

Sclerotium rolfsii: una amenaza para los cultivos agrícolas que empeora con el cambio climático

Miriam Angélica **Cordero Burgos**
José Antonio **Cervantes Chávez**

Se estima que una de cada diez personas en el mundo sufre hambre; esto se debe a diversas causas que incluyen el crecimiento acelerado de la población, el calentamiento global, el cambio en el uso de suelo y las pérdidas en los cultivos agrícolas. Los sistemas agrícolas enfrentan diferentes amenazas que se deben tanto a factores abióticos (contaminación del suelo por metales, sequía, salinidad, inundaciones, variaciones extremas de la temperatura), como a factores bióticos (plagas y enfermedades). Las pérdidas en el rendimiento de los principales cultivos agrícolas provocadas por las enfermedades rondan entre el 20 y el 40 %. Según las estadísticas, los hongos tienen un papel considerable en cuanto a las pérdidas económicas producidas en los cultivos agrícolas (Moore *et al.*, 2020).

Sclerotium rolfsii es un hongo fitopatógeno que se transmite por el suelo y es capaz de infectar a una amplia variedad de plantas de interés hortícola y agrícola; actualmente se conocen cerca de 600 especies susceptibles a su ataque (Mehdi-Khanlou, 2016). Sin embargo, la lista continuamente se amplía, dado el incremento global de la temperatura, ya que este hongo habita principalmente en lugares cálidos y húmedos como las zonas tropicales y subtropicales. *S. rolfsii* ocasiona diferentes tipos de enfermedades como la

