta organización cita 37 570 organismos totales capaces de causar daño a especies vegetales en el mundo; de ellos, 26 000 son especies animales, la mayoría de ellos artrópodos (especies de insectos y ácaros).

Si nos restringimos exclusivamente al mundo microbiano, incluyendo los nematodos dentro de este, que en ocasiones genera también controversia sobre qué disciplina científica los acoge como objeto de estudio, la EPPO nos dice que hasta ahora son unos 11 570 los organismos microbianos o cuasimicrobianos causantes de enfermedad, también en el sentido estricto académico. Para hacernos una idea de si esta cifra supone mucho o poco respecto al universo mundial de especies, se puede estimar que representa aproximadamente el 0,1 % de los organismos totales del planeta, que a su vez se estiman en alrededor de 11 millones de especies<sup>[2,5]</sup>. La EPPO no ofrece actualmente un desglose de los 11 750 organismos totales en grupos de organismos; debemos recurrir a otras fuentes. Aunque la cifra no coincide exactamente con

la EPPO, según diversos autores, se puede establecer que son alrededor de 8000 las especies de hongos fitopatógenos<sup>[11,10]</sup>, unas 2500 son especies de nematodos<sup>[8,3]</sup>, unas 1000 son de virus, viroides y *virus-like*<sup>[3]</sup>, unas 100 son especies de bacterias<sup>[9]</sup> y unas 40 son especies de fitoplasmas<sup>[7]</sup>, añadiendo a todas estas unas 570 entidades no clasificadas taxonómicamente (según la página web de la EPPO) [Figura 3].

¿Qué suponen estas cifras para un laboratorio de sanidad vegetal? Pues creemos que son un reto mayúsculo, puesto que nos hace pensar en los casi 12 000 protocolos de diagnóstico que serían necesarios hipotéticamente si cada uno de los organismos necesitara de forma específica solamente uno, sabiendo que a veces un solo organismo patógeno tiene establecidos varios métodos para su diagnóstico en un laboratorio concreto.

Con las cifras anteriores de diferentes grupos taxonómicos patógenos, podemos presuponer que son los hongos el grupo de organismos más importante, y en número desde luego que lo son, pero el panorama no es tan sencillo y depende de las circunstancias que rodean a los cultivos y la importancia que tienen estos. Este hecho depende de cada región, país o zona geográfica considerada. Por ello, nos podemos plantear ahora ¿cuán de diverso es el universo microbiano vegetal en España? La Sociedad Española de Fitopatología, en la segunda edición del libro *Patógenos de las plantas descritos en España*, del año 2010<sup>[14]</sup>, recoge, si no hemos contabilizado erróneamente, que se han citado en España 412 hongos [Figura 4], 140 virus, viroides o *virus-like*, 50 bacterias, 48 nematodos y 8 fitoplasmas, lo que serían 658 organismos microbianos en total. Aunque esta cifra la debemos tomar con reservas, puesto que el número de citas crece constantemente año a año, puede ser un buen punto de partida para establecer como referencia de trabajo de los laboratorios de diagnóstico españoles.

**La Sociedad Española de Fitopatología, en la segunda edición del libro *Patógenos de las plantas descritos en España*, del año 2010, recoge que se han citado en España 658 organismos microbianos en total**

### Organismos fitopatógenos en España

Fuente: SEF

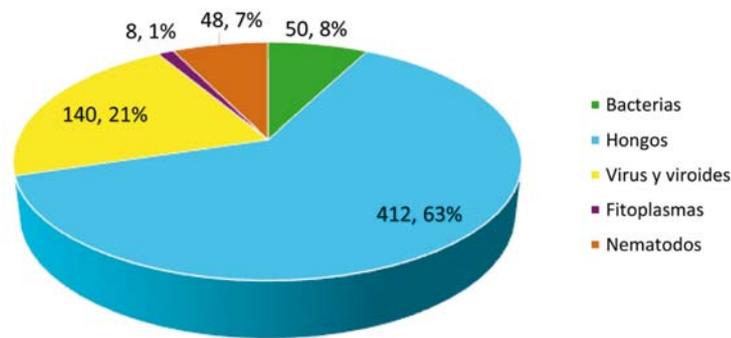


Figura 4. Número de organismos fitopatógenos en España distribuidos por grupos patógenos (Fuente: Sociedad Española de Fitopatología – SEF).

### Organismos de cuarentena y regulados no cuarentenarios en Europa y España

El diagnóstico de los organismos de cuarentena vegetales es una actividad muy importante de los laboratorios de diagnóstico vegetal. Para ello analizaremos la normativa vigente sobre este tema hasta el momento y teniendo en cuenta también los datos EPPO, que para nuestra zona regional fitosanitaria, oeste paleártica<sup>[17]</sup>, son muy importantes. La EPPO establece que son aproximadamente unas 1670 especies de interés de regulación en el ámbito de los países que acoge, 52 estados, de la zona oeste paleártica. Este objeto de regulación consiste en organismos que establece como cuarentenas en sus listas A1 y A2 y también candidatos considerados de alerta. La Unión Europea (UE) no tiene necesariamente que adoptar sus recomendaciones, que también se revisan desde un punto de vista científico, pero normalmente la Comisión sigue sus criterios y va incorporando en sus regulaciones los organismos propuestos por la EPPO.

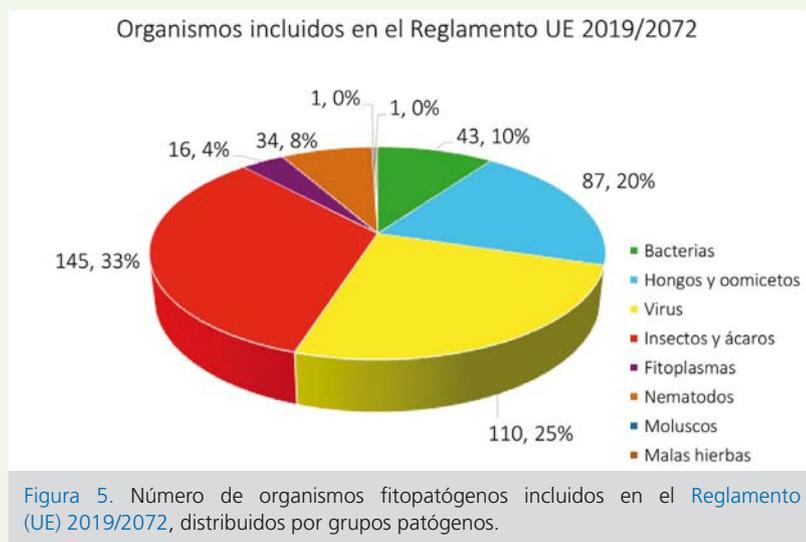
Pasando al ámbito regulatorio u oficial, en la Unión Europea, los países deben ejecutar los mandatos publicados por su propia legislación que, respecto a los organismos cuarentenarios, se recogía hasta hace poco en la Directiva 2000/29/CE del Consejo, de 8 de mayo de 2000, relativa a las medidas de protección contra la introducción en la Comunidad de organismos nocivos para los vegetales o productos vege-

tales y contra su propagación en el interior de la Comunidad. Actualmente esta directiva ha sido substituida por el Reglamento (UE) 2016/2031 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2016, relativo a las medidas de protección contra las plagas de los vegetales. Además, para una aplicación correcta de este, se ha publicado recientemente el Reglamento de ejecución (UE) 2019/2072 de la Comisión, de 28 de noviembre de 2019, por el que se establecen condiciones uniformes para la ejecución del Reglamento (UE) 2016/2031 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que se refiere a las medidas de protección contra las plagas de los vegetales.

El Reglamento (UE) 2019/2072 publica en sus anejos los organismos vigentes cuarentenarios y los organismos objeto de regulación para material de propagación en el ámbito de la Unión Europea. Ello significa que deben programarse inspecciones para detectar y, en su caso diagnosticar, cualquier organismo susceptible incluido en las listas anejas de ese reglamento. ¿De cuántos organismos hablamos? Pues en total son unos 437, si no hemos equivocado el cálculo. Desglosando por tipologías, hay 189 en el anejo IIA (no presentes en UE), 22 en el IIB (ya presentes en UE), 28 en el III (zonas protegidas) y 198 objeto de regulación en material de propagación. Aparte de estos, la UE tiene establecidos otros 7 organismos con medidas de emergencia y que debe vigilar.

**Hay más especies reguladas de virus que del resto de organismos microbianos, aunque la importancia relativa de cada uno de ellos es coyuntural y se establece por prioridades fitosanitarias**

Por grupos de organismos, de los 437, 73 son especies o taxones bacterianos [Figura 5], 87 de hongos u oomicetos, 110 de virus, 145 de insectos y ácaros, 16 de fitoplasmas, 34 de nematodos, un molusco y una mala hierba. Observamos aquí que las proporciones de grupos patógenos cuarentenarios varían respecto a las de los organismos patógenos totales. Hay más especies reguladas de virus que del resto de orga-



nismos microbianos, aunque la importancia relativa de cada uno de ellos es coyuntural y se establece por prioridades fitosanitarias. En este sentido es interesante tener en cuenta el Reglamento Delegado (UE) 2019/1702 de la Comisión, de 1 de agosto de 2019, por el que se complementa el Reglamento (UE) 2016/2031 del Parlamento Europeo y del Consejo estableciendo una lista de plagas prioritarias.

