

Botrytis cinerea, un hongo patógeno de plantas que amenaza los cultivos agrícolas y la seguridad alimentaria.

Por Domenico Pavone

El moho gris, podredumbre gris o pudrición gris producida por *Botrytis*, es considerada una de las enfermedades postcosechas más importantes en frutas y vegetales como la fresa y el tomate. En este artículo te hablaremos de su manejo integrado y ecológico como estrategia fundamental para garantizar el suministro de alimentos de forma sostenible.

¿Qué es *Botrytis*, qué afecta y cuáles son sus síntomas?

El género de hongos *Botrytis* pertenece a la Familia Sclerotiniaceae, Orden Helotiales. Está formado por una gran cantidad de [especies](#) de las cuales, algunas amenazan cultivos de importancia agrícola causando grandes pérdidas durante la producción y la postcosecha. Este hongo no parece tener especificidad de hospedador, pudiendo atacar a más de 1000 especies de plantas. De esta forma, *Botrytis cinerea* (*B. cinerea*) es una de las especies más conocidas y estudiadas, dado los graves daños que causa en la agricultura.

Entre los cultivos que ataca están fresa, tomate, cebolla, pimiento, ajo, brócoli, lechuga, melón, mango, zanahoria, maracuyá, uva, entre muchos otros. En flores como rosa y begonia también causa graves daños. Los síntomas de la enfermedad incluyen manchas de color grisáceo en las hojas, tallos, flores y frutos. Las manchas pueden cubrirse con una capa de esporas de

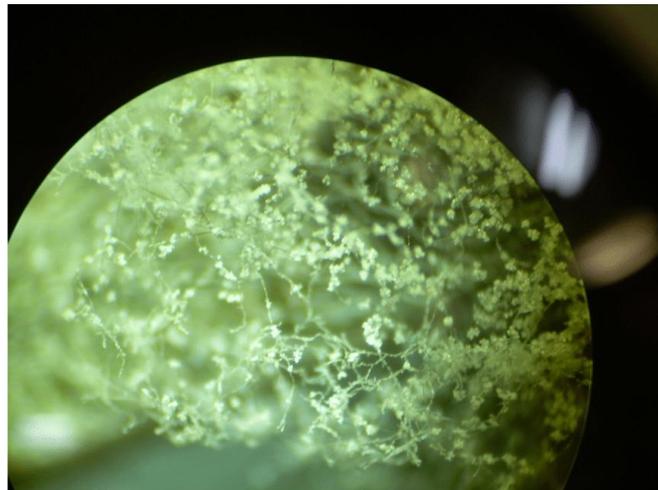
color gris, especialmente si la humedad es alta. Las plantas y frutas se marchitan y se pudren pudiendo desarrollar [esclerocios](#) negros similares a pequeñas piedras.

Botrytis spp es un hongo muy común en los campos agrícolas y se clasifica como necrotrofo, es decir, que ataca tejido dañado o senescente (en proceso de envejecimiento). De esta forma, el hongo entra al tejido a través de heridas o aberturas naturales. Las infecciones a tejidos no senescentes generalmente terminan en lesiones limitadas.

En el inicio de la infección, generalmente existe una fase asintomática quiescente (latente) seguida de una fase necrotrofica agresiva cuando los órganos empiezan a envejecer o madurar, especialmente después de la cosecha. También se ha reportado que es capaz de aumentar la susceptibilidad por la producción de moléculas que pueden, por ejemplo, desactivar mecanismos de defensa de la planta.



***Botrytis* atacando tomate**



***Botrytis* visto al microscopio. Aumento 3,5X**



***Botrytis* atacando rosa**



***Botrytis* visto al microscopio. Aumento 40 X**

Mecanismos de ataque de *Botrytis*

Se ha estimado que más del 60 % de las infecciones en fresa ocurren por fragmentos vegetales que están en contacto con el fruto como los pétalos y estambres. El fruto inmaduro es mayormente resistente a *B. cinerea* restringiendo el crecimiento fúngico y causando una infección latente.

La maduración del fruto influencia la susceptibilidad del mismo a *B. cinerea*. Los cambios en la cutícula, la pared celular y en la

bioquímica del fruto, además de las heridas producidas durante la cosecha y manipulación, lo hacen más susceptible al hongo incluso bajo refrigeración.

