

## Transmisión de enfermedades de las plantas

### *¿Cómo reconocer una planta enferma?*



Los síntomas visibles, como manchas o lesiones de color amarillo o marrón en las partes de la planta que se encuentran por encima del suelo, son un indicio de que la planta está enferma. Estos síntomas pueden ser causados por patógenos bacterianos o fúngicos. Las manchas polvorrientas en las hojas y los tallos también son síntomas de enfermedad causados por los llamados patógenos del oídio, que se pueden observar en una amplia gama de cultivos y plantas naturales. A la izquierda, dos fotos de Fred Springborn: [https://www.canr.msu.edu/news/signs\\_and\\_symptoms\\_of\\_plant\\_disease\\_is\\_it\\_fungal\\_viral\\_or\\_bacteriano](https://www.canr.msu.edu/news/signs_and_symptoms_of_plant_disease_is_it_fungal_viral_or_bacteriano), Foto derecha: <https://extension.umd.edu/resource/powdery-mildew-vegetables>

**Rita Grosch y Jan Helge Behr**

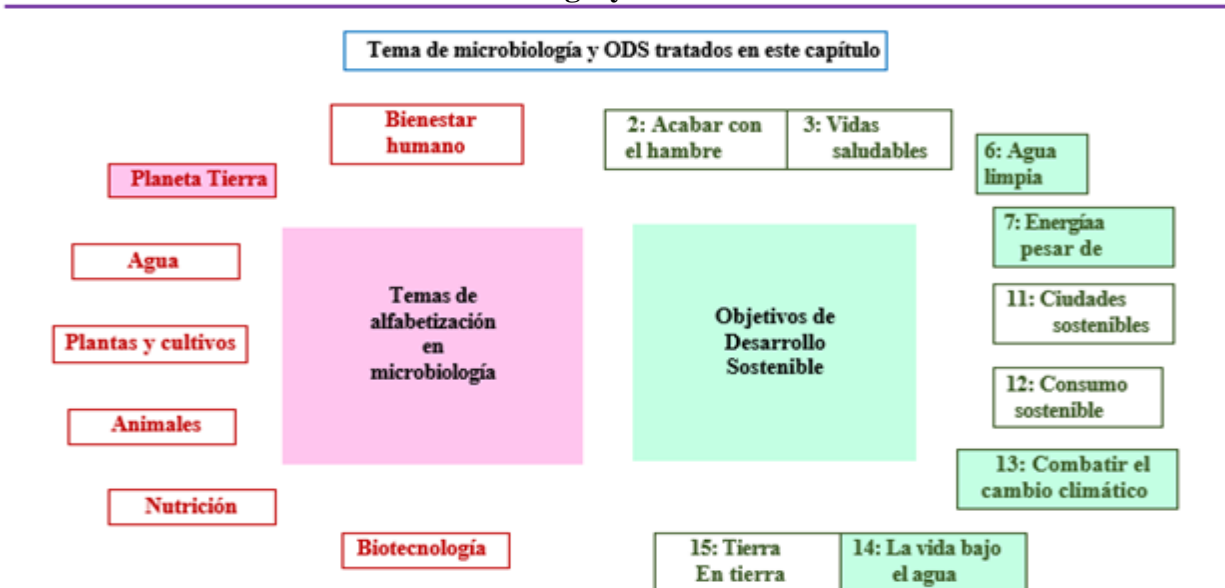
## Un marco de educación en microbiología centrado

### Transmisión de enfermedades de las plantas

#### Sinopsis

Los microorganismos son importantes para la salud de los organismos superiores, como los animales y las plantas. Además, son un componente importante del ecosistema del suelo, ya que descomponen la materia orgánica para proporcionar nutrientes a las plantas. Por lo tanto, los microorganismos contribuyen fundamentalmente a la productividad de los sistemas agrícolas. Los microorganismos son la base de nuestra red alimentaria mundial, ya que son cruciales para el crecimiento de las plantas, que son la principal fuente de nutrición para la población mundial. Sin la producción vegetal, no habría alimentos disponibles ni para los seres humanos ni para los animales. Las plantas han evolucionado en asociación con los microorganismos, y la mayoría de ellos son beneficiosos y apoyan a la planta huésped, por ejemplo, protegiéndola contra enfermedades y proporcionando nutrientes. Los microorganismos necesitan nutrientes para su crecimiento. Durante la evolución de las interacciones entre plantas y microorganismos, algunos microbios han desarrollado estrategias de vida específicas para la adquisición de nutrientes que tienen efectos negativos en las plantas. Estos microorganismos se denominan patógenos de las plantas y causan enfermedades. Los brotes de enfermedades de las plantas pueden tener efectos devastadores en el rendimiento y la calidad de los cultivos y, por lo tanto, en nuestras vidas y nuestra economía. Los patógenos de las plantas pueden causar enfermedades mediante diferentes estrategias de infección que implican la colonización de sus superficies y, en algunos casos, la invasión de sus tejidos. La mayoría de los patógenos de las plantas se transmiten pasivamente por el viento, la lluvia o las salpicaduras de lluvia, por insectos, animales y material vegetal o equipo agrícola contaminado (por ejemplo, tractor, arado), pero algunos se propagan activamente mediante el uso de flagelos (por ejemplo, bacterias). La infección de una planta por un patógeno da lugar a enfermedades que, en la mayoría de los casos, son visibles para nosotros por los síntomas, especialmente en las partes de la planta que están por encima del suelo. La aparición de enfermedades de las plantas tiene múltiples consecuencias para los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

#### La microbiología y el contexto social



## Un marco de educación en microbiología centrado

*La microbiología:* Patógenos de plantas, transmisión de patógenos, vectores de patógenos.

*Cuestiones de sostenibilidad:* pobreza, hambre, salud, energía, economía y empleo.

### Transmisión de enfermedades en las plantas: la microbiología

**1. La importancia de los microorganismos.** Una enorme cantidad de microorganismos (arqueas, los microorganismos bacterias, hongos y protistas) existen en todas partes en nuestra Tierra. Aunque son tan pequeños que no podemos verlos a simple vista, son cruciales para nuestra vida. Por ejemplo, cada cuerpo humano contiene aproximadamente la misma cantidad de microorganismos que células humanas (30 billones). Los humanos y otros organismos no pueden vivir sin microorganismos, porque brindan muchos servicios esenciales, como la digestión de alimentos, la desintoxicación de sustancias químicas nocivas y la protección contra infecciones. Además de las diversas funciones, estos microorganismos desempeñan papeles clave en la salud humana o en el bienestar general.