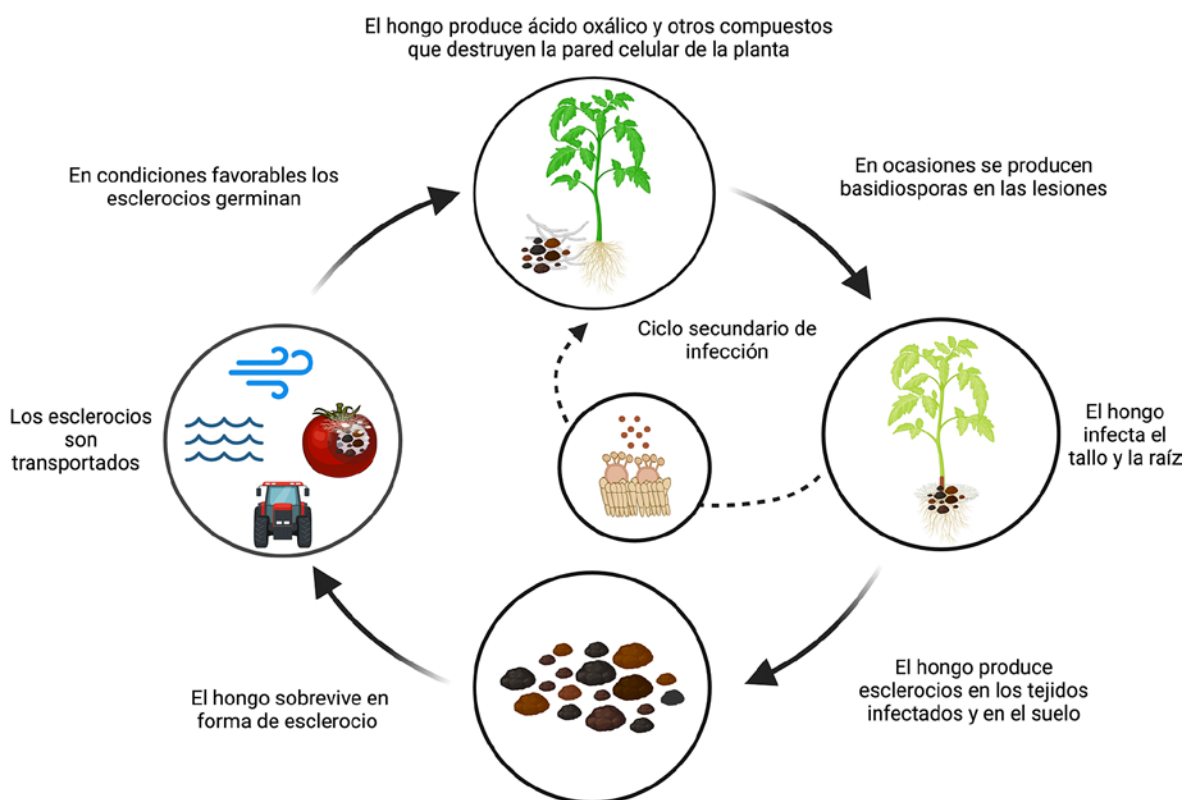


Figura 1. Ciclo de infección de *Sclerotium rolfsii* en la planta de jitomate. Imagen creada con [BioRender.com](https://www.biorender.com).

marchitez por esclerocio, la pudrición carbónica, la pudrición del cuello, el tizón del tallo y las plántulas, la pudrición del pie y de las raíces (Pandey y Mishra, 2021), etcétera. A la enfermedad que causa se le conoce comúnmente como tizón sureño o pudrición sureña, aunque también es llamada mal del esclerocio, añublo sureño, marchitez de esclerotium o malla blanca.

CICLO DE INFECCIÓN DE *SCLEROTIUM ROLFSII*

Cuando las condiciones climáticas son favorables, como en primavera, el hongo comienza su crecimiento a partir de las hifas que provienen de restos de plantas infectadas, o por la germinación de las estructuras de resistencia que caracterizan a este hongo, los esclerocios (Figura 1). Cuando el micelio (conjunto de hifas) entra en contacto con los tejidos de las plantas, se produce una penetración directa, aunque la infección también puede comenzar a través de heridas (Mehdi Khanlou, 2016).

La infección ocurre en cualquier parte de la planta que tenga contacto con el suelo, aunque habitualmente comienza por el tallo inferior, en donde aparece una lesión de color marrón oscuro a negro (pudrición) que puede expandirse por el tallo de la planta causando que la planta se marchite y muera (Figura 2). *S. rolfsii* produce ácido oxálico, además de enzimas como poligalacturonasa y celulasa, que degradan la pared celular de las plantas y se ha propuesto que tienen un papel importante en la agresividad de la infección (Agrios, 2024). La enfermedad se propaga por contacto de las hifas que crecen en una planta con otras plantas cercanas, lo que ocasiona ciclos secundarios de infección. *S. rolfsii* desarrolla basidiosporas cuando se reproduce sexualmente; estas se engendran en las lesiones infectadas y pueden diseminarse por el aire, lo que provoca que otras plantas se enfermen. Cada basidiospora genera de 1 a 3 tubos de germinación al entrar en contacto con la planta, y cada uno de estos produce apresorios, estructuras especializadas con las cuales el fitopatógeno penetra en la planta (Pandey y Mishra, 2021).



Figura 2. Plántula de jitomate infectada con *S. rolfsii*. La fotografía muestra una planta de jitomate 8 días posteriores a la infección. Se observa el marchitamiento de la planta.

A medida que se desarrolla la enfermedad, aparecerá una masa de micelio algodonosa que cubrirá el tallo de la planta. Es aquí donde ocurre un proceso que garantiza la supervivencia del hongo a situaciones climáticas extremas: a partir de su micelio, el hongo se recubrirá con una capa que formará los esclerocios que al principio son de color blanco y, posteriormente, a medida que maduran, se tornan de color oscuro pasando por colores mostaza, anaranjado, hasta llegar al marrón oscuro. Los esclerocios crecerán no solo sobre las lesiones, sino además dentro y alrededor de las raíces cercanas a la superficie del suelo (Blancard, 2012). En el invierno, el hongo se encontrará en forma de esclerocios y micelio en plantas infectadas, los esclerocios tienen diámetros de 0.5 a 2 mm y pueden sobrevivir y permanecer con la capacidad de infectar hasta por 7 años en el suelo del campo o en restos de plantas (Mehdi Khanlou, 2016).