En las siguientes figuras, modificadas de [Petraash 2019](#), se observa el ciclo de desarrollo de *Botrytis* y el importante papel del ácido abscísico (ABA, una hormona vegetal) en todo este proceso, ya que está directamente involucrado en la maduración.

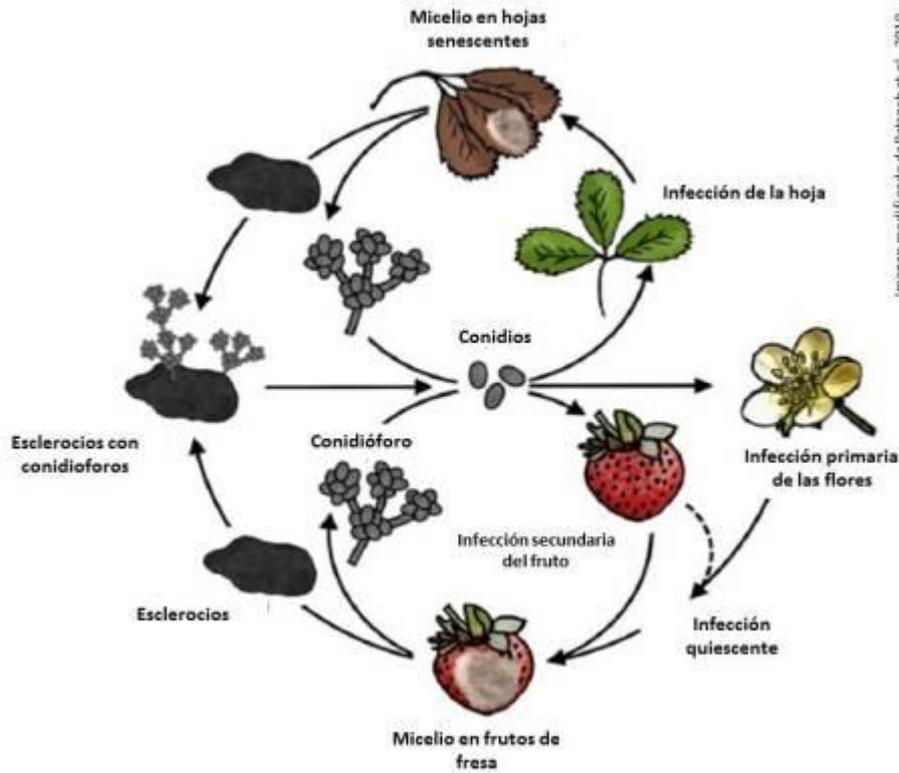


Imagen modificada de Petrásh et al., 2019.