Además, la humanidad ha utilizado microorganismos para procesar alimentos como la cuajada, el yogur y bebidas fermentadas, como la cerveza, la bebida más antigua. Actualmente se conocen más de 3500 alimentos fermentados tradicionalmente, por lo que la tecnología alimentaria es inimaginable sin microorganismos.

**2. Microorganismos útiles y dañinos para las plantas.** Al igual que en los seres humanos y prácticamente en todos los demás seres vivos, los microorganismos colonizan todas las superficies de las plantas, como las hojas y las raíces. Las plantas también pueden albergar microorganismos dentro de varios compartimentos tisulares, que viven allí como endófitos. La totalidad de estos microorganismos asociados a las plantas se denomina microbioma vegetal. Se sabe que la mayoría de los microorganismos asociados a las plantas benefician la salud de las plantas al influir positivamente en la fisiología, el desarrollo y la respuesta de las plantas a factores de estrés (por ejemplo, sequía, patógenos vegetales). Por ejemplo, las plantas necesitan nutrientes, como nitrógeno y fósforo, para su crecimiento. Los microorganismos útiles en el suelo, como los hongos y las bacterias, aumentan la disponibilidad de nutrientes para la planta, mejorando así el estado nutricional de las plantas. Los hongos micorrízicos son un grupo bien conocido de microorganismos beneficiosos que colonizan las raíces de las plantas y proporcionan especialmente fósforo a las plantas. La mayoría de las especies vegetales han desarrollado esta interacción beneficiosa o la llamada simbiosis con los hongos micorrízicos.

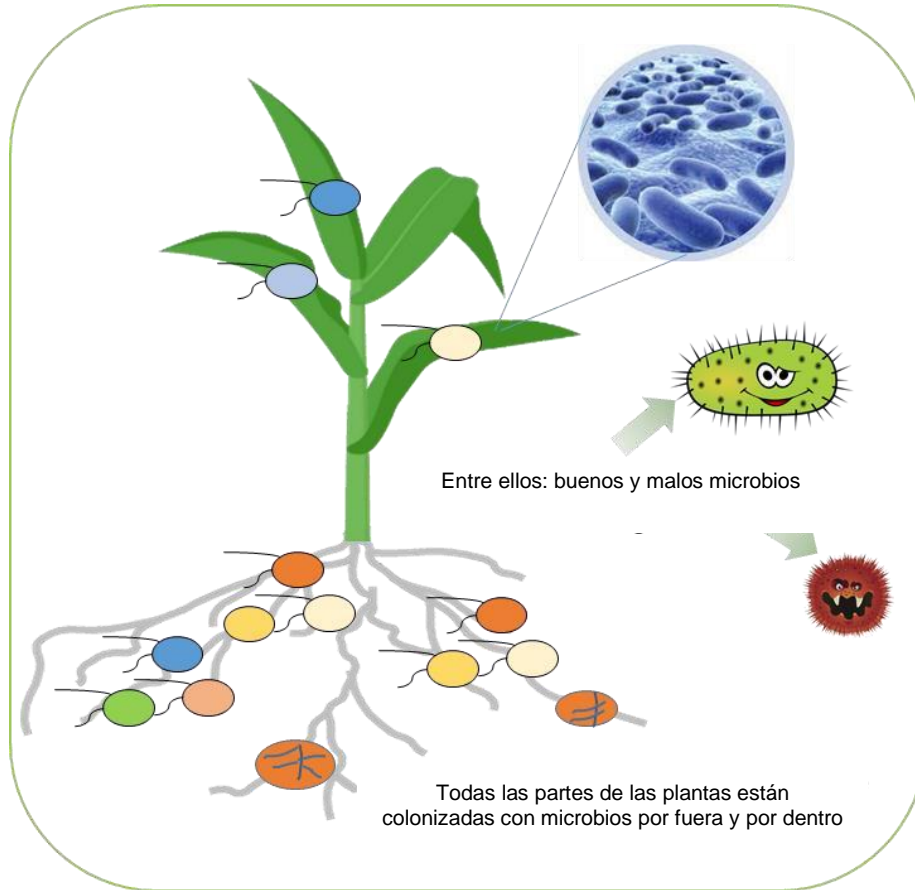
Numerosos miembros del microbioma ayudan a la planta huésped protegiéndola contra enfermedades (microbios beneficiosos). Activan la respuesta de defensa o aumentan la tolerancia a condiciones de estrés como la sequía o la salinidad. Los microorganismos también pueden mejorar la capacidad fotosintética. Todos estos servicios mejoran el crecimiento y el rendimiento de la planta.

Además, los microorganismos que viven en el suelo también son importantes para las plantas. Algunos de ellos son degradadores de materia orgánica y cruciales para el reciclaje de nutrientes. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica, como los residuos vegetales, en sus componentes básicos. De esta manera, los microorganismos apoyan la disponibilidad de nutrientes para las plantas, mientras que las plantas proporcionan a cambio alimentos (azúcares) a los microorganismos.

Sin embargo, en la evolución de las interacciones entre plantas y microorganismos, no sólo se han desarrollado efectos positivos, sino que algunos microorganismos son muy dañinos

## Un marco de educación en microbiología centrado

y causan enfermedades en las plantas (microorganismos malos). Aunque la mayoría de los microorganismos son beneficiosos, los microorganismos dañinos tienen impactos negativos económicamente relevantes en los resultados de la agricultura y limitan el rendimiento y la calidad de los cultivos.



La mayoría de las enfermedades de las plantas son causadas por hongos patógenos y organismos similares a hongos (oomicetos), pero también por bacterias, fitoplasmas, virus y viroides. Todos estos organismos se denominan patógenos de plantas. Los hongos patógenos y los organismos similares a hongos no son capaces de alimentarse por sí mismos, sino que tienen un crecimiento filamentosos y utilizan la planta huésped como fuente de alimento. A diferencia de las bacterias, los fitoplasmas y los virus, los hongos patógenos y los organismos similares a hongos pueden invadir activamente el tejido de la planta huésped. Muchos de ellos producen esporas o estructuras de supervivencia específicas que pueden pasar el invierno en los restos de la planta. Los hongos pueden sobrevivir como clamidosporas o esclerocios, y los oomicetos como oosporas, durante largos períodos de tiempo en el suelo, solo para volverse activos cuando una planta huésped se cultiva nuevamente en este suelo.