SIGNOS DE TIZÓN SUREÑO

Los signos que causa la infección por *S. rolfsii* dependen del sitio de la planta que infecte. En plantas herbáceas, como el jitomate, el cacahuete y el

pimiento, produce la pudrición de la corona y del tallo inferior (Blancard, 2012). Cuando *S. rolfsii* infecta tubérculos, bulbos y órganos carnosos produce una pudrición blanda. El micelio y los esclerocios se desarrollan en los tejidos en descomposición; en los frutos ocurre algo similar (Agrios, 2024). Si la infección se da en las hojas, aparecen manchas irregulares de color marrón y centro blanco de aproximadamente 30 mm de diámetro; a medida que estas manchas se extienden, se observarán anillos concéntricos que se podrán unir y causar hasta el 70 % de necrosis en la hoja. En estas lesiones también suele crecer micelio en donde se formarán esclerocios (Pandey y Mishra, 2021).

IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE ESCLEROCIOS

Los esclerocios que produce *S. rolfsii* son un conjunto de hifas recubiertas con una corteza de melanina que le permiten al hongo sobrevivir a condiciones desfavorables como la radiación, la inanición, las temperaturas extremas o incluso la degradación biológica (Liang *et al.*, 2018); además, contribuyen a la diseminación del hongo, pues los esclerocios pueden adherirse fácilmente a superficies lisas, también son transportados largas distancias en frutos infectados, agua en movimiento, aves, insectos (Billah *et al.*, 2017).

Cabe destacar que estas estructuras se producen en grandes cantidades, en la naturaleza se encuentran entre 8.6 a 21.9 esclerocios por cada 700 g de suelo (Pandey y Mishra, 2021) y hasta mil esclerocios en condiciones de laboratorio en tan solo 20 días (Figura 4A), cada uno de ellos posee el potencial para germinar y dar lugar a una nueva infección en alguna otra planta hospedera. El incremento en la temperatura del planeta ha propiciado que existan las condiciones óptimas (25 °C a 35 °C) que este hongo necesita para producir esclerocios y que estos germinen, lo que ha permitido su propagación a otras especies de plantas, ampliando su rango de hospederos y agravando la problemática de los cultivos agrícolas (Pandey y Mishra, 2021).

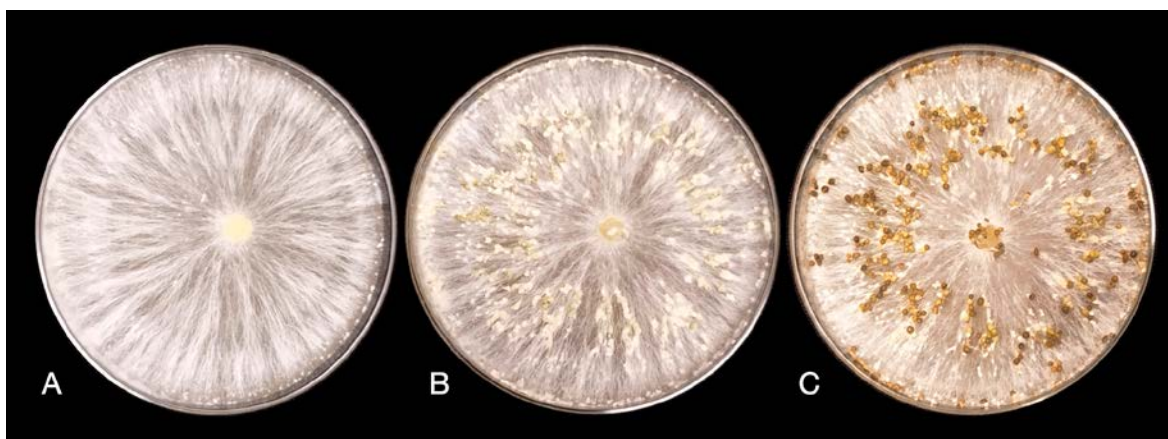


Figura 3. Etapas de formación del esclerocio. *S. rolfsii* en agar papa dextrosa. Las placas se incubaron a temperatura ambiente. A) Luego de 5 días de incubación el micelio cubre la caja de Petri. B) A los 20 días de incubación se observa la producción de esclerocios inmaduros. C) A los 40 días se observan esclerocios maduros de color marrón oscuro.