Ciclo patogénico de *Botrytis* en fresa

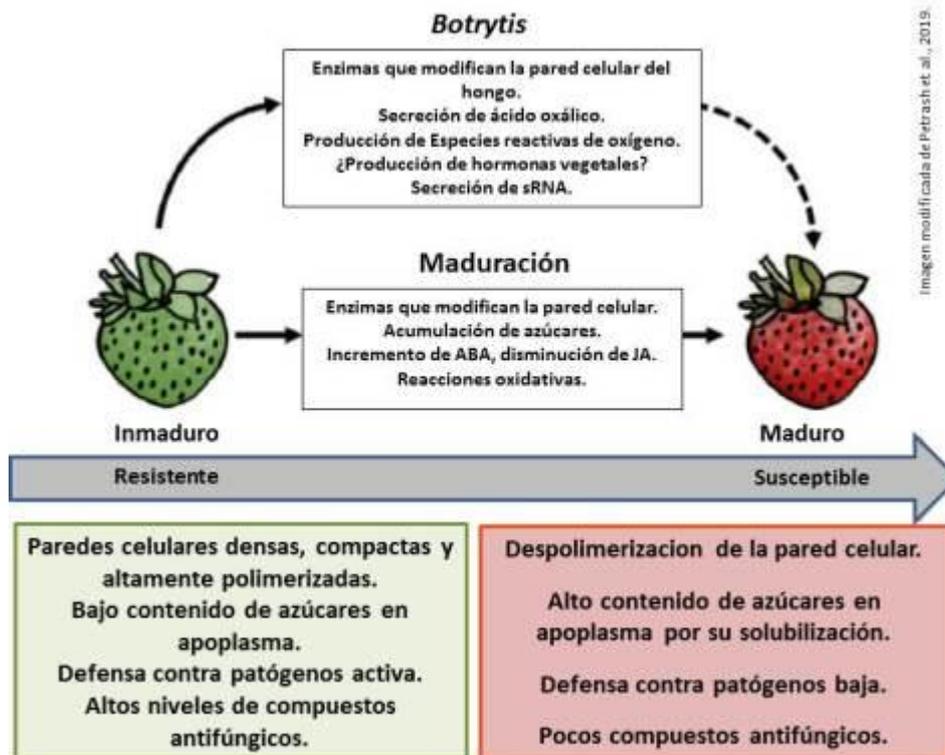


Imagen modificada de Petrásh et al., 2019.

Maduración de la fresa y susceptibilidad a *Botrytis*

Incluso se ha propuesto que *B. cinerea* podría inducir la síntesis de etileno (una hormona vegetal) en tomate para iniciar la maduración prematuramente, haciendo a los frutos más susceptibles.

Aunque la fresa es un fruto no climatérico (no puede madurar fuera de la planta) y la síntesis de etileno no influencia su maduración, otras hormonas como el ABA, podrían estar involucradas.

El hongo puede sobrevivir en hojas muertas e inicia su fase patogénica durante la floración pudiendo permanecer latente en estambres y sépalos. Posteriormente, el hongo infectará al fruto durante la cosecha, siendo este el origen de la mayoría de las infecciones en fresas.

¿Qué hacer para controlar a *Botrytis cinerea*?

Existen varias metodologías para controlar al hongo, pero hasta ahora solo han sido capaces de hacerlo parcialmente. Sólo la integración de varios métodos ha dado los mejores resultados.

Control cultural

Entre las prácticas culturales podemos mencionar:

- 1.- Eliminación de material senescente para evitar la proliferación del hongo.
- 2.- Evitar el contacto del fruto con el suelo.
- 3.- El riego por goteo y los microaspersores evitan la dispersión de las esporas.
- 4.- Cultivos muy densos pueden favorecer el desarrollo de *B. cinerea*.

Entre otras medidas, se ha reportado que la aplicación en la postcosecha de etanol en conjunto con quitosano o cloruro de calcio, sales orgánicas, una atmósfera controlada o la aplicación de ozono, tienen cierto efecto en el control del hongo. La aplicación de hidroxipropil metilcelulosa y cera de abejas han reducido el moho gris en tomates.

La aplicación de extracto de ajo y aceite de clavo disminuye su incidencia, aunque su eficacia en

campo debe ser demostrada. Deben evitarse las heridas en los frutos que son la principal forma de entrada del patógeno. En este sentido, las aplicaciones de sustancias que alteren condiciones como pH o nutrientes en estas heridas, tales como sales, ácidos orgánicos, surfactantes, etc., pueden ayudar a prevenir la enfermedad. La susceptibilidad del producto al hongo también puede ser disminuida aplicando tratamientos que retrasan la senescencia o induzcan resistencia.

Control químico

Existen varios fungicidas recomendados para el control de *B. cinerea*. Sin embargo, es importante alternar productos con modos de acción diferentes para retrasar la aparición de resistencia. Aunque la aplicación de fungicidas convencionales es una práctica común para el control del moho gris, su uso después de la cosecha no está permitido en muchos países. Además, su uso continuado como tratamiento precosecha está bajo el escrutinio público y es una medida de control cada día más cuestionada.

Esto se debe a problemas con fallas en la efectividad del control por el desarrollo de resistencia por parte del patógeno, tendencia del público a querer reducir la exposición a agroquímicos y al incremento en las restricciones al uso de plaguicidas impuestas por las autoridades. Por estos motivos se están desarrollando nuevas alternativas al uso de fungicidas químicos para controlar a *B. cinerea*.

Control biológico

Uno de los tratamientos biológicos más eficientes contra *B. cinerea* es el uso de las bacterias *Bacillus subtilis* y *Bacillus amyloliquefaciens*. También se han aplicado hongos como *Colletotrichum*, *Epicoccum*, *Gliocladium*, *Penicillium* y *Trichoderma* (del que hablaremos más adelante). Estos agentes de control biológico han sido usados con mucho éxito, superando incluso a algunos fungicidas químicos. Los mejores efectos de agentes de

biocontrol se observan cuando se aplican en conjunto.