Algunos de estos patógenos están muy especializados en una planta huésped específica, mientras que otros pueden infectar una amplia gama de plantas huésped.

Aunque tanto las partes de la planta que están por encima como por debajo del suelo pueden infectarse, solo notamos los síntomas de la enfermedad a través de cambios en las partes visibles de la planta que están por encima del suelo.

**3. El ciclo de la enfermedad.** Los patógenos de las plantas son un grupo muy heterogéneo de

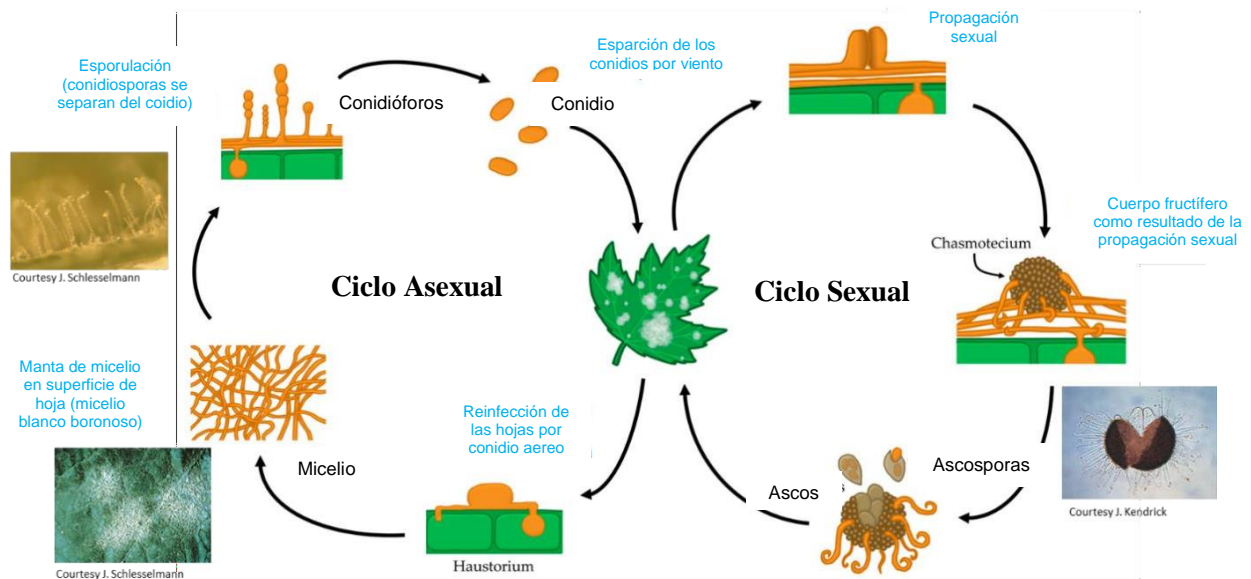
## Un marco de educación en microbiología centrado

organismos que difieren en su modo de adquisición de nutrición, tipo de reproducción y forma de transmisión. Han desarrollado propiedades específicas que les permiten entrar en un huésped y establecer una relación parasitaria entre ellos y la planta.

Los patógenos han desarrollado diversos estilos de vida y tradicionalmente se clasifican en tres grupos principales: categorías en función de su adquisición de nutrición, a saber, biótrofos, necrótrofos y hemibiótrofos.

Un patógeno biotrófico obligado obtiene nutrientes de las células vegetales vivas y no puede completar su ciclo de vida sin el huésped. Algunos ejemplos son los hongos que causan roya en la cebada (*Puccinia hordei*) y el mildiú polvoroso en las cerezas (*Erysiphe graminis*), que causan graves pérdidas de rendimiento en todo el mundo.

Por el contrario, los patógenos necrotróficos bacterianos, fúngicos u oomicetos son muy destructivos y destruyen las células y los tejidos de las plantas, por ejemplo, al producir enzimas o toxinas que degradan la pared celular de la planta huésped. Por lo tanto, obtienen nutrientes y energía de las células muertas o moribundas. Estas estrategias producen necrosis extensa, maceración de tejidos y podredumbre de las plantas, y en última instancia pueden matar a sus huéspedes. Algunos ejemplos son los hongos patógenos *Botrytis cinerea* (moho gris) y *Sclerotinia sclerotiorum* (moho blanco), que tienen un amplio espectro de huéspedes, es decir, pueden causar enfermedades en varias especies de plantas.



Ciclo de vida típico del polvohongo del mildiú (Vielbach-Fernandez A. et al. Microorganisms 2020, 8(9), 1431)

Los patógenos hemibiotróficos se caracterizan por una fase biotrófica inicial seguida de una fase necrotrófica. Estos patógenos mantienen vivo al huésped mientras se establecen dentro del tejido huésped y extraen nutrientes de estas células durante la fase biotrófica. Más tarde, el patógeno cambia a un estilo de vida necrotrófico, matando a las células huésped y obteniendo sus nutrientes de las células muertas o moribundas. Ejemplos de estos patógenos son *Magnaporthe oryzae* (hongo del tizón del arroz) y *Mycosphaerella graminicola* (mancha foliar del trigo).

Algunos patógenos vegetales pueden invadir el tejido vegetal y vivir en el entorno interno de las plantas, mientras que otros viven en la superficie de las mismas. Los patógenos

## Un marco de educación en microbiología centrado

fúngicos o bacterianos que provocan el marchitamiento de las plantas colonizan el sistema vascular de la planta y bloquean el transporte de agua en la planta. La planta se vuelve flácida, como ocurre con algunas plantas en condiciones climáticas cálidas y secas. Los hongos del oídio, muy extendidos, aparecen en la superficie de las hojas como un crecimiento fúngico parecido a un polvo blanco y no invaden el tejido vegetal más profundo. Las esporas de estos hongos producidas en la superficie de las hojas se pueden distribuir fácilmente, por ejemplo, por el viento.