A nivel mundial cada año se registran nuevas especies de plantas susceptibles al ataque de este hongo en diversos países que incluyen México, India y China. Cabe resaltar que afecta cultivos de interés económico, como la chía (*Salvia hispanica*), la jícama (*Pachyrhizus erosus*) y el pimiento (*Capsicum annuum* L.). Los esclerocios de *S. rolfsii* se forman por el entrelazamiento de hifas, y durante su desarrollo se pueden observar tres subestados correspondientes al inicio, el desarrollo y la maduración del esclerocio (Figura 3).

En estas últimas etapas se forman en la superficie del esclerocio gotas de exudado compuesto de proteínas, ácidos grasos, amoníaco y varias enzimas, algunas con actividades antioxidantes, como catalasa y peroxidasa, además de la polifenol oxidasa que participa en la síntesis de melanina a partir de la polimerización oxidativa de compuestos fenólicos (Pandey y Mishra, 2021).

El recubrimiento de los esclerocios maduros está constituido por una corteza pigmentada con melanina, además de células necrosadas; dicha corteza forma una capa superficial impermeable que permite a los esclerocios permanecer latentes en los suelos infectados (Melo *et al.*, 2019).

La melanina es un compuesto poliaromático formado por varios tipos de monómeros fenólicos e indólicos que frecuentemente se encuentran unidos

a proteínas y carbohidratos formando complejos, y mejoran las habilidades de supervivencia e incluso contribuyen a la patogenicidad de algunos hongos al intervenir en el desarrollo de estructuras de penetración (Liang *et al.*, 2018).

Este pigmento de color oscuro (Figura 4B), casi negro en altas concentraciones, es extremadamente resistente al ataque químico y enzimático; además, proporciona no solo protección física y de la luz ultravioleta, sino también elimina los radicales libres citotóxicos causados por las radiaciones ionizantes (Moore *et al.*, 2020).

En la diferenciación esclerocial que exhiben algunos hongos filamentosos como *S. rolfsii*, la biosíntesis de melanina juega un papel fundamental. En una investigación en la cual se inactivaron dos genes (SCD1 y THR1) que participan en la síntesis de melanina en *Sclerotinia sclerotium*, se descubrió que las cepas mutantes presentaban un crecimiento más lento de las hifas y una menor biomasa, además de un retraso en el inicio de la formación del esclerocio, al igual que una menor producción y con menos pigmentación, en comparación con los esclerocios producidos por la cepa silvestre.

Además, los esclerocios tuvieron un aumento en la sensibilidad a la luz UV, por lo que dichos genes, así como la biosíntesis de melanina, son importantes para la supervivencia del hongo (Liang *et al.*, 2018).

En *S. rolfsii* la luz provoca la diferenciación esclerocial además de promover la acumulación de

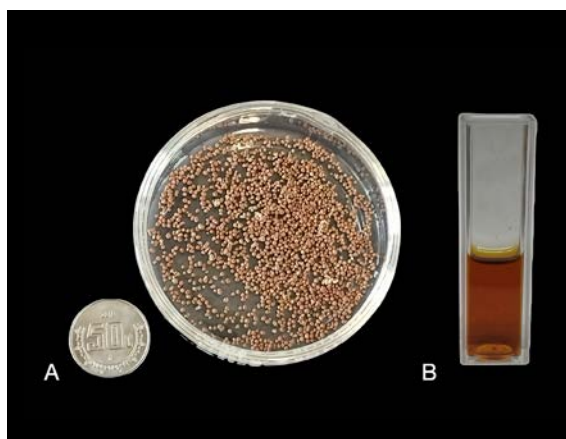


Figura 4. Producción de esclerocios por *S. rolfsii* en condiciones de laboratorio. A) La fotografía muestra los 1780 esclerocios producidos al sembrar micelio en una caja de agar papa dextrosa de 10 cm de diámetro incubada a temperatura ambiente por 30 días. B) Melanina extraída de los esclerocios de *S. rolfsii* con solución de NaOH 3M.

melanina en los esclerocios mediante la inducción de tirosinasa, una de las enzimas principales en la vía de síntesis de las melaninas. A pesar de que existe información acerca del proceso de desarrollo del esclerocio, aún no se conoce la vía de síntesis de la melanina en *S. rolfsii*. Es necesaria la investigación en esta área, ya que representa una potencial diana para el desarrollo de tratamientos contra el tizón sureño.