Ya habíamos visto que *B. cinerea* usa varios modos de acción para atacar al fruto antes y después de la cosecha. Para lograr controlar la enfermedad es crucial afectar estos procesos de infección en diferentes niveles: patógeno, ambiente y la planta. La aplicación de un biocontrolador u otro método alternativo para evitar que el patógeno se adhiera a la planta es una estrategia fundamental, ya que evitaría en gran medida la infección.

Para más detalles del control de *B. cinerea* te recomiendo leer el artículo de [Romanazzi](#), consultado para este trabajo.

Mecanismos usados por *Trichoderma* spp contra *Botrytis cinerea*

El género de hongos *Trichoderma* posee una gran cantidad de mecanismos para el control precosecha de *B. cinerea*, de los cuales el artículo de [Vos](#) hace una excelente recopilación. Entre las estrategias usadas por *Trichoderma* spp para el control de *B. cinerea* están:

1.- **El micoparasitismo**, en el cual *Trichoderma* secreta permanentemente enzimas que degradan la pared celular del hongo, que es la estructura más externa del mismo y es crucial traspasarla para poder afectar la célula interna. Estas enzimas son proteínas que tienen la capacidad de debilitar esa pared celular de *B. cinerea*. Cuando este proceso inicia, los fragmentos de la pared celular que estas enzimas están degradando funcionan como un disparador, como una señal para *Trichoderma* para producir aún más de estas enzimas.

Cuando ocurre el reconocimiento del patógeno por parte de *Trichoderma*, este último se enrolla sobre el cuerpo de *B. cinerea* formado estructuras de penetración llamadas [apresorios](#). Con la ayuda de las enzimas que degradan la

pared celular y probablemente antibióticos, logra matar al patógeno. *Trichoderma* posee el arsenal de enzimas perfecto para atacar a *Botrytis*, que incluyen enzimas contra varios biopolímeros presentes en la pared celular como la quitina.

Botrytis puede presentar en su pared celular melanina, un pigmento oscuro formado a partir de compuestos fenólicos. Por esta razón, la melanina puede ser degradada por enzimas como la lacasa (ataca compuestos fenólicos), producida en grandes cantidades por *Trichoderma virens*, debilitando de esta forma su pared celular.

2.- **En la antibiosis**, *Trichoderma* puede producir una gran cantidad de sustancias llamadas [metabolitos secundarios](#) con capacidad antibiótica y antimicótica. La producción de estas sustancias depende de la cepa e incluyen compuestos de muchos tipos como tricotecenos, terpenoides y esteroides, así como péptidos (cadenas pequeñas de aminoácidos), sideróforos y peptaiboles.

El típico olor a coco de algunas cepas de *Trichoderma* se debe a la producción de una sustancia volátil llamada pirona 6-pentil-2H-pirano-2-uno, que posee una fuerte actividad antifúngica contra *B. cinerea*. Así como esta, *Trichoderma* produce [decenas de otras sustancias con capacidad de controlar patógenos y afectar el metabolismo de las plantas](#).

El punto de entrada de *B. cinerea* a la planta son las heridas, tejidos senescentes o aberturas naturales como los estomas (micro orificios en la parte de abajo de la hoja por donde la planta intercambia CO₂ y O₂ con el ambiente). Algunas de estas zonas son ricas en nutrientes, exudando azúcares y aminoácidos. Por lo tanto, la colonización de estas zonas por *Trichoderma*, es una competencia contra *B. cinerea* por los recursos, previniendo la infección.

3.- Interacciones indirectas entre *Trichoderma* y *Botrytis*.

El efecto de biocontrol por *Trichoderma* sobre *Botrytis* ha sido observado, incluso cuando ambos hongos están separados físicamente. Esto se debe a una respuesta sistémica (en toda la planta) por la presencia de *Trichoderma*.

En este tipo de relación, el reconocimiento e interacción entre *Trichoderma* y la planta es crucial. Algunas cepas de *Trichoderma* colonizan solo sitios específicos de la raíz, mientras que otras colonizan todo el espacio rizosférico (la zona del suelo en íntimo contacto con la raíz). Así, las [hifas](#) de *Trichoderma* se enrollan alrededor de la raíz, penetrando la [corteza](#) donde puede crecer intercelularmente, aunque generalmente limitado a las capas más superficiales. Esto induce la acumulación de componentes de la pared celular y la producción de compuestos fenólicos, lo cual limitará el ingreso a la raíz.