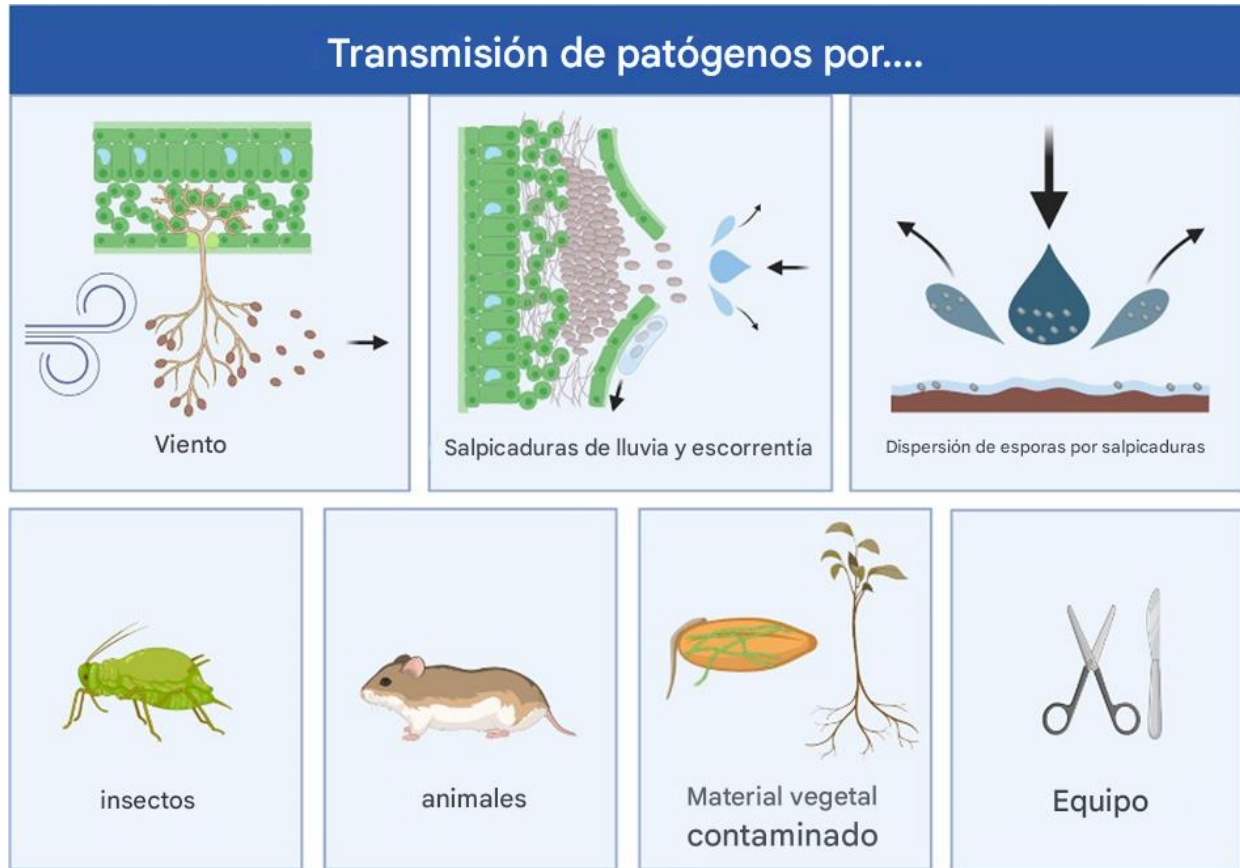
Tanto un patógeno como una planta huésped susceptible son componentes necesarios de una enfermedad, pero la enfermedad se desarrolla solo cuando las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, son favorables tanto para la planta como para el patógeno en el ecosistema o el sistema de producción vegetal.

Cuando una enfermedad se propaga en un ecosistema de una planta a otra, puede generarse una epidemia. Esto plantea las siguientes preguntas:

- ¿Qué podría mover un patógeno o una estructura patógena como una spora de hongo dentro de los sistemas de producción vegetal?
- ¿Qué factores influyen en la transmisión de un patógeno dentro de un cultivo y cómo?

**4. Transmisión de patógenos.** En general, los patógenos pueden infectar todo tipo de tejido vegetal, como: hojas, brotes, tallos, coronas, raíces, frutos y semillas. Y, como se ha mencionado, pueden colonizar superficies y tejidos internos de las plantas, como el sistema vascular o las semillas. La parte que un patógeno infecta depende del propio patógeno. Tanto el patógeno como su estrategia de infección influyen en su transmisión de planta a planta.

En general, los patógenos de las plantas pueden distribuirse de forma pasiva por el viento, el agua o los animales, pero también de forma activa. Por ejemplo, los patógenos de tipo fúngico producen zoosporas que pueden nadar, por ejemplo, hasta las raíces de las plantas, si el suelo está húmedo. Muchas bacterias también son móviles y pueden nadar activamente hasta el tejido vegetal objetivo en condiciones húmedas.