### El diagnóstico en los laboratorios oficiales

Las prospecciones en los diferentes territorios requieren de laboratorios oficiales que puedan analizar las muestras que se deriven para el análisis y descarte o detección de un organismo nocivo. Estos laboratorios disponen de protocolos de análisis que normalmente son aquellos publicados y actualizados por la EPPO, aunque no es la única fuente de estos. Hasta la fecha, la EPPO recoge más de 130 estándares de diagnóstico cuya mayoría trata de bacteriología, entomología, nematología, virología, fitoplasmología y micología. Aparte del diagnóstico específico, la EPPO también recoge algunos estándares de diagnóstico basados en criterios de calidad.

**Hasta la fecha, la EPPO recoge más de 130 estándares de diagnóstico cuya mayoría trata de bacteriología, entomología, nematología, virología, fitoplasmología y micología**

Otra fuente de protocolos para el diagnóstico son los Laboratorios de Referencia reconocidos oficialmente, cuya misión, entre otras, es confirmar las detecciones de los laboratorios autonómicos y proveer de protocolos de análisis de organismos cuando sean requeridos.

Los laboratorios oficiales de las CC. AA. asisten en las campañas oficiales de detección, analizando las muestras que provienen de inspección o de autocontroles de los mismos productores. Este hecho comporta una parte importante del trabajo de los laboratorios, seguramente más del 50 % o 60 % de las cargas, incluso bastante más en algunos casos. Su otra misión es atender mediante diagnóstico clínico las muestras que provengan de particulares, empresas o instituciones.

Para ilustrar sobre los diferentes organismos diagnosticados en un territorio concreto, exponemos los datos del Laboratorio de Agricultura y Sanidad Vegetal de Cataluña. Durante los últimos cinco años, desde el 2015 al 2019, este laboratorio ha pasado de analizar 50 organismos de cuarentena, a 121, más del doble, y con un crecimiento más o menos lineal hasta el momento. A partir del año 2020, por mandato de la UE, el Reglamento 2019/2072 establece que son 239 los organismos cuarentenarios y otros 198 los regulados para inspección. La pregunta que nos hacemos es si los laboratorios oficiales estamos preparados para saber identificar cualquiera de estos 437 organismos incluidos en el Reglamento.

Por otra parte, existen las situaciones fitosanitarias de contingencia que se desarrollan en un territorio cuando un organismo de cuarentena es detectado. Estas actuaciones implican, en muchos casos, la erradicación de los huéspedes del organismo y suponen el análisis de un gran número de muestras en poco tiempo. Estar preparados para las contingencias de prospección intensa que generarán grandes cantidades de muestras para el análisis, es otro reto de los laboratorios oficiales. Un ejemplo ac-

tual es el caso de *Xylella fastidiosa*, que casi ha colapsado a algunos laboratorios oficiales y ha implicado la dedicación de una gran cantidad de recursos que pueden poner en peligro el resto de rutinas de análisis de las que también son responsables estos laboratorios. Ante este escenario de necesidades múltiples y diversas, cabe preguntarse si los laboratorios de sanidad vegetal, en las condiciones actuales, están suficientemente preparados para atender los problemas que pueden surgir en los próximos años.

### Herramientas de diagnóstico para atender la diversidad: ¿organismo-objetivo u organismo-agnósticas?

En la gestión de un laboratorio, la primera pregunta que uno se hace es cuál es la mejor herramienta de diagnóstico microbiano, si es que existe solamente una. En los últimos años hay una tendencia a pensar que las técnicas moleculares son una herramienta ideal, siendo estas las que tienen un aumento importante y sostenido, pero el debate continúa abierto. ¿Lo son realmente?

Como ya se ha comentado previamente, los laboratorios de sanidad vegetal deben ser capaces de identificar unos 12 000 organismos y estos van incrementándose con el tiempo. Todo ello sin contar con los artrópodos y animales (26 000 especies), o también las especies vegetales (47 000 organismos) que, a la vez, son huésped y organismo causante de daño. Las identificaciones las deben hacer con su arsenal de herramientas diagnósticas, ya sean simplemente visuales (observación directa), como ópticas (con apoyo de lupa estereoscópica, o diversos tipos de microscopios), como microbiológicas (aislamiento e identificación a partir de medios agarizados u otros), pasando por pruebas bioquímicas o inmunológicas (ELISA, IF, IFD u otros), hasta los métodos moleculares aparecidos recientemente (los métodos basados en la técnica PCR son su emblema), entre otros posibles como, por ejemplo, la cromatografía MIS<sup>[12]</sup> y el uso del MALDI-TOF<sup>[1]</sup>. Actualmente, estos métodos dispo-

nibles para los análisis de rutina de los laboratorios de sanidad vegetal no difieren en absoluto respecto a los usados para diagnóstico microbiológico humano o animal, más bien podemos afirmar que se utilizan las mismas herramientas y con las mismas capacidades. Los distintos laboratorios variarán solamente en la capacidad de automatización para el diagnóstico de sus muestras, hecho que está muy desarrollado en laboratorios de salud humana y animal.

Pero los métodos diagnósticos imponen sus reglas y restricciones, que son inherentes a los fundamentos de estos. Para poder entender estos métodos según su naturaleza, la investigadora canadiense Ruth R. Miller y sus colaboradores<sup>[15]</sup> establecen que estos pueden ser “organismo-objetivo” o bien “organismo-agnósticos”. Explicamos brevemente estos conceptos.

Un método es “organismo-objetivo” si está diseñado para la determinación mediante análisis de una especie concreta o un nivel taxonómico concreto. Solamente tiene un objetivo o *target* concreto y no permite determinar otros objetivos taxonómicos. Entre estos, podemos tener los test ELISA que buscan un antígeno concreto, o las diversas técnicas de PCR que están diseñadas para detectar la presencia de un organismo en un huésped mediante el uso de cebadores específicos que permiten reconocer una secuencia específica de nucleótidos. Estos test son muy específicos y solamente permiten la determinación de un organismo o muy pocos para cada ensayo.

Un método es “organismo-agnóstico” cuando está diseñado para determinar cualquier organismo o conjunto de organismos, normalmente especies, si bien los organismos pueden pertenecer a otro nivel taxonómico. Un test microbiológico donde pueden crecer múltiples organismos e identificarse morfológicamente puede ser de este tipo. Algunos test pueden ser parcialmente agnósticos, como la determinación bacteriana mediante el perfil de ácidos grasos (cromatografía MIS), o bien el

MALDI-TOF, que permite la identificación mediante el perfil proteínico y lipídico de especies bacterianas o fúngicas. Estos test son amplios y permiten un mayor espectro de determinación para un laboratorio, hecho que puede ser muy interesante y útil.

El método ideal para un laboratorio quizás debería ser aquel que pueda ser suficientemente universal, tipo organismo-agnóstico, conservando una alta fiabilidad (sensibilidad y especificidad) y, además, a un coste muy razonable.

### Herramientas de nueva generación para una mejora del diagnóstico: de la microbiología clásica a la metagenómica

Normalmente y hasta el momento, las técnicas clásicas de diagnóstico tenían un perfil generalista, tipo organismo-agnóstico, y las técnicas inmunológicas o las moleculares estaban diseñadas para determinar un objetivo muy concreto, tipo organismo-objetivo. En la actualidad, el panorama ha variado sensiblemente siendo estas últimas también diversas y masivas. La última generación de técnicas moleculares basadas en la secuenciación genómica específica, como el conocido “*barcoding*”, acuñado por Hebert y colaboradores<sup>[6]</sup>, diseñadas sobre una o varias regiones conservadas del genoma de un grupo taxonómico amplio, la secuenciación masiva de genes específicos que permite la determinación de un grupo muy numeroso de organismos, o bien la metagenómica o “*shotgun metagenomics*”, que analiza todo material genético procedente de un conjunto de microorganismos (microbiota) presentes en una muestra<sup>[4]</sup>, pueden convertirse en métodos universales tipo organismo-agnóstico, y ser herramientas muy potentes en un futuro próximo por su transversalidad. De todas ellas, el *barcoding* ya se está incorporando como rutina en algunos laboratorios de sanidad vegetal, y la metagenómica quizás sea la herramienta organismo-agnóstica con un potencial mayor si se acaba implantando como rutina en los próximos años. Nos preguntamos si todos

los laboratorios oficiales de sanidad vegetal podrán disponer fácilmente o asumir estas herramientas, dado su coste o requerimientos técnicos.