La inducción de una respuesta sistémica inicia con el reconocimiento de *Trichoderma* por la planta de una forma similar a una relación patogénica. En la zona de interacción entre *Trichoderma* y la planta, se liberan muchos compuestos que inducen la respuesta sistémica. Entre estos compuestos podemos mencionar: proteínas, [peptaiboles](#), metabolitos secundarios, etc., que pueden inducir una respuesta de defensa, adicional a su capacidad antibiótica y oligosacáridos (moléculas con varios azúcares unidos).

Las hormonas vegetales también juegan un papel en todo esto, ya que regulan la red de defensa que traduce las señales producidas por la interacción entre *Trichoderma* y la planta en la activación de respuestas de defensa efectivas. De esta forma, se reconocen dos tipos de mecanismos de resistencia: (a) la resistencia sistémica adquirida (RSA) y (b) la resistencia sistémica inducida (RSI).

La RSA es inducida por la presencia de un patógeno y donde el ácido salicílico juega un

papel importante. En la RSI están involucradas moléculas como el ácido jasmónico. En el caso de *Trichoderma*, se ha reportado que puede activar tanto la vía del ácido salicílico como la del ácido jasmónico.

Trichoderma también puede influenciar la producción de hormonas muy importantes en la regulación de la respuesta al estrés biótico y abiótico: el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (GA). Estas hormonas pueden controlar las respuestas de defensa mediadas por el ácido jasmónico y salicílico. Además, *Trichoderma* puede inducir la producción de metabolitos de defensa por parte de la planta como lo son las fitoalexinas.

La inoculación con *Trichoderma* puede inducir una respuesta en la planta relacionada con la interferencia de la estrategia de infección de *B. cinerea*. Así, la explosión oxidativa, es un fenómeno caracterizado por una producción rápida de especies reactivas del oxígeno (ERO), que son eventos tempranos de la respuesta de resistencia o susceptibilidad de la planta al ataque de *B. cinerea*.

El patógeno genera los ERO directamente pero también secreta enzimas que inducen su producción por parte de la planta. Debido a que las funciones de las ERO son muy importantes para la infección de *B. cinerea*, el efecto positivo de *Trichoderma* de inducir el sistema de eliminación de ERO por la planta, puede reducir la infección y los daños por este hongo.

Trichoderma también puede activar rutas de señales en la planta que pueden reprogramar la expresión de genes, lo cual establece una situación fisiológica única denominada el "estado preparado", en el cual las plantas responden más rápida y fuertemente a las infecciones por patógenos, a través de la activación de respuestas de defensa.

Tratamientos postcosecha contra *Botrytis*.

Una vez cosechado el fruto es necesario cuidarlo para evitar la activación de infecciones quiescentes. En este caso, la protección del fruto de heridas es crucial. Entre las estrategias está mantener el fruto refrigerado, aplicar ambientes bajos en oxígeno y alto en CO₂ para inhibir el metabolismo y retrasar la senescencia. Se ha reportado que una humedad relativa

entre 85 y 90 % previene la deshidratación del fruto y retrasa el crecimiento del hongo. También se han propuesto estrategias novedosas como recubrir el fruto con quitosano o metilcelulosa que previenen la pérdida de agua y pueden incluir compuestos antifúngicos; radiación ultravioleta, ambientes con cloro u ozono, entre otros.

En conclusión, lo que parece ser cierto es que no existe un único método infalible para controlar a *Botrytis*. Sólo con estrategias integradas bien planificadas, se logrará obtener frutos en buen estado e inocuos para el consumo. La combinación de control cultural y preventivo, protección del fruto de heridas, retraso de la senescencia, eliminación de restos de plantas senescentes que son fuente del patógeno, uso de biológicos combinados y si fuera estrictamente necesario uso de algunos químicos de baja toxicidad, protegiendo al productor y al consumidor, son estrategias clave para el control del patógeno.

Déjanos un comentario y algún tema que te gustaría que desarrollemos para ti.



Domenico Pavone es biólogo y especialista en protección vegetal. 15 años como profesor universitario y autor de artículos científicos en microbiología, biotecnología, biocontrol de plagas y enfermedades agrícolas.

¿Te pareció útil este artículo?