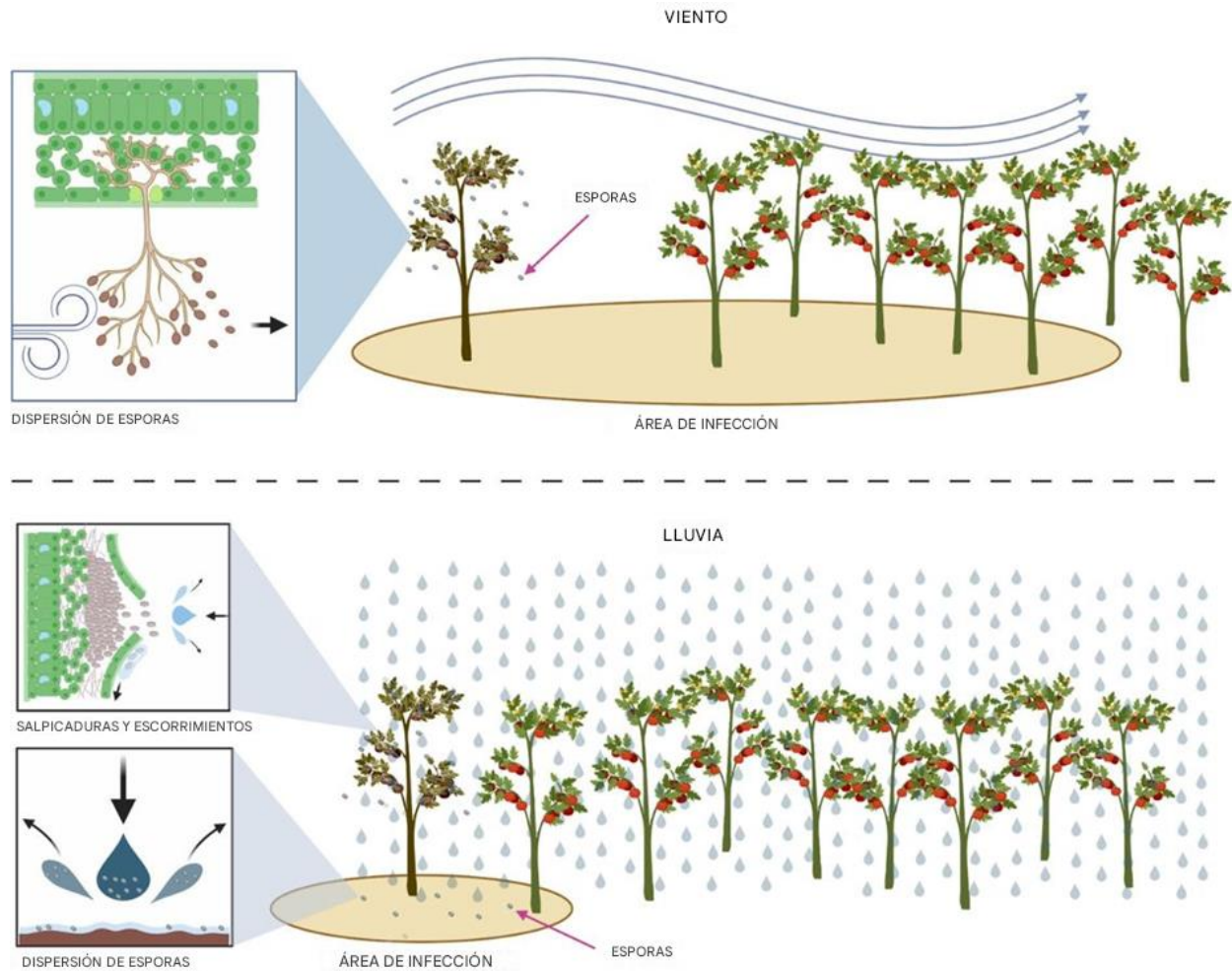


(Figura creada con biorender.com)

Los patógenos de las plantas también pueden transmitirse a través de herramientas y maquinaria que entran en contacto con tejidos vegetales infectados o partículas de suelo cargadas de patógenos. Por lo tanto, los humanos diseminan patógenos a través del transporte de material vegetal infectado o enfermo, el cultivo de plantas infectadas, el injerto o la poda. Los síntomas de la enfermedad no siempre son visibles, por lo que no siempre es posible evitar la manipulación y transmisión de plantas infectadas.

a. *Distribución por viento y lluvia.* La mayoría de los hongos y organismos similares a hongos producen esporas (a menudo denominados conidios) y su dispersión es el proceso más común para iniciar nuevas infecciones en plantas hospedantes tanto cercanas como lejanas. Una serie de hongos patógenos de las hojas, como los hongos de la roya o el mildiú polvoroso, y patógenos similares a los hongos, como el mildiú veloso o el tizón tardío, que infectan las hojas de una planta se propagan principalmente por el viento. Estos patógenos producen esporas en lesiones en la superficie de la hoja o colonizan dentro del tejido vegetal (por ejemplo, los patógenos del mildiú veloso) y se expulsan a través de las estomas.

## Un marco de educación en microbiología centrado



(Figura creada con biorender.com)

Dentro de un cultivo, las esporas se distribuyen fácilmente por el viento en distancias cortas. El contacto entre plantas vecinas también da lugar a nuevas infecciones. Y durante los episodios de lluvia, las esporas de hongos o patógenos similares a hongos pueden propagarse mediante gotas de lluvia que caen sobre el tejido foliar infectado y dispersan las esporas a través de pequeñas gotas salpicadas hacia las plantas vecinas.



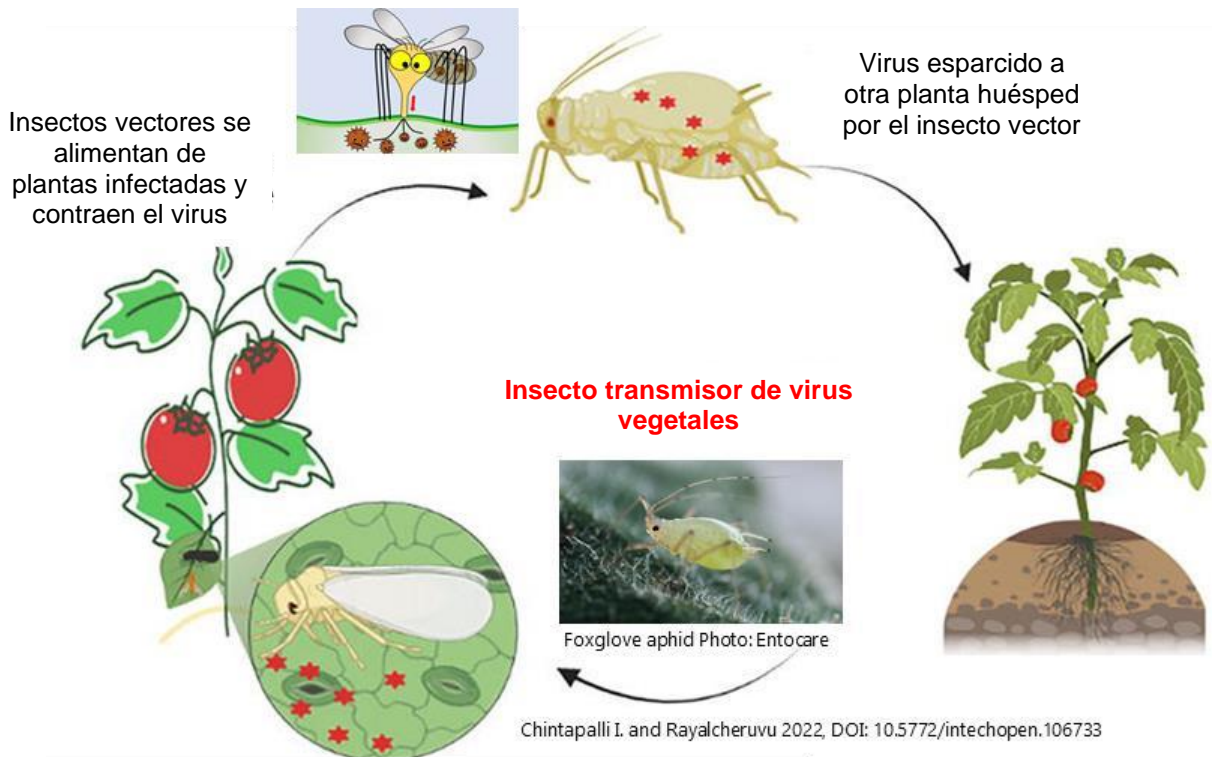
## Un marco de educación en microbiología centrado