### Cuestiones para la reflexión

*El diagnóstico vegetal es quizás menos masivo, pero más complejo en el ámbito planta-patógeno que el animal o el humano*

La interacción con muchos genomas vegetales, centenares o miles, hace que la labor de diagnóstico sea más compleja, puesto que confronta un universo microbiano para cada especie vegetal objeto de diagnóstico. En sí mismo, esto es un reto enorme siendo las técnicas moleculares las que más se incrementan en los laboratorios de diagnóstico.

*El universo microbiano vegetal es muy diverso*

12000 organismos potenciales de ser diagnosticados en una muestra vegetal es otro reto ingente. Aunque este universo se restrinja para un grupo concreto de vegetales o para una zona bioclimática concreta, no deja de ser un grupo muy numeroso de organismos que los laboratorios deben saber diagnosticar adecuadamente y tener establecidos métodos de análisis.

Por nuestra experiencia, la cifra concreta del universo microbiano de cada laboratorio va aumentando cada día debido a la globalización del comercio y a los movimientos de los organismos infecciosos.

*Cómo responder al diagnóstico de cuarentenas en el ámbito UE?*

Es otro reto no menospreciable. El último reglamento UE establece 239 organismos de cuarentena que se deben reconocer y poder diagnosticar, más 198 susceptibles de ser identificados en los laboratorios, por ser también objeto de regulación en material de propagación. Todos estos 437 organismos se deben poder diagnosticar en los laboratorios oficiales y estos deben desarrollar métodos adecuados y fiables para su diagnóstico.

Debemos constatar, sin embargo, que la misma UE no ha desarrollado o establecido los métodos de análisis oficiales para estos organismos, si bien para algunos de ellos podemos encontrar métodos publicados en la EPPO.

### *Detección de focos y gestión de emergencias fitosanitarias*

Aparte de resolver el día a día del diagnóstico clínico, que ya supone un desafío, o bien atender toda la demanda de diagnóstico oficial, que ya hemos visto que es diversa e importante, los laboratorios deben atender situaciones de emergencia que provocan un aumento exhaustivo de muestras a corto plazo y durante tiempos indeterminados, a veces prolongados. Este trabajo se añade o superpone al que era habitual del laboratorio y precisa de una respuesta de calidad por las responsabilidades inherentes de destrucción de material vegetal o inmovilización en casos de detección positiva.

### *Soluciones globales precisan herramientas globales*

No se puede responder a diagnósticos de todos los organismos con, al menos, un método de diagnóstico para cada uno de ellos; no existe el laboratorio de sanidad vegetal capaz de asumir esta enorme tarea. Son precisas otras soluciones que no pasen por el desarrollo de métodos y más métodos que, además, corren el riesgo de la obsolescencia a corto o a medio plazo. Se deben buscar herramientas globales de diagnóstico, tipo organismo-agnósticas, que ofrezcan respuesta a esta demanda masiva, pero también que lo hagan con una calidad suficiente.

### *¿Cómo contemplar la calidad dentro de este sistema complejo?*

El control de calidad debería también responder a esta diversidad atendida por los laboratorios de sanidad vegetal, siendo flexible y de acuerdo a sus especificidades. Teniendo en cuenta que los laboratorios de salud humana y animal son intrínsecamente diferentes a los

de sanidad vegetal, las acreditaciones bajo normas deberían conformarse en base a criterios diseñados *ad hoc* para este tipo de laboratorios.

### **Conclusiones**

Los laboratorios de sanidad vegetal se deben acercar progresivamente a una visión holística de la salud, junto a la sanidad animal y la sanidad humana, para una visión compleja e integral de los problemas en las plantas y en el medio ambiente.

El mundo vegetal es muy amplio y representa un reto para el proceso diagnóstico en los laboratorios, ya que interaccionan numerosos genomas vegetales con un nutrido grupo de patógenos asociados a las especies huésped.

El universo microbiano vegetal es muy diverso y complejo, tanto en el mundo como en España, y ello supone un reto para la capacidad de los laboratorios de diagnóstico. También se muestra muy complejo el universo de los organismos incluidos en los controles oficiales a los que los laboratorios dan soporte.

Las herramientas clásicas de diagnóstico, como las microbiológicas, son organismo-agnósticas, pero son laboriosas y necesitan de una inversión importante de tiempos para los análisis. Las herramientas moleculares son las que tienden a imponerse en los laboratorios, pero las disponibles hasta ahora como rutina son organismo-objetivo, lo que supone elaborar al menos un protocolo para cada organismo de análisis, lo que las hace menos manejables cuando aumenta significativamente su número.

El *barcoding* es cada vez más utilizado en los laboratorios oficiales de sanidad vegetal, si bien continúa siendo organismo-objetivo. La herramienta molecular que se proyecta como organismo-agnóstica más potente es la metagenómica, que sería a la vez una técnica que podría atender la diversidad diagnóstica que tienen como reto actualmente los laboratorios.

**Cabe preguntarse si los laboratorios de sanidad vegetal, en las condiciones actuales, están suficientemente preparados para atender los problemas que pueden surgir en los próximos años**

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS y NOTAS

- <sup>1</sup> Ahmad, F., Babalola, O. O. y Tak, H. I. (2012). "Potential of MALDI-TOF mass spectrometry as a rapid detection technique in plant pathology: identification of plant-associated microorganisms". *Anal. Bioanal. Chem.* **404**: 1247-55.
- <sup>2</sup> Chapman, A. D. (2009). *Numbers of living species in Australia and the world*. 2<sup>nd</sup> edition. Commonwealth of Australia. 80 pp. Canberra, Australia.
- <sup>3</sup> Gergerich, R. C. y Dolja, V. V. (2006). "Introduction to plant viruses, the invisible foe". *The Plant Health Instructor*.
- <sup>4</sup> Hadelsman, J. (2004). "Metagenomics: Application of genomics to uncultured microorganisms". *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* **68**: 669-685.
- <sup>5</sup> Hawksworth, D. L. (2001). "The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited". *Mycological Research* **105**: 1422-1432.
- <sup>6</sup> Hebert, P. D. N. et al. (2003). "Biological identifications through DNA barcodes". *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences.* **270**: 313-321.
- <sup>7</sup> Hogenhout, S. A. et al. (2008). "Phytoplasmas: bacteria that manipulate plants and insects". *Molecular Plant Pathology* **9**: 403-423.
- <sup>8</sup> Ingham, R. y Jensen, H. J. (2015). "Nematodes". *PNW Plant Disease Management Handbook*. Corvallis, OR: Oregon State University.
- <sup>9</sup> Jackson, R. W. (ed.). (2009). *Plant Pathogenic Bacteria: Genomics and Molecular Biology*. 342 pp. Caister Academic Press.
- <sup>10</sup> Juárez-Becerra, G. P., Sosa, M. E. y López, A. (2010). "Hongos fitopatógenos de alta importancia económica: descripción y métodos de control". *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* **4**: 14-23.
- <sup>11</sup> Knogge, W. (1996). "Fungal infection of plants". *The Plant Cell* **8**: 1711-1722.
- <sup>12</sup> Kunitsky, C., Osterhout, G. y Sasser, M. (2005). "Identification of microorganisms using fatty acid methyl ester (FAME) analysis and the MIDI Sherlock® Microbial Identification System". En *Encyclopedia of Rapid Microbiological Methods* vol. 3. M. J. Miller (ed.) DHI Publishing, LLC, River Grove, IL.
- <sup>13</sup> Lerner, H. y Berg, C. (2015). "The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: What is One Health?". *Infection Ecology and Epidemiology* **5**: 25300.
- <sup>14</sup> Melgarejo, P. et al. (2010). *Patógenos de plantas descritos en España*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio rural y Marino. 850 pp. Madrid.
- <sup>15</sup> Miller, R. R. et al. (2013). "Metagenomics for pathogen detection in public health". *Genome Medicine* **5**: 81.
- <sup>16</sup> Snow, D. y Perrins, C. M. (ed.) (1998). *The Birds of the Western Palearctic concise edition* (2 volumes). 43 pp. Oxford: Oxford University Press.
- <sup>17</sup> En un artículo del año 1858, en los *Proceedings of the Linnean Society*, el zoólogo británico Philip Sclater identificó por primera vez seis reinos zoogeográficos terrestres en el planeta: paleártico, etíope/afrotropical, indio/indomalayo, australásico, neártico y neotropical. Los seis grupos indicaban agrupaciones genéricas de fauna basados en barreras de biogeografía compartida y barreras geográficas a gran escala para la migración. La ecozona oeste paleártica incluye la mayor parte de las ecorregiones boreal y de clima templado de la zona paleártica <sup>[16]</sup>.



# FITOPATOLOGÍA

## EN TIEMPOS DE PANDEMIA

ANTONIO VICENT<sup>1</sup> y VICENTE PALLAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

<sup>2</sup>Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (UPV-CSIC)

AGRADECIMIENTOS: Los autores desean agradecer a los miembros de la Junta de la SEF las valiosas sugerencias recibidas en la redacción de este documento.

