

# Semana 3

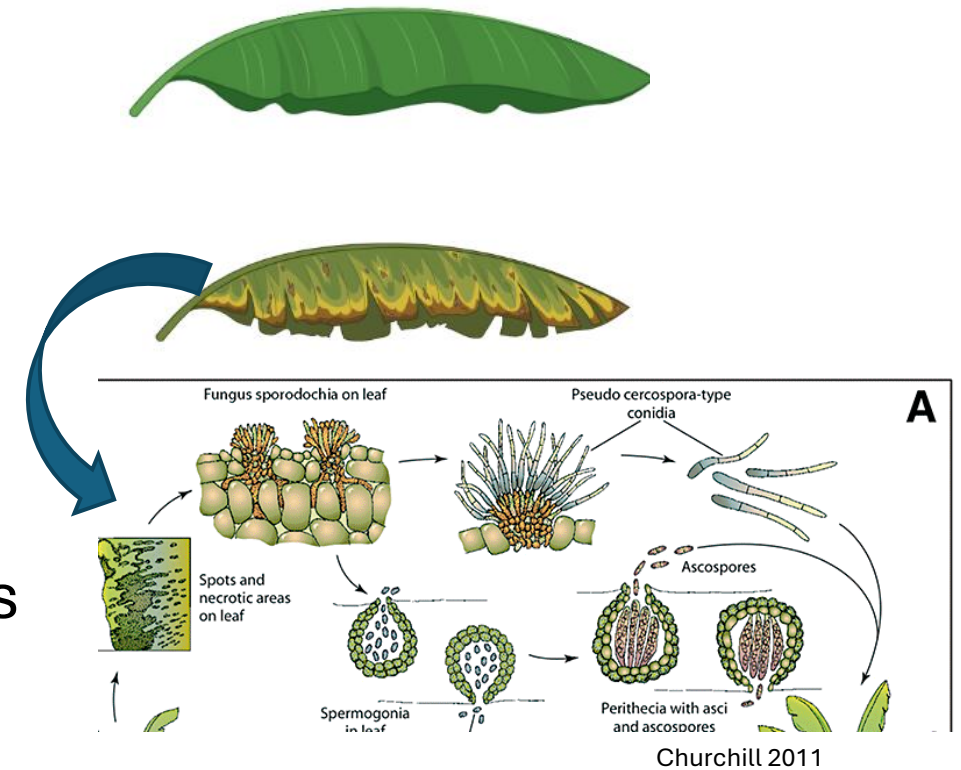
SP6350 Manejo de Enfermedades

Ciclo I-2025

Dr. Mauricio Serrano

# Repasemos...

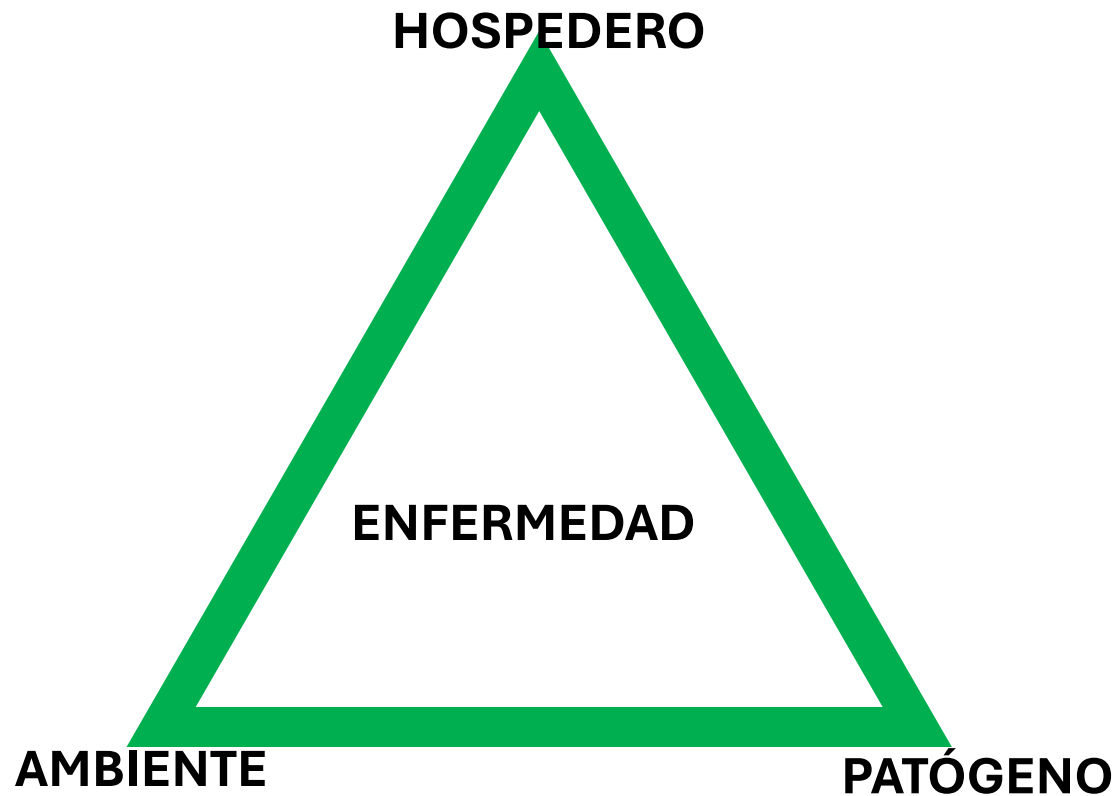
- **Síntomas:** Manifestaciones visibles de la enfermedad en la planta como respuesta ó resultado de las actividades del patógeno
- **Signos:** Estructuras o productos de un patógeno que se observan sobre o dentro de las plantas enfermas.
  - Siempre se pueden observar a simple vista?



# Repasemos...

- Hemos visto que los patógenos pueden afectar varios tejidos
    - Follaje, raíces, xilema, floema, tejidos indiferenciados, etc
  - Y de esta forma afectan fotosíntesis, absorción y transporte de nutrientes, transporte de fotoasimilados, generar malformaciones, necrosis, etc.
- 
- Todas las estructuras básicas de la planta son vulnerables al ataque de patógenos.
  - Los síntomas de la enfermedad reflejan las funciones básicas de la planta que están siendo afectadas.

# El triángulo de la enfermedad



- Concepto que representa los **tres elementos fundamentales** requeridos para que se produzca una enfermedad:
  - **1. Hospedero susceptible**
  - **2. Patógeno virulento** (capaz de causar enfermedad)
  - **3. Ambiente Favorable**
- Si alguno de estos elementos falta, la enfermedad no ocurrirá
- *“Más que un concepto teórico, el triángulo debe considerarse como una herramienta operativa, que permite fundamentar racionalmente las decisiones de manejo de una enfermedad” (Aráuz, 2011).*

# 1. Hospedero susceptible

- Diversos factores afectan la susceptibilidad:
  - Estado de desarrollo de la planta (fenología)
  - Predisposición genética
  - Estrés
- Dependiendo del tejido y las funciones básicas afectadas, así será el tipo de enfermedad que vamos a observar.
  - Los síntomas pueden ser:
    - Localizados
    - Sistémicos: afectan la planta entera