En el suelo viven y/o sobreviven numerosos patógenos vegetales, incluidos los denominados patógenos foliares. Los patógenos transmitidos por el suelo son habitantes naturales del suelo o se incorporan a él a través de material vegetal infectado, como semillas y residuos de cosecha. Las gotas de lluvia también pueden salpicar el suelo cargado de patógenos y, de ese modo, distribuir material infeccioso a las partes de la planta que se encuentran por encima del suelo.

Las esporas del suelo u otras estructuras patógenas, como las hifas adheridas a partículas del suelo, se diseminan en el polvo arrastrado por el viento a distancias significativas que van desde metros hasta cientos de kilómetros, como se observa en la aparición de enfermedades en plantas en campos de otras áreas agrícolas. La distribución de patógenos a través de partículas del suelo ocurre especialmente en tierras en barbecho.

La transmisión de patógenos que depende principalmente del viento y de las salpicaduras de lluvia suele limitarse a distancias relativamente cortas. En este caso, la supervivencia de las esporas o estructuras de patógenos distribuidos depende de la posibilidad de entrar en contacto con un huésped susceptible y de condiciones ambientales adecuadas. Sin embargo, aunque las esporas de hongos suelen tener una vida corta y ser susceptibles a la radiación ultravioleta y a la desecación, también se conocen algunos casos de dispersión a larga distancia. Por ejemplo, la roya de la hoja del café (*Hemileia vastatrix*) probablemente se transmitió por el viento desde África hasta Brasil en la década de 1970.

b. *Transmisión mediada por vectores.* Las aves que entran en contacto con esporas de patógenos producidas en lesiones de hojas de plantas infectadas o con partículas de suelo cargadas de patógenos pueden transportar esporas de hongos a través de sus plumas a distancias cortas y largas. Además, todo tipo de insectos pueden actuar como vectores pasivos para propagar patógenos de plantas infectadas a nuevos huéspedes.



## Un marco de educación en microbiología centrado

Curiosamente, los patógenos han desarrollado mecanismos para atraer insectos y aumentar las posibilidades de transmisión. Por ejemplo, el patógeno del cornezuelo (*Claviceps purpurea*) infecta ovarios jóvenes, generalmente no fertilizados, de varios cereales y pastos. El hongo produce melazas azucaradas para atraer a los insectos. En las melazas hay millones de esporas y los insectos atraídos las esparcen (conidios) a otras flores.



Esclerocios del patógeno del cornezuelo *Claviceps purpurea* (Foto: Franz Xaver Schubiger, pflanzenkrankheiten.ch)

Algunas bacterias patógenas de las plantas, especialmente las que causan manchas, chancros, tizón o podredumbres blandas, también atraen a los insectos mediante exudados bacterianos azucarados. Las bacterias que viven dentro o entre las células de las plantas las bacterias que se encuentran en este exudado se adhieren a las patas y al cuerpo de todo tipo de insectos, como moscas, pulgones y moscas blancas, que entran en contacto con el exudado y, de este modo, son transportadas a nuevas plantas hospedadoras. Cuando los insectos se posan sobre una herida reciente o una abertura natural de una planta susceptible y las condiciones de humedad son adecuadas, la nueva planta hospedadora se infecta. Lo mismo ocurre cuando los propios insectos provocan heridas.

Además, todos los insectos chupadores pueden transmitir patógenos que se encuentran de forma sistémica en las plantas, especialmente en los tejidos vasculares. El floema, en particular, actúa como sistema de transporte de larga distancia de la planta, responsable de trasladar los productos de la fotosíntesis, como los azúcares, a todas las partes de la planta, y ofrece una fuente rica en nutrientes para los patógenos.

La mayoría de los virus vegetales conocidos se transmiten por insectos chupadores, como los pulgones, mientras que los vectores más importantes de patógenos bacterianos son las cicadélidas y los psílidos, que transmiten las bacterias entre las plantas hospedantes durante los períodos de alimentación. Todas las bacterias transmitidas por vectores comparten la capacidad de propagarse tanto en la planta como en el insecto vector.

c. *Transmisión por semillas o plantas.* Muchos de los primeros cultivos humanos, como los cereales, fueron...Las semillas se transportan a las zonas agrícolas junto con sus agentes patógenos. Desde entonces, a medida que los seres humanos han recolectado y trasladado semillas de cultivos de interés a nuevos sitios, han distribuido patógenos vegetales sin saberlo.

Los patógenos que se transmiten por las semillas se encuentran en el interior de estas (endospermo, perispermo, frutos) o en el exterior, en la superficie de la cubierta de las semillas. Los virus, por ejemplo, pueden estar presentes en el embrión y, por lo tanto, asegurar la infección de la plántula.

## Un marco de educación en microbiología centrado

La infección/infestación de las semillas suele caracterizarse por la ausencia de síntomas visibles (asintomática), lo que favorece la dispersión a larga distancia. De esta manera, los patógenos pueden entrar en nuevos sitios de campo y las semillas de *Fusarium* se pueden establecer en regiones extranjeras y pasar desapercibidas durante años. Esta es una de las razones por las que se tardó tanto en apreciar el papel de las semillas como vectores de transmisión pasiva de patógenos. La distribución de *Fusarium* spp. a través de semillas contaminadas en todas las principales zonas productoras de espárragos del mundo es un ejemplo. *Fusarium* spp. es responsable de la enfermedad de podredumbre de la corona y la raíz del espárrago, una especie de planta que se trajo de Asia a Europa y más tarde a los EE. UU. El cultivo comercial de espárragos en los EE. UU. comenzó ya a fines del siglo XIX, pero la enfermedad apareció por primera vez en 1908.