En estos momentos, la mayoría de los que leéis esta nota seguramente estaríais inmersos en alguna de las actividades programadas para conmemorar el [Año Internacional de la Sanidad Vegetal](#). Una oportunidad, sin duda, histórica para concienciar a la sociedad de la importancia de nuestro trabajo como fitopatólogos. Sin embargo, la realidad impuesta por la pandemia de la COVID-19 ha supuesto la cancelación y el aplazamiento

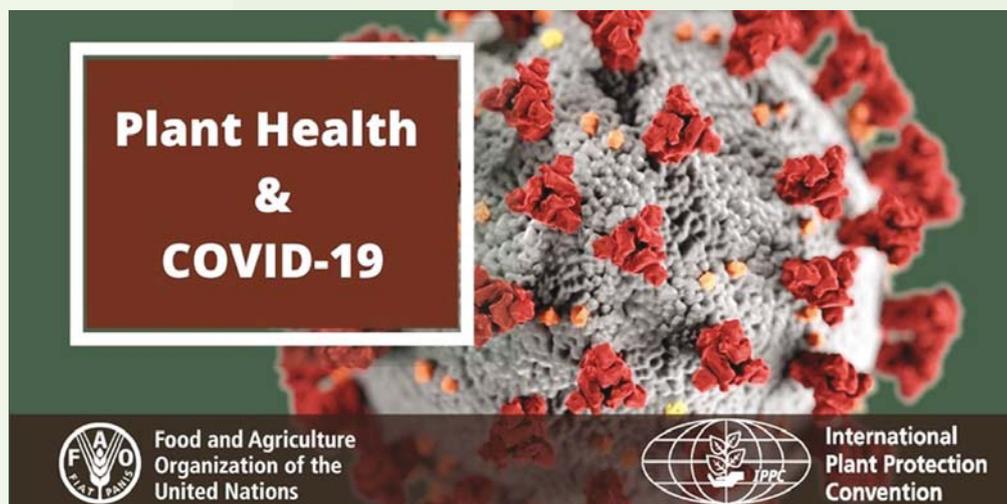
de muchos de estos eventos conmemorativos, entre ellos nuestro [XX Congreso de la SEF](#).

Aunque en cierta forma invisibilizada por la dimensión de los acontecimientos, la Fitopatología no es ajena a esta pandemia, siendo, de hecho, un componente esencial de su gestión. Las plantas y los productos vegetales son la principal fuente de ingresos de casi la mitad de la población mundial y suponen el 80 % de nuestra dieta<sup>[3]</sup>. Es, por lo tanto, un objetivo estratégico de los gobiernos

garantizar la seguridad alimentaria de su población durante la pandemia, de forma que todas las personas tengan acceso permanente a los alimentos en cantidad suficiente. La Sanidad Vegetal y nuestro trabajo como fitopatólogos son parte intrínseca y esencial de la seguridad alimentaria. La aparición de nuevas enfermedades vegetales, o una gestión inadecuada de las ya existentes, pueden comprometer seriamente la capacidad de producción de alimentos, generando una grave inestabilidad social e imposibilitando la gestión adecuada de la pandemia. Hay que recordar que, en la actualidad, más de 800 millones de personas viven en pobreza extrema en el mundo, a los que, según estimaciones de las Naciones Unidas, habría que añadir 50 millones más debido a la pandemia<sup>[7]</sup>.

Además de las obvias repercusiones en la salud de la población, este periodo pandémico ha tenido y está teniendo consecuencias drásticas para las actividades socioeconómicas. Tales han sido las consecuencias que los ecólogos han definido a esta etapa de confinamiento y de limitada actividad humana como *antropopausa*. Un reciente trabajo elaborado por la Universidad de California ha puesto de manifiesto una estrecha relación entre la explotación y degradación de los hábitats naturales y un mayor riesgo de transmisión de virus,

**Un reciente trabajo elaborado por la Universidad de California ha puesto de manifiesto una estrecha relación entre la explotación y degradación de los hábitats naturales y un mayor riesgo de transmisión de virus**



habiéndose contabilizado hasta 142 virus zoonóticos que se han transmitido desde los animales, muchos de ellos relacionados especialmente con la ganadería y la agricultura, a los humanos<sup>[4]</sup>. Esta interconexión entre la salud humana, la sanidad animal y la sanidad de los ecosistemas ha dado lugar al concepto de *One Health*, que ya contaba con una notable presencia en las agendas internacionales antes incluso de la COVID-19<sup>[1]</sup>. Uno de los ejemplos paradigmáticos del *One Health* y de cómo influyen las actividades antropogénicas, como la agricultura, en la emergencia de nuevas zoonosis lo constituye la fiebre hemorrágica argentina causada por el virus Junín. Durante los años de entreguerras, con una gran demanda mundial de alimentos, la mayor parte de la Pampa argentina se convirtió en interminables campos productivos de maíz, eliminando las malas hierbas con tratamientos herbicidas masivos. Las malas hierbas desaparecieron, pero en estos nuevos campos de maíz apareció una nueva mala hierba tolerante a la sombra que propició la emergencia de un nuevo roedor dominante (*Calomys musculinus*). En 1953 se detectó en esa área una nueva fiebre hemorrágica humana y el agente causal, el virus Junín, se aisló de los roedores de los campos de maíz.

Con el objetivo, y quizá pretexto, de “prevenir la aparición de nuevas epidemias”, la Comisión Europea se ha propuesto reducir

complicado para la agricultura europea. Si hay algo que ha revelado claramente esta pandemia es que las actividades antropogénicas no reguladas y no respetuosas con el medio ambiente son fuente de nuevas zoonosis, pero también que Europa debe ser autosuficiente desde el punto de vista alimentario y sanitario, lo que en ninguno de los dos casos se ha sido cierto. Las propuestas de la Comisión Europea no tienen en cuenta estas circunstancias y van en la simple línea ideológica de “producir menos”. Hay que recordar que China tiene unas reservas alimentarias para su población de un año; EE. UU. y Rusia, de seis meses; y Europa ¡solo de 45 días! La Sanidad Vegetal es, si cabe, más importante que nunca en estos momentos de crisis productiva y sanitaria.

Además de la producción de alimentos, su transporte y distribución son claves para mantener activas las cadenas de suministros. Como señala en un reciente artículo el economista jefe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Máximo Torero, las cadenas de suministro de alimentos actuales tienen una dimensión global. La mayoría de países dependen unos de otros para el aprovisionamiento de determinadas materias primas vegetales e insumos agrícolas. Hoy en día las posiciones aislacionistas son una excepción y sin unas cadenas de suministro transnacionales plena-

la tierra cultivable en un 10 % para evitar “la pérdida de biodiversidad” y, además, convertir el 25 % de la tierra cultivable en producción ecológica. Si a esto añadimos que antes de la pandemia se pretendía reducir con el pacto verde europeo un 50 % el uso de productos fitosanitarios y al menos un 20 % el de los fertilizantes, es obvio que estamos ante un panorama muy

**La Comisión Europea se ha propuesto reducir la tierra cultivable en un 10 % para evitar “la pérdida de biodiversidad” y, además, convertir el 25 % de la tierra cultivable en producción ecológica**

mente operativas, podría peligrar la seguridad alimentaria de muchos países<sup>[6]</sup>.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que el transporte de plantas y productos vegetales no está exento de riesgos. Como en el caso del SARS-CoV-2, el movimiento de personas y mercancías determina en gran medida la diseminación global de los patógenos vegetales. Para que este transporte pueda realizarse con un nivel de riesgo fitosanitario controlado, el Reglamento (UE) 2016/2031 establece la obligatoriedad del certificado fitosanitario para la introducción en el territorio de la Unión Europea (UE) de plantas y productos vegetales procedentes de terceros países. Los inspectores fitosanitarios en frontera son los encargados de la verificación de estos certificados, así como de la inspección física de las mercancías vegetales. Como dato ilustrativo del trabajo de estos inspectores, en 2018 se realizaron un total de 1712 interceptaciones de organismos de cuarentena en las fronteras de la UE, un 64 % en frutas y verduras, un 18 % en flor cortada, un 12 % en material de embalaje de madera y un 5 % en plantas vivas. Estos valores suponen un incremento del 16 % en las interceptaciones respecto al año anterior<sup>[2]</sup>.

Durante las fases de confinamiento por la COVID-19, la actividad de los inspectores fitosanitarios se ha considerado esencial y han podido continuar con su trabajo de vigilancia en frontera. No obstante, la situación sanitaria ha supuesto en algunos casos retrasos en la expedición de certificados fitosanitarios. Precisamente, la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC) de la FAO inició recientemente la implantación de un sistema de [certificados fitosanitarios electrónicos](#), al que varios países ya se habían adherido antes del inicio de la pandemia. Al igual que en otras actividades económicas, esta digitalización facilitará, sin duda, la adaptación a la nueva normalidad también en el ámbito de certificación fitosanitaria.