Otros factores que promueven la producción de esclerocios son las altas temperaturas y la limitación de nutrientes que causan estrés oxidativo (Melo et al., 2019).

CONTROL DEL FITOPATÓGENO

Existen diferentes métodos para el control de *S. rolfsii* y su uso dependerá del cultivo y del lugar en donde ocurra, pero al igual que para otros hongos transmitidos por el suelo, los tratamientos que se utilizan pueden ser solares, químicos, botánicos, biológicos, la rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes o una combinación de ellos (Pandey y Mishra, 2021).

Sin embargo, el control de las enfermedades causadas por este hongo es difícil debido, entre otros factores, a la amplia variedad de hospederos y a la producción de esclerocios que complican la rotación de cultivos (Mehdi Khanlou, 2016).



Figura 5. Experimento de confrontación que muestra la inhibición del crecimiento micelial y la producción de esclerocios de *S. rolfsii* por acción de un consorcio de *Pseudomonas* sp. A) Crecimiento del consorcio bacteriano (derecha) que inhibe el crecimiento del hongo (izquierda). B) Crecimiento del hongo sin tratamiento; el micelio cubrió la caja de Petri y se observa producción de esclerocios a diferencia del tratamiento con el consorcio de *Pseudomonas* sp.

CONTROL QUÍMICO

Una amplia variedad de fungicidas es utilizada en su control, como carbendazim, benomilo, sancoszeb, topsin M, dithane M-45 y thiovit, útiles en concentraciones altas (Dwivedi y Prasad, 2016).

Otros fungicidas que han sido empleados para tratar a *S. rolfsii* son el pentacloronitrobenzeno, el tebuconazole, el azoxistrobina y el flutolanil, también fumigantes como el dazomet y el metam sodio, pero aun después de la fumigación los esclerocios sobreviven, por lo que el procedimiento debe repetirse cada año.

El uso de estos tratamientos es restringido por su alta toxicidad tanto para el ser humano como para el medio ambiente, además de sus exorbitantes costos, lo que los hace poco prácticos (Mehdi Khanlou, 2016).

La aplicación excesiva de fungicidas químicos representa un grave peligro para los ecosistemas, pues no son específicos, por lo que afectan a otros microorganismos, incluso a algunos que son benéficos para las plantas; además, aún no existen estudios sobre los efectos a largo plazo en la salud humana de la exposición a los fungicidas. La exploración de tratamientos amigables con el medio



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2016.

ambiente es uno de los principales desafíos a sortear para el manejo sustentable de las enfermedades en plantas provocadas por hongos.

CONTROL BIOLÓGICO

Otros tratamientos incluyen el uso de fertilizantes, la incorporación de enmiendas orgánicas o la aplicación de agentes de control biológico. Actualmente, los microorganismos de control biológico utilizados contra *S. rolfsii* incluyen bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* y *Rhizobium*, así como hongos de los géneros *Trichoderma*, *Penicillium* y *Fusarium* (Pandey y Mishra, 2021).

Los mecanismos de acción de estos microorganismos son variados e incluyen la producción de metabolitos secundarios con actividad antibiótica, como la piocianina, la pirrolnitrina, fenazinas, sideróforos, cianuro de hidrógeno o el 2,4 diacetilfloroglucinol que varias especies de *Pseudomonas* secretan

al medio (Jayaprakashvel *et al.*, 2019) (Figura 5), mientras que algunas especies de *Trichoderma* producen enzimas proteolíticas como β -glucosidasa, tripsina, α -glucosidasa, quimotripsina, β -xilosidasa y N-acetil β -glucosaminidasa (Pandey y Mishra, 2021).

Otra de las ventajas de la aplicación de agentes de control biológico es que la mayoría, además de antagonizar a los fitopatógenos (controlar las enfermedades en plantas), presentan mecanismos que promueven y mejoran el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Los principales métodos de promoción del crecimiento de las plantas que tienen este tipo de bacterias son la solubilización de fosfatos y zinc, así como la fijación de nitrógeno y la producción de fitohormonas que regulan el crecimiento de las plantas.