Los patógenos transmitidos por semillas pueden sobrevivir mucho más tiempo que aquellos distribuidos por el viento y las gotas de lluvia que están expuestas directamente a los elementos.

### Relevancia para objetivos de Desarrollo Sostenible y Grandes Desafíos

Las enfermedades de las plantas son importantes para varios ODS. Debido a que reducen el rendimiento de las plantas de cultivo, reducen los ingresos de los agricultores (ODS 8, trabajo decente para todos), algunos de los cuales son agricultores de subsistencia que pueden verse fácilmente empujados a la pobreza (ODS 1: poner fin a la pobreza). La disminución del rendimiento de los cultivos también afecta negativamente la capacidad de los agricultores para alimentar al mundo y, por lo tanto, evitar el hambre (ODS 2: poner fin al hambre) y, dado que la buena salud requiere una nutrición adecuada, evitar la mala salud causada por la malnutrición (ODS 3, garantizar una vida sana). Las plantas son la base de la energía renovable (ODS 7, acceso a la energía sostenible).

### Posibles implicaciones para las decisiones

#### 1. Individual

- a. Respetar el papel fundamental de las plantas en la Tierra en general para nuestras vidas (por ejemplo, fuente de alimento proporcionar oxígeno, influir en nuestro bienestar)
- b. Tenga en cuenta los síntomas visibles en los alimentos de origen vegetal y no los coma.
- c. Manipular las partes sintomáticas de la planta de manera que se evite la propagación de patógenos.
- d. Cuando visites una finca, asegúrate de no tocar plantas con síntomas visibles para evitar la propagación de enfermedades. Limpia tus zapatos para evitar la transmisión de patógenos que viven en el suelo.
- e. No se permite la introducción de ningún material vegetal vivo al entrar en la Unión Europea (UE).

#### 2. Políticas relacionadas con la protección de las plantas para los países europeos

- a. Normas para proteger a la UE contra la introducción de nuevas enfermedades vegetales y combatir de forma más eficaz las enfermedades vegetales existentes.
- b. Detección de nuevas enfermedades devastadoras en todo el mundo.
- c. Prevenir la entrada de nuevas enfermedades en el territorio de la UE para evitar

## Un marco de educación en microbiología centrado

la destrucción del potencial de producción agrícola en la UE.

d. Detección temprana y erradicación de plantas enfermas en cuarentena cuando se encuentren en el territorio de la UE.

e. La importación de productos vegetales, especialmente material vegetal vivo, requiere un certificado fitosanitario que confirme su conformidad con la legislación de la UE (excepción: plátano, coco, dátiles, piñas y durian).

f. Los pasaportes vegetales son necesarios para el traslado de todas las plantas destinadas a ser plantadas dentro del mercado interior a nivel comercial.

g. Los Estados miembros de la UE son responsables de la aplicación de las normas.

h. La legislación de la UE se ajusta a los principios y normas de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) y

### Participación de los alumnos

#### 1. *Discusión de clase del asunto asociado con las enfermedades de las plantas*

a. Práctica agrícola considerando el manejo de enfermedades de las plantas,

b. El papel de las enfermedades de las plantas en la seguridad alimentaria

c. Impacto del cambio climático en la incidencia de enfermedades.

#### 2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

a. La aparición de enfermedades en las plantas tiene consecuencias positivas y negativas para los ODS. ¿Cuáles de ellas son las más importantes para usted personalmente o como grupo?

b. La estrategia de control utilizada para la protección de las plantas tiene un impacto en el medio ambiente y la salud humana. ¿Cuáles de estos factores son los más importantes para usted personalmente o como grupo?

c. ¿Puede pensar en algo que se pueda hacer para evitar las consecuencias negativas de las estrategias de control de las enfermedades de las plantas sobre la salud humana y el medio ambiente, especialmente en la cadena de suministro de alimentos?

d. ¿Puedes pensar en algo que podrías hacer personalmente para reducir la huella ambiental de las enfermedades de las plantas?

#### 3. *Ceremonias*

a. La mayor parte de nuestros alimentos se produce mediante una agricultura intensiva relacionada con un alto uso de agroquímicos (fertilizantes minerales, pesticidas sintéticos). ¿Qué opciones sostenibles existen para el control de enfermedades o la protección de las plantas sin pesticidas sintéticos?

b. En vista de los ODS, ¿cómo podemos transformar la producción agrícola reciente en un sistema agrícola sostenible? ¿Cuáles son los desafíos y las oportunidades? Crear un sistema agrícola sostenible teniendo en cuenta sus impactos ambientales asociados.

## Un marco de educación en microbiología centrado

### La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos

#### *Beneficios de los microorganismos para sanidad vegetal*

[https://www.youtube.com/watch?v=J6B\\_oI-N9Qs](https://www.youtube.com/watch?v=J6B_oI-N9Qs)

Harman G., Khadka R., Doni F., Uphoff N. 2021. Beneficios para la salud y la productividad de las plantas derivados de la mejora de los simbiontes microbianos de las plantas. *Front Plant Sci* 11:610065, doi: 10.3389/fpls.2020.610065

#### *Introducción de enfermedades de las plantas*

Enfermedades de las plantas: patógenos y ciclos <https://cropwatch.unl.edu/soybean-management/plant-disease>

Prevención y manejo de enfermedades de las plantas

<https://extension.missouri.edu/publications/mg13>  
<https://www.youtube.com/watch?v=NjCaytf2e9U>

<https://www.youtube.com/watch?v=sY6n7s49Xu8>  
<https://www.youtube.com/watch?v=05ITJlgPcR0>  
[https://www.canr.msu.edu/news/signos y síntomas de enfermedad de las plantas ¿es fúngica o viral? bacteriano](https://www.canr.msu.edu/news/signos_y_sintomas_de_enfermedad_de_las_plantas_¿es_fúngica_o_viral?_bacteriano)

Shurtleff MC Enfermedades de las plantas. <https://www.britannica.com/science/plant-disease>

Hongo planta patógenos y sintomatología,  
[https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2054/2014/04/FungalPlantPathogens\\_002.pdf](https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/2054/2014/04/FungalPlantPathogens_002.pdf)

Jain A., Sarsaiya S., Wu Q., Lu Y., Shi J. 2019. Una revisión de las enfermedades fúngicas de las hojas de las plantas y su entorno. *especiación. Bioingeniería* 10(1):409-424.  
<https://doi.org/10.1080/21655979.1649520>.