La pandemia de la COVID-19 ha visibilizado también la importancia de la coordinación sanitaria a ni-

vel internacional y el papel estratégico de instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS). En un mundo globalizado, las enfermedades no entienden de fronteras políticas. El control de una pandemia solo es posible mediante una actuación rápida y coordinada a nivel internacional. La falta de transparencia, la aplicación de acciones unilaterales, discordantes y descoordinadas, pueden resultar catastróficas en una situación de emergencia sanitaria.

Esta misma reflexión es aplicable en el contexto de la Sanidad Vegetal. Los fitopatógenos tampoco entienden de fronteras y las acciones de prevención y gestión deben abordarse necesariamente con una perspectiva glo-

### **La pandemia de la COVID-19 ha visibilizado también la importancia de la coordinación sanitaria a nivel internacional y el papel estratégico de instituciones como la Organización Mundial de la Salud (OMS)**

bal. Instituciones como la IPPC y la Organización Europea y Mediterránea de Protección Vegetal (EPPO) son las encargadas de coordinar las acciones en materia de Sanidad Vegetal a nivel internacional. De hecho, los principales ámbitos de actuación de estas organizaciones son la prevención y los planes de contingencia frente a nuevas plagas y enfermedades<sup>[5]</sup>.

Aunque la pandemia de la COVID-19 ha eclipsado el Año Internacional de la Sanidad Vegetal, quizás pueda tener un efecto

trasversal y, en cierta forma, inesperado sobre nuestra disciplina. Existen, sin duda, numerosos paralelismos en el abordaje de las enfermedades humanas y las vegetales. Averiguar cómo y dónde ha emergido un nuevo patógeno, desarrollar métodos eficientes para su detección y diagnóstico, estudiar su epidemiología y, a partir de ahí, decidir las estrategias de control más adecuadas, etc. Todos estos conceptos y aproximaciones que aplicamos también los fitopatólogos a las enfermedades vegetales están ahora continuamente presentes en los medios de comunicación. En cierta forma, esto podría ayudar a que el público general conozca mejor las bases científicas de nuestra disciplina y el trabajo que desarrollamos.

Por otra parte, la pandemia de la COVID-19 nos ha recordado a todos, en ocasiones de forma cruel, los

efectos devastadores de las enfermedades. Como bien ha indicado la IPPC, uno de los aspectos que ha puesto de manifiesto la pandemia es que, como en Sanidad Vegetal, prevenir siempre es mejor que curar<sup>[3]</sup>. El coste de la prevención es infinitamente menor a los daños ocasionados por la introducción de nuevas enfermedades y las acciones derivadas de su contención.

Esta pandemia es, sin duda, una llamada de atención sobre la necesidad de acciones coordinadas para detener la propagación de enfermedades, tanto las que afectan a humanos como las que dañan nuestra agricultura y el medio ambiente. También ha puesto claramente de

manifiesto que la comunidad científica debe ser parte esencial en la toma de decisiones y gobernanza, no solo en situaciones pandémicas sino en los escenarios preventivos y que, por tanto, la inversión en ciencia debe ser un pilar sobre el que se asiente cualquier gobierno que busque el bienestar y progreso de los ciudadanos.

Más allá de todos los eventos que teníamos programados, esta desafortunada situación quizás sirva para concienciar sobre la importancia de la Sanidad, también la Vegetal. Como señala el lema de nuestro año conmemorativo: **“Proteger las plantas, proteger la vida”**.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS y NOTAS

- <sup>1</sup> Deem, S. L., Lane-deGraaf, K. E. y Rayhel, E. A. (2019). *Introduction to one health: An interdisciplinary approach to planetary health*. John Wiley & Sons. pp. 296.
- <sup>2</sup> DG SANTE, Directorate-General for Health and Food Safety, European Commission (2018). *Europhyt interceptions. Annual Report 2018*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. pp. 55.
- <sup>3</sup> IPPC, International Plant Protection Convention (2020). “Key messages from the IPPC Secretariat on plant health and COVID-19”. 19 de marzo de 2020.
- <sup>4</sup> Johnson C. K. *et al.* (2020). “Global shifts in mammalian population trends reveal key predictors of virus spillover risk”. *Proc. R. Soc. B.* **287**: 20192736.
- <sup>5</sup> Giovani, B. *et al.* (2020). “Science diplomacy for plant health”. *Nature Plants* **6**: 902-905.
- <sup>6</sup> Torero, M. (2020). “Without food, there can be no exit from the pandemic”. *Nature* **580**: 588-589.
- <sup>7</sup> United Nations (2020). *Policy Brief: The Impact of COVID-19 on Food Security and Nutrition*.



## CRISTINA NOVAL ALONSO

Por CARMINA MONTÓN, JUANA ISABEL PÁEZ y REMEDIOS SANTIAGO

Coordinadoras del Grupo de Laboratorio de Diagnóstico y Prospecciones Fitosanitarias



En el mes de agosto de 2019 nos dejó CRISTINA NOVAL ALONSO, insigne fitopatóloga. Ingeniero Agrónomo que dedicó toda su vida profesional al estudio y diagnóstico de las bacterias fitopatógenas que dañan la gran variedad de productos vegetales que se producen en España. Autora de distintos libros y artículos sobre bacteriosis, como el apartado sobre bacterias del libro editado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) en 1991, *Manual de Labora-*

*torio. Diagnósticos de hongos, bacterias y nematodos fitopatógenos.*

Cristina es parte importante de la historia de nuestra Sociedad ya que junto a R. Jiménez-Díaz, A. Bello y J. Romero formó parte de la junta gestora que redactó los estatutos de la SEF, que se aprobaron el 24 de septiembre de 1981 [Figura 1]. La junta gestora se encargó, entre otras muchas cosas, de los trámites de inscripción de la SEF en el Registro de Sociedades del Ministerio del Interior y de la organización del I Congreso Nacional de Fito-

patología que tuvo lugar en Granada del 8 al 12 de noviembre de 1982 [Figura 2]. Durante el congreso se eligió a Cristina como tesorera de la primera junta directiva de la SEF.

Es también importante en todo el devenir del Grupo de Trabajo de Laboratorios de Diagnósticos y Prospecciones Fitosanitaria (GTLDPF), como trasmisora de conocimientos y como miembro del grupo representante del Ministerio de Agricultura, donde participó en las reuniones celebradas entre 1989 y 1998. Algunos de los integrantes de lo que sería el GTLDPF conocimos a Cristina finales de los 80 en una minisesión de bacteriología que tuvo lugar en un laboratorio triste, vacío y desolado de Madrid, perteneciente a la Subdirección General de Sanidad Vegetal, donde ella trabajaba. Tan solo asistimos 3 o 4 participantes de alguna de las comunidades autónomas. Más tarde, en el



Figura 1. Junta gestora y organizadores del Congreso de Granada, 1982 (Imagen de Javier Romero).



Figura 2. Primer Congreso de la SEF, en Granada, 1982 (Imagen de Javier Romero).

92, nos enseñó en ese mismo laboratorio, en una habitación minúscula, a ver la fluorescencia de las bacterias; entonces estaba “de moda” la podredumbre anular de la patata causada por la antiguamente llamada *Corynebacterium sepedonicum*. Suponemos que estos fueron trabajos encomendados por el Ministerio para ver la preparación que tenían los laboratorios

de Diagnóstico recién creados en la detección de bacterias de cuarentena.

Poco a poco se fue haciendo muy presente en las convocatorias del Ministerio en las reuniones de nuestro añorado Grupo de Trabajo de Laboratorios de Diagnóstico y Prospecciones Fitosanitarias, donde nos ponía al día de toda la normativa fitosanitaria referente a bacterias fitopatógenas. Persona trabajadora, dialogante y buena mediadora; su papel entre el Grupo y el Ministerio fue decisivo para nuestro trabajo, limando asperezas y facilitando nuestra tarea.



Figura 3. Cristina ejerciendo de gallega, en Vitoria, 1995 (Imagen del grupo GTLDPF).

Fueron pasando los años, y la interlocutora con el Ministerio también fue cambiando de persona. No obstante, seguimos manteniendo con ella una buena relación que poco a poco se había convertido en una buena amistad. Entre sus aficiones se encontraba la música (formaba parte de una coral), viajar, jugar al tenis con los amigos y, sobre todo, su tierra, su querida Galicia. Era entrañable cuando hablaba de ella, como pudimos comprobar en su mirada y sonrisa cuando hizo aquella queimada en aquel momento de asueto en la reunión del GTLDPF, en 1995 en Vitoria, que recordamos con tanto cariño [Figura 3].



## GIOVANNI PAOLO MARTELLI (1939-2020)

Por MARIANO CAMBRA<sup>1</sup> y VICENTE CONEJERO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) Moncada (Valencia)

<sup>2</sup>Instituto de Biología Molecular y celular de plantas (IBMCP) Valencia



Fotos suministradas a Mariano Cambra por Martelli o su familia.