CONCLUSIÓN

Sclerotium rolfsii es un hongo fitopatógeno que devasta cultivos y prevalece en temporada de lluvias en zonas tropicales y subtropicales, afecta una amplia



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

variedad de cultivos cuya lista continuamente se amplía. Los métodos de control convencionales, aunque efectivos, son excesivamente caros y tienen graves consecuencias medioambientales, por lo que resultan poco prácticos.

La búsqueda de alternativas ecológicas como el uso de agentes de control biológico que limiten el crecimiento de este hongo e inhiban la producción de esclerocios, o que interfieran con la producción de melanina, es uno de los mayores retos, pues los esclerocios son una de las principales fuentes de diseminación de este fitopatógeno, además de permitir su persistencia por varios años en los suelos infectados. Investigar nuevos agentes de control biológico contra *S. rolfii* permitirá un manejo sostenible de las enfermedades causadas por este hongo.

G L O S A R I O

Agente de control biológico: microorganismo con la capacidad de disminuir y mejorar la resistencia contra las enfermedades en plantas causadas por patógenos.

Basidiósporas: en los hongos basidiomicetos, esporas producidas de manera sexual localizadas dentro de un basidio, estructura en forma de mazo.

Biosíntesis: en el metabolismo de las bacterias es el proceso mediante el cual se unen diferentes compuestos precursores para crear moléculas más grandes que cumplen una función específica.

Compuestos fenólicos: un grupo de sustancias que contienen uno o más anillos fenólicos conocido popularmente como hidroxibenceno.

Compuestos indólicos: también llamados alcaloides indólicos, son un grupo de sustancias que contienen indol, una molécula débilmente básica formada por un anillo pirrol fusionado con un núcleo de benceno.

Diferenciación esclerocial: etapas en las que ocurren cambios bioquímicos, morfológicos, fisiológicos y metabólicos que conducen a la formación de los esclerocios en hongos.

Fitopatógeno: microorganismo que provoca enfermedades en plantas.

Fungicida: compuesto tóxico para los hongos.

Plántulas: plantas que recién brotaron de las semillas.

R E F E R E N C I A S

Agrios G (2024). *Plant pathology*. Elsevier Academic Press.

Sclerotium rolfii: una amenaza para los cultivos agrícolas...



© Rafael Pareja. De la serie *Nuestras manos*, 2018.

Billah KM, Hossain MB, Prince MH and Sumon MM (2017). Pathogenicity of *Sclerotium rolfsii* on different host, and its over wintering survival; A mini review. *International Journal of Advances in Agriculture Sciences* 1:1-6.

Blancard D (2012). *Tomato diseases: identification, biology and control: a colour handbook*. Academic Press, London.

Dwivedi SK and Prasad G (2016). Integrated management of *Sclerotium rolfsii*: an overview. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences* 11:137-146.

Jayaprakashvel M, Chitra C and Mathivanan N (2019). Metabolites of plant growth-promoting rhizobacteria for the management of soil-borne pathogenic fungi in crops. In *Secondary metabolites of plant growth promoting rhizomicroorganisms*. Springer, Singapore.

Liang YUE, Xiong WEI, Steinkellner S and Feng JIE (2018). Deficiency of the melanin biosynthesis genes SCD1 and THR1 affects sclerotial development and vegetative growth, but not pathogenicity, in *Sclerotinia sclerotiorum*. *Molecular plant pathology* 6:1444-1453.

Mehdi K (2013). Use of RNAi to evaluate the role of isoflavones in resistance of red clover to *Sclerotinia trifoliorum* and *Sclerotium rolfsii* (Doctoral dissertation, Ghent University).

Melo BS, Voltan AR, Arruda W, Lopes FAC, Georg RC and Ulhoa CJ (2019). Morphological and molecular aspects of sclerotial development in the phytopathogenic fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. *Microbiological Research* 229(126326).

Moore D, Robson GD and Trinci AP (2020). *21st century guidebook to fungi*. Cambridge University Press. New York.

Pandey MK and Mishra RK (2021) *Sclerotium rolfsii*: A Threat to Legume Crops. *Diseases of Pulse Crops and their Management* 247.

Miriam Angélica Cordero Burgos
José Antonio Cervantes Chávez
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro
mcordero12@alumnos.uaq.mx