Dean R, van Kan JAL, Pretorius ZA, Hammond-Kosack KE, di Pietro AD, Spanu PD, Rudd JJ, Dickman M., Kahmann R., Ellis J., Foster GD 2012. Los 10 principales hongos patógenos en patología molecular de plantas. *Mol Plant Pathol* 13(4):414-430.

Ristaino JB, Anderson PP, Bebber DP, et al. La amenaza persistente de las pandemias emergentes de enfermedades de las plantas para la seguridad alimentaria mundial. *PNAS* 118(23):e2022239118.  
<https://doi.org/10.1111/nph.16007>.

Corredor-Moreno P., Saunders DGO 2020. Esperando lo inesperado: factores que influyen en la aparición de hongos y oomicetos patógenos de plantas. *New Phytol* 225:118-125.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2022239118>.

#### *Transmisión de patógenos vegetales*

Cómo hacer infecciones desparramar en ¿plantas?

<https://www.sciencefriday.com/educational-recursos/como-se-propagan-las-enfermedades-entre-las-plantas/>

Heck M. 2018. Transmisión de patógenos vegetales por insectos: una perspectiva de biología de sistemas. *mSystems* 3(2):e00168-17.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5881024/pdf/mSystems.00168-17.pdf>

Marrón JKM, Hovmøller MS 2002. Dispersión aérea de patógenos a escala global y continental y su impacto en las enfermedades de las plantas. *Science* 297(5581):537-541.  
<https://doi.org/10.1126/science.1072678>.

Marrón Yo. Supervivencia y dispersión de planta parásitos: general conceptos

[https://www.appsnet.org/Publications/Brown\\_Ogle/12%20General%20concepts%20\(JFB\)%20.pdf](https://www.appsnet.org/Publications/Brown_Ogle/12%20General%20concepts%20(JFB)%20.pdf)

## Un marco de educación en microbiología centrado

Shaw MW, Osborne TM 2011. Distribución geográfica de los patógenos de las plantas en respuesta al cambio climático. *Plant Pathol* 60:31-43.<https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02407.x>.

### *Control biológico de enfermedades de las plantas*

¿Qué es el control biológico? <https://www.youtube.com/watch?v=OrMKHhb6jgs>.

Raid R. Pautas de patología vegetal para jardineros expertos  
[https://erec.ifas.ufl.edu/plant\\_pathology\\_guidelines/module\\_07.shtml](https://erec.ifas.ufl.edu/plant_pathology_guidelines/module_07.shtml)

O'Brien PA 2017. Control biológico de enfermedades de las plantas. *Australasian Plant Pathol* 46:293-304.<https://doi.org/10.1007/s13313-017-0481-4>.

Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg WJ 2019. Modo de acción de los agentes de control biológico microbiocontra enfermedades de las plantas: relevancia más allá de la eficacia. *Front Plant Sci* 10:845. <https://doi.org/10.103389/fpls.2019.00845>.

## Un marco de educación en microbiología centrado

### Glosario

**microorganismo o microbio:** es un organismo de tamaño microscópico e incluye bacterias, protozoos, algas y hongos

**microbioma:** es el grupo específico de microorganismos como bacterias, hongos y virus que existen en un organismo (o entorno) particular e interactúan con ellos.

**microbioma vegetal:**

es el grupo específico de microorganismos que colonizan las superficies y tejidos de las plantas e interactúan con ellas.

**endófito:** es el grupo específico de microorganismos que existen comúnmente dentro del tejido vegetal. **simbiontes vegetales:** son microbios que viven en interacción muy estrecha con la planta y obtienen una ventaja de la interacción.

**micorriza:** define una relación mutuamente beneficiosa entre las raíces de la planta y el hongo que coloniza las raíces. Los hongos micorrízicos pueden crecer dentro de las raíces de la planta o en la superficie de las raíces. **patógeno vegetal:** es un organismo como bacterias, hongos, oomicetos, virus y nematodos que causan enfermedades en una planta.

**ciclo de vida de un patógeno vegetal:** representa una serie de etapas interconectadas de desarrollo que incluyen latencia, reproducción, dispersión y patogénesis bajo consideración de la biología del patógeno. **patogénesis:** incluye la producción de inóculo, la propagación del inóculo a una planta huésped susceptible, la penetración del inóculo en la planta huésped y la infección.

**patógeno biotrófico:** obtiene alimento de la célula vegetal viva y establece una relación de alimentación a largo plazo con las células vegetales vivas.

**Patógeno necrótrofo:** mata las células hospedantes de la planta mediante una intensa actividad enzimática y toxigénica, derivan nutrientes de las células muertas o moribundas e invaden posteriormente la planta huésped manteniendo la actividad saprofita.

**Patógeno hemibiotrófico:** invade células hospedantes de plantas inicialmente vivas (fase biotrófica), se propaga por todo el tejido vegetal infectado y luego pasa a una fase necrotrófica para obtener nutrientes de las células muertas.

**hifas:** es una estructura filamentosa larga y ramificada de hongos y oomicetos.

**clamidospora:** es una espora grande, solitaria, asexual, de paredes gruesas y en reposo de varios tipos de hongos y el principal modo de crecimiento vegetativo, y se denominan colectivamente micelio.

**esclerocio (esclerocios):** es una masa compacta de micelio fúngico endurecido que contiene reservas de alimentos el papel de los esclerocios es sobrevivir en diversas condiciones ambientales.

**oomicetos:** son una clase del filo Oomycota e incluyen algunos de los patógenos vegetales más devastadores.

**protistas:** son un grupo taxonómico diverso de organismos eucariotas que son predominantemente unicelulares y no verdaderos animales, plantas u hongos y carecen de la etapa multicelular.

**viroides:** consisten únicamente en ARN desnudo sin ninguna capa protectora e infectan las plantas.