**G**iovanni Paolo Martelli, profesor emérito de la Universidad Aldo Moro de Bari (Italia), falleció el 8 de enero de 2020, al comienzo del Año Internacional de la Sanidad Vegetal, tras una enfermedad incurable que

se recrudesció antes de Navidad. Se trata de una pérdida irreparable, no solo por su dimensión y excelencia científica, sino por su gran calidad humana. Además de ser un verdadero caballero, *sensu lato*, fue una autoridad reconocida internacionalmente en todos aquellos temas científicos que abordó.

El profesor Martelli nació en 1935 en Palermo, Italia. Se graduó *cum laude* en Ciencias Agrarias por la Universidad de Bari, donde transcurrió la mayor parte de su carrera. Comenzó su actividad en fitopatología, investigando la biología de los hongos del olivo, árboles frutales, vid, plantas hortícolas y, especialmente, de la antracnosis. Describió, también, nuevas especies de micromicetos.

Desde 1960 a 1963, participó en distintos estudios en el Botany Institute de la Universidad de Liverpool, Inglaterra (Reino Unido) y después, en el Department of Plant Pathology de la Universidad de California, Davis (EE. UU.), donde se apasionó por la Virología y Nematología bajo la tutela del profesor W. B. Hewitt. Finalmente acabó su periplo en el Scottish Crop Research Institute en Invergowrie, Escocia (Reino Unido).

A su retorno a Bari, en 1963, creó un laboratorio de Virología que pronto alcanzó prestigio internacional por sus contribuciones en virus y virosis de la vid y del olivo, entre otras, y en taxonomía de virus y viroides. Fue pionero en

Italia en incorporar las tecnologías de producción de anticuerpos monoclonales específicos y las de biología molecular, a la fitopatología.

Fue nombrado profesor titular en 1973 y ganó la cátedra de Virología vegetal en 1980, cargo que desempeñó hasta su jubilación en 2010, aunque continuó trabajando como profesor emérito hasta 2019. Impartió Microbiología y Patología vegetal en las Universidades de Bari y Palermo. Fue un magnífico profesor que deja numerosos alumnos que son figuras clave de la fitopatología italiana actual. Durante su larga carrera identificó varios virus de especies leñosas, herbáceas y de malas hierbas, y centró su interés en la citopatología, microscopía electrónica y taxonomía. Fue un fitopatólogo que investigó prácticamente en todos los aspectos de la virología, tanto en diagnóstico como en epidemiología y control, siendo además coautor de la descripción de más de 50 especies, géneros o familias de virus fitopatógenos. Fue un miembro muy activo del International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) desde 1978 y miembro del Comité Ejecutivo desde 1999. Como responsable del Subcomité de Taxonomía, propuso y promovió la actual nomenclatura taxonómica de virus y viroides. De hecho, el ICTV en su reciente extensión de la taxonomía de virus a 15 rangos, ratificó el nombre de *Martelliviruses* en reconocimiento a sus contribuciones.

Publicó más de 300 artículos en revistas científicas y participó como autor en más de 600 capítulos de libros, monografías, artículos de divulgación científico-técnica y comunicaciones a congresos, como resultado de su actividad en proyectos de investigación italianos e internacionales. Presidió innumerables congresos, reuniones científico-técnicas internacionales e impartió numerosísimas conferencias y se-



minarios. Fue editor jefe, de 2002 a 2020, del *Journal of Plant Pathology*, revista oficial de la Società Italiana di Patologia Vegetale (SIPV).

Durante su larga y fructífera carrera, el profesor Martelli fue presidente del International Council for the Study of Viruses and Virus Diseases of the Grapevine (ICVG) desde 1987 a 2018; presidente de la Associazione Italiana per la Protezione delle Piante en el periodo 1980-1986; y de la Società Italiana di Patologia Vegetale, de 2002 a 2004. Presidió, de 1979 a 1981, el grupo internacional de trabajo de virus de plantas de la International Society of Horticultural Science (ISHS). Nombrado *Fellow* en 1997 por la American Phytopathological Society (APS), fue miembro de prestigiosas academias italianas, entre ellas, de la Accademia Nazionale dei Lincei y de la Accademia dei Georgofili, y también fue un destacado miembro del Comité Oleícola Internacional (COI). En todos los foros en los que participó, su opinión, no solo fue siempre respetada, sino tenida en cuenta, por su valía científica y experiencia. El profesor Martelli recibió numerosos premios, distinciones y reconocimientos al mérito científico como la medalla de oro de la Academia de Agricultura de Francia y el “F. Masari-Florio World Prize for Distinguished Research in Agriculture” de Italia.

Su generosidad le llevó a participar en numerosas misiones internacionales oficiales en Europa, Norte de África, Oriente Próximo, Extremo Oriente, América Latina, Nueva Zelanda y Australia. Transmitió a numerosos alumnos sus preciosos conocimientos a través del International Course on Protection and Sanitation of Mediterranean Fruit Crops que organizó e impartió hasta 2008, en el Istituto Agronomico Mediterraneo di Valenzano-Bari (IAMB) donde también coordinó el programa asociado de M. Sc. en Virología de plantas de la red del Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes (CIHEAM).

Su brillante carrera queda escrita y vivirá para siempre en la historia

de la Ciencia y, especialmente, de la Fitopatología. Pero más allá del científico y profesor, había algo en él de lo que los que tuvimos la fortuna de conocerlo y tratarlo personalmente, pudimos disfrutar: su gran calidad humana y extraordinaria capacidad y cordialidad para conectar con los demás, cualidad que potenciaba su dimensión científica y académica.

Giovanni fue siempre un caballero elegante, en la ciencia y en la vida diaria y un gran amigo y colega de muchos científicos españoles. Le gustaba mucho España y nuestra forma de vivir y, sobre todo, nuestras conversaciones nocturnas sobre la vida, el bien y el mal, siempre que estuvieran regadas con una copa de buen vino.

Aceptó encantado las invitaciones a formar parte en tribunales de tesis, a impartir seminarios o participar en actividades científicas en nuestro país, compartiendo siempre sus conocimientos y dando sugerencias brillantes, acertadas y útiles. Practicó el arte de la amistad sincera y fue un privilegio contar con su apoyo, complicidad, opinión y maestría.

Recientemente, su gran experiencia le permitió guiar a los colegas de Bari en la identificación de la bacteria *Xylella fastidiosa* como agente causal del denominado “síndrome de decaimiento rápido del olivo”, en el sur de Italia. En este Año Internacional de la Sanidad Vegetal, declarado por la FAO, los virus estarán de luto, pues han perdido al profesor (o al “general”, como cariñosamente le llamábamos algunos admiradores) que los bautizaba, los daba a conocer e investigaba para escribir innovadores relatos sobre ellos.

Su familia, la ciencia en general y nosotros los virólogos y fitopatólogos, hemos perdido un genial y humilde maestro, tesoro de sabiduría y profesor de excepción. Afortunadamente, su obra y su huella siguen vigentes en los numerosos compañeros y discípulos de la Università degli studi di Bari Aldo Moro, del Istituto per Protezione Sostenibile delle Piante (Consiglio Nazionale delle Ricerche-CNR) de Italia y en muchos otros países de los cinco continentes.

No solo nosotros, también los olivos están tristes y las vides lloran esta primavera con añoranza, recordándole.

**\*Interesados en más detalles:**

Rubino, L. (2020). “Giovanni Paolo Martelli (1935–2020)”. *J. Plant. Pathol.* **102**: 1-2.



# SOCIOS PROTECTORES

La SEF cuenta en la actualidad con 14 Socios Protectores:

- AIDA
- BASF/NUHEMS
- BELCHIM
- CAMBRICO BIOTECH
- CITROSOL
- COIAL
- ENZA ZADEN
- FEDIS PROVE
- NBT
- NEVAL
- PHYTOMA
- PLANTS
- RIJZ ZWAAN
- VALGENETICS

Mediante sus aportaciones anuales, estos Socios Protectores proporcionan un apoyo inestimable para que la SEF pueda acometer distintos objetivos – científicos, académicos y divulgativos– en el campo de la Fitopatología. Como reconocimiento a su papel en la SEF, a partir de este número de la revista se abre una nueva sección en la que los Socios Protectores nos darán una visión general de las líneas de trabajo principales de su empresa u organización y de la labor que desarrollan en el área de la Biología de Plantas o de la Sanidad Vegetal.



## ***Belchim Crop Protection, empresa clave en el mercado europeo de protección de cultivos***

Como empresa proveedora de productos innovadores, se ha adaptado a los cambios en la industria y al cambiante entorno regulatorio. Dirk Putteman, director gerente ya fallecido, fundó su propio negocio de protección de cultivos, Belchim, en 1987.

Desde finales de los 90 hasta hoy, hubo alianzas con empresas de I+D japonesas. Estas alianzas permitieron establecer, no sólo un catálogo de productos más especializado, sino también una mayor expansión en Europa y a nivel mundial.

**Belchim Crop Protection** ofrece una amplia gama de productos de protección de cultivos de última generación, innovadores y de alta calidad, con el mejor asesoramiento técnico.

Nuestra empresa está orientada a soluciones: Belchim Crop Protection es proveedor de soluciones para todo tipo de cultivo, incluyendo cultivos menores y nichos de mercado, estableciendo programas de tratamiento mediante combinación de productos.

Nuestro equipo tiene *know-how*. Siempre presente en el campo, con un alto nivel de soporte técnico y centrados en el desarrollo y el registro de acuerdo con las necesidades del mercado.

Nuestro desarrollo, su crecimiento.

## Redisigning life

Cambrico Biotech es una empresa biotecnológica que nace en 2011 impulsada por un equipo multidisciplinar de profesionales con dilatada experiencia en la fitopatología y la biología molecular, con el objetivo de proporcionar al sector agrícola herramientas destinadas a hacer nuestra agricultura más sostenible, más innovadora y más competitiva.

Es una prioridad en **Cambrico Biotech** la utilización de metodologías apropiadas para un diagnóstico integral de cada muestra, guiando a nuestros clientes (técnicos especialistas, agricultores, viveristas) desde la selección de la muestra adecuada hasta la correcta interpretación de los resultados, con el fin último de que puedan tomar las decisiones correctas para abordar problemas concretos de sus cultivos y mejorar sus índices productivos.

Para ello, en el área de fitopatología, junto con el departamento de I+D+i, hemos desarrollado y puesto a punto métodos para detectar todo tipo de patógenos vegetales (hongos, oomicetos, fitoplasmas, bacterias, virus, viroides y nematodos), en cualquier soporte (planta, frutos, semillas, agua o suelo), y para una gran variedad de cultivos (hortícolas, frutos rojos, frutales, olivo, almendro o cereales).

Asimismo, desde Cambrico Biotech, ofrecemos dos líneas de servicios complementarias al diagnóstico fitopatológico:

Pruebas *in vitro* de eficacia de fitosanitarios y el control de calidad de productos basados en agentes biológicos, fundamentales para conocer la eficacia y viabilidad de nuevos compuestos;

Servicios asociados a la mejora vegetal, como son la selección asistida por marcador y el desarrollo de paneles de marcadores moleculares para la comparación e identificación varietal.

Desde Cambrico, apoyamos el valioso trabajo realizado por la SEF en el fomento y difusión del conocimiento científico en diferentes aspectos de la fitopatología, el cual nos permite aprender y avanzar en nuestra apasionante profesión.

CAMBRICO  
BIOTECH

Redisigning life

LABORATORIO

## Líder europeo en tecnología y tratamientos postcosecha de frutas y hortalizas

CITROSOL  
ADVANCED POSTHARVEST SOLUTIONS

Más de 50 años de experiencia, y aprendizaje continuo, convierten a CITROSOL en un referente en el sector de la tecnología y tratamientos postcosecha de fruta. **CITROSOL** desarrolla e implanta las tecnologías y recubrimientos postcosecha más adecuados, desde el punto de vista de la eficacia y responsabilidad con la sociedad, para el mantenimiento de la calidad comercial de frutas y hortalizas frescas. Nuestro compromiso con la sociedad implica desarrollar tecnologías y productos sostenibles que contribuyan a reducir la huella de carbono de la industria, ayudando a nuestros clientes a reducir las pérdidas alimentarias y el consumo de agua y energía. En la

actualidad, CITROSOL está presente en los principales países citrícolas y frutícolas del mundo, contando con personal propio en Sudáfrica y Perú, y presencia en más de 22 países.

CITROSOL ha desarrollado a lo largo de los últimos años soluciones postcosecha que protegen la fruta frente a distintas fisiopatías, permitiendo largos periodos de transporte entre recolección y consumo, disminuyendo los costos medioambientales y garantizando la seguridad alimentaria. Los fungicidas de uso postcosecha, los desinfectantes, los recubrimientos y las ceras, los coadyuvantes tecnológicos, nuestros sistemas de aplicación y control, son las herramientas que nos permiten vender las soluciones para mantener y extender la frescura de los frutos, controlando las principales fisiopatías postcosecha que les afectan, y permitiendo que lleguen al consumidor con todo el sabor y la máxima calidad.

CITROSOL es líder en el control de fisiopatías postcosecha porque cree en la I+D+i, en el trabajo experimental y científico propio, y en la colaboración con varios equipos tanto académicos como de otras empresas. Nuestro laboratorio está provisto con modernos equipos analíticos y sistemas experimentales; pero, sobre todo, disponemos de un equipo científico de alto nivel en el campo de la biología y tecnología postcosecha, con varias publicaciones científicas en su haber.



*La sanidad vegetal, una prioridad para la seguridad alimentaria de la población*



Durante el transcurso de grave crisis sanitaria de la COVID-19, que desgraciadamente ha trascendido a lo económico y a lo social, no ha habido comunicación emitida desde el **Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante (COIAL)** en la que no hayamos destacado la necesidad de garantizar la sanidad vegetal, pues sobre ella descansa buena parte de la seguridad alimentaria, influyendo en las tres acepciones que la soportan: la cuantitativa, la cualitativa y la sanitaria.

En este momento crítico para el conjunto de la población es cuando se vislumbra con total nitidez el incansable trabajo de quienes se dedican a esta labor. Pues conseguir que ninguna plaga o enfermedad reduzca la producción de alimentos, es su prioridad; velar que el estado sanitario de las plantas sea el adecuado para obtener productos de la máxima calidad y que esta se mantenga hasta el momento de consumirlos, es su responsabilidad; y asegurar que la aplicación de la tecnología de protección de los cultivos sea absolutamente compatible con la salud de las personas, es su deber.

Nos sentimos orgullosos de esta atribución profesional con tanta tradición y en la que mantenemos un sólido liderazgo en los ámbitos investigador, sector privado, función pública y los organismos internacionales que la atienden.

Por otra parte, y como función de defensa de los colegiados y del interés general, el COIAL ha ido desarrollando e incrementando los servicios para los profesionales de la sanidad vegetal, como un seguro de responsabilidad civil diseñado *ad hoc* que atiende todas las peculiaridades y riesgos de quienes desempeñan estas funciones.

No se pueden dar más motivos para que este Año Internacional de la Sanidad Vegetal marque un punto de inflexión en su reconocimiento. Desde el COIAL no dejaremos en el esfuerzo para que así sea.

## **Ensayos de eficacia para fitosanitarios**

NEVAL es una empresa valenciana referente en el sector de los nematodos y en los ensayos de eficacia de campo/laboratorio con nematodos y otras plagas y enfermedades.

***Está acreditada por el Ministerio de Agricultura y Pesca para la realización de ENSAYOS OFICIALMENTE RECONOCIDOS, y por Sanidad Vegetal para la diagnosis de nematodos fitopatógenos.***

La I+D que NEVAL ofrece a sus clientes acapara todos los tipos de cultivos y sus plagas/enfermedades: horticolas, frutales, extensivos, viveros, *in vitro* y “céspedes deportivos”.

Realizamos ensayos, según las legislaciones requeridas, para que nuestros clientes puedan obtener registros o resultados para desarrollar sus productos.

Ensayos con fitosanitarios, eficiencia de fertilizantes o bioestimulantes, estudios *in vitro* de organismos tales como: plagas, fauna útil o enemigos auxiliares, semillas, vigor, etc.

**NEVAL** tiene como principio fundamental una atención “exquisita” para sus clientes y una comunicación en primera persona, de manera que, en todo momento, se sepa el estado de sus estudios.

¿Trabaja Neval para certificaciones también de productos ecológicos? Sí, también realizamos informes de demostraciones para clientes o para productos ECO.

¿Qué tipos de ensayos lleva Neval en césped?

- Tratamientos para mosquitos.
- Acción de fertilizantes y lixiviación.
- Ensayos de eficacia de fungicidas.
- Estudios de productos contra nematodos.

En NEVAL trabajamos con la ilusión del primer día para ofrecer siempre a nuestros clientes “soluciones a sus problemas”.

Ser socios protectores de la Sociedad Española de Fitopatología es un honor para NEVAL. “La Sanidad Vegetal de hoy asegura la Alimentación y Salud de la humanidad del mañana”. –K. Santander.

Grupo Farmalent  
**NEVAL**  
More than Labs

Ayudamos diariamente a que las semillas y plantones sean certificados de la ausencia de nematodos fitopatógenos.

Apoyamos a los técnicos con las recomendaciones en caso de salir positivos los análisis de nematodos.

Asesoramos a nuestros clientes productores de fitosanitarios o productos de biocontrol para conocer el modo de acción de sus productos y cómo mejorar la eficacia de los mismos.



## Plants — Open Access Journal

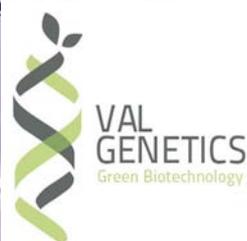


# plants

Plants (ISSN 2223-7747) is an open access journal of plant science. The aim of the journal is to encourage scientists and research groups to publish theoretical and experimental results of research in all fundamental and applied fields of plant science. Plants is indexed by the Science Citation Index Expanded (Web of Science), BIOSIS Previews (Clarivate Analytics), Scopus and other important databases. Citations are available in PubMed and full-text are archived in PubMed Central. Manuscripts are peer-reviewed and a first decision provided to authors approximately 12.3 days after submission; acceptance to publication is undertaken in 2.9 days (median values for papers published in the first half of 2020). Plants falls into the highest quartile (Q1) in Web of Science category 'Plant Sciences', the current Impact Factor is 2.762 (2019).

**Plants** publishes review articles, regular research articles, communications, and short notes in the fields of structural, functional and experimental botany. In addition to fundamental disciplines such as morphology, systematic, physiology and ecology of plants, the journal welcomes all types of articles in the field of applied plant science.

## ValGenetics, especialistas en vida vegetal



SERVICIO DE PATOLOGÍA VEGETAL

Diagnóstico Fitopatológico  
Microbiología Molecular

SERVICIO DE BIOTECNOLOGÍA DE PLANTAS

Cultivo *in vitro*  
Genética de Plantas

PROYECTOS I+D+i

Ciencia al Servicio de la Agricultura

[www.valgenetics.com](http://www.valgenetics.com)

La empresa biotecnológica ValGenetics ofrece productos y servicios globales de aplicación en sanidad y mejora vegetal. Dichos productos y servicios son el resultado de una actividad intensiva en I+D+i propia, generada por un equipo científico de gran experiencia y reconocimiento en el ámbito de

la investigación agrícola. Esta I+D+i se genera con el objetivo de apoyar a nuestros clientes del sector agrícola y agroalimentario en la mejora sanitaria de sus plantas, y en aportar soluciones científicas, desde una perspectiva altamente innovadora, para potenciar sus líneas de desarrollo de negocio frente a la competencia.

El primer departamento que se implantó en ValGenetics fue el de Fitopatología y Microbiología, donde se realizan el diagnóstico, detección o identificación taxonómica de hongos, oomicetos, bacterias, fitoplasmas, virus, viroides y nematodos, presentes o de cuarentena, en muestras de suelo, agua y las distintas partes de la planta. Recientemente, este departamento se ha ampliado con la implementación de análisis de la composición microbiológica de bioestimulantes para su registro. Adicionalmente, la empresa dispone del departamento de cultivo *in vitro*, saneamiento y multiplicación vegetal, y del departamento de genética, donde se implementan análisis varietales, programas de mejora de plantas y secuenciación genómica.

**ValGenetics** está comprometida en la búsqueda continua de la calidad y excelencia de sus productos y servicios y en la mejora competitiva basada en la investigación e innovación. Ejemplos de ello son la puesta a punto de métodos de detección moleculares de nuevos patógenos como *Xylella fastidiosa*, ToBRFV, HLB o distintas especies de fitoplasmas en frutales, el desarrollo de nuevas herramientas de detección basadas en la secuenciación masiva (NGS, Next-Generation Sequencing), la búsqueda de marcadores moleculares que identifiquen resistencias a patógenos en variedades vegetales de interés comercial o la realización de bioensayos donde, a través de nuestro *know-how* en cultivo *in vitro* de plantas, se puedan testar productos destinados al control de enfermedades fúngicas o bacterianas.

La esencia y el rasgo diferencial de ValGenetics es, por tanto, su especialización como laboratorio de servicios integrados de sanidad vegetal. La patente vocación de la compañía valenciana por la Fitopatología va ligada al compromiso y a la colaboración que ValGenetics mantiene como socia protectora de la SEF.



# SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FITOPATOLOGÍA (SEF)

Socios protectores de la SEF:

Dpto. de Protección Vegetal, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA).  
Ctra. de La Coruña Km 7,5, Madrid-28040.

Teléfono: 913 364 532 / 918 373 112

sef@sef.es // www.sef.es



ISSN (digital): 2659-2975

## Coordinadores de la revista:

NIEVES CAPOTE / CARMEN HERNÁNDEZ

## Colaboradores de este número:

|                          |                        |                           |
|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| ANA AGUADO               | NURIA ESCUDERO         | JUAN ANTONIO NAVAS-CORTÉS |
| JAUME ALMACELLAS         | ARIADNA GINÉ           | JUANA PÁEZ                |
| ANNA BONATERRA           | RAFAEL M. JIMÉNEZ-DÍAZ | VICENTE PALLÁS            |
| ASSUMPCIÓ BATLLE         | AMPARO LAVIÑA          | SOLEDAD SACRISTÁN         |
| JAVIER CABRERA           | MARÍA MILAGROS LÓPEZ   | REMEDIOS SANTIAGO         |
| MARIANO CAMBRA           | CARLOS LÓPEZ-HERRERA   | BERTA DE LOS SANTOS       |
| NIEVES CAPOTE            | JUAN JESÚS MEDINA      | FRANCISCO JAVIER SORRIBAS |
| VICENTE CONEJERO         | JOSÉ MARÍA MELERO-VARA | SERENELLA A. SUKNO        |
| ISABEL DÍAZ RODRÍGUEZ    | LUIS MIRANDA           | MIGUEL TALAVERA           |
| JUAN ANTONIO DÍAZ-PENDÓN | EMILIO MONTESINOS      | ANTONIO VICENT            |
| JULIO JAVIER DIEZ CASERO | CARMINA MONTÓN         |                           |
| LIVIA DONAIRE            | ENRIQUE MORIONES       |                           |

## Miembros de la Junta directiva de la SEF:

|                                  |                        |
|----------------------------------|------------------------|
| Presidente: VICENTE PALLÁS       | Vocales: NIEVES CAPOTE |
| Vicepresidente: CAROLINA ESCOBAR | CARMEN HERNÁNDEZ       |
| Secretaria: ARÁNZAZU MORENO      | DIEGO OLMO             |
| Tesorero: FRANCISCO CAZORLA      | SOLEDAD SACRISTÁN      |
|                                  | ANTONIO VICENT         |

## Edición y coordinación:

ALICIA IRURZUN (Editorial Hélice)  
Alberto Aguilera 13, 4º izda.  
28015 Madrid. Tlf: 91 548 11 90

## Diseño y

## maquetación:

ANTONIO ROBLES  
Tlf: 675 651 107

## Página web:

ANTONIO VICENT y  
DIEGO OLMO

La responsabilidad del contenido de las colaboraciones aquí publicadas corresponderá a sus autores, quienes autorizan la reproducción de sus artículos e imágenes a la SEF exclusivamente para esta revista. La SEF no hace necesariamente suyas las opiniones o los criterios expresados por sus colaboradores.

© Sociedad Española de Fitopatología, 2020. Reservados todos los derechos. El contenido de la presente publicación no puede ser reproducido, en ninguna forma, ni por ningún medio, sin la previa autorización por escrito del titular de los derechos de explotación de la misma.

PORTADA: El control de enfermedades de plantas descansa sobre cinco pilares (Normativa, Prácticas Culturales, Tratamientos físicos y químicos, Control biológico y Resistencia del huésped). Este Año Internacional de la Sanidad Vegetal 2020 ha sido una oportunidad única para crear conciencia mundial sobre cómo la protección de la sanidad vegetal puede ayudar a acabar con el hambre, reducir la pobreza, potenciar la salud, proteger el medio ambiente e impulsar el desarrollo económico [Diseño de Antonio Robles sobre una idea de Carmen Hernández, IBMCP].

Tiras de fotos en páginas 70 a 72, procedentes de los socios de la SEF:

- *Phytophthora capsici* [Juana Páez, 11/9/2012]
- Moteado en hoja de níspero (*Fusicladium eriobotryae*) [SEF, 3/10/2012]
- Mildiu del girasol causada por el oomiceto *Plasmopara halstedii* [M. Leira Molinero, 22/1/2013]
- Interacción patógeno-planta en 3D. SEF-Phytoma 2012 [Jesús Martínez, 22/1/2013]
- Como hormigas al hormiguero. SEF-Phytoma 2012 [Marta Sena, 22/1/2013]
- Esporangios de *Phytophthora palmivora* [Cristina R. Padrón, 22/1/2013]
- Sección de pseudoteca de *Didymella rabiei* [J. Navas, 4/10/2012]
- *Polymyxa betae* en remolacha [P. García-Benavides e I. Ortega, 11/9/2012]
- *Aspergillus* en naranja [Paloma Sánchez Torres, 28/9/2012]
- Pimiento infectado por el virus del moteado suave del pimiento (PMMoV) [C. Muñoz, 3/10/2012]
- Fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*) en *Pyracantha coccinea* [Jesús Murillo, 12/9/2012]

Los créditos de las imágenes del índice pueden verse en sus respectivos apartados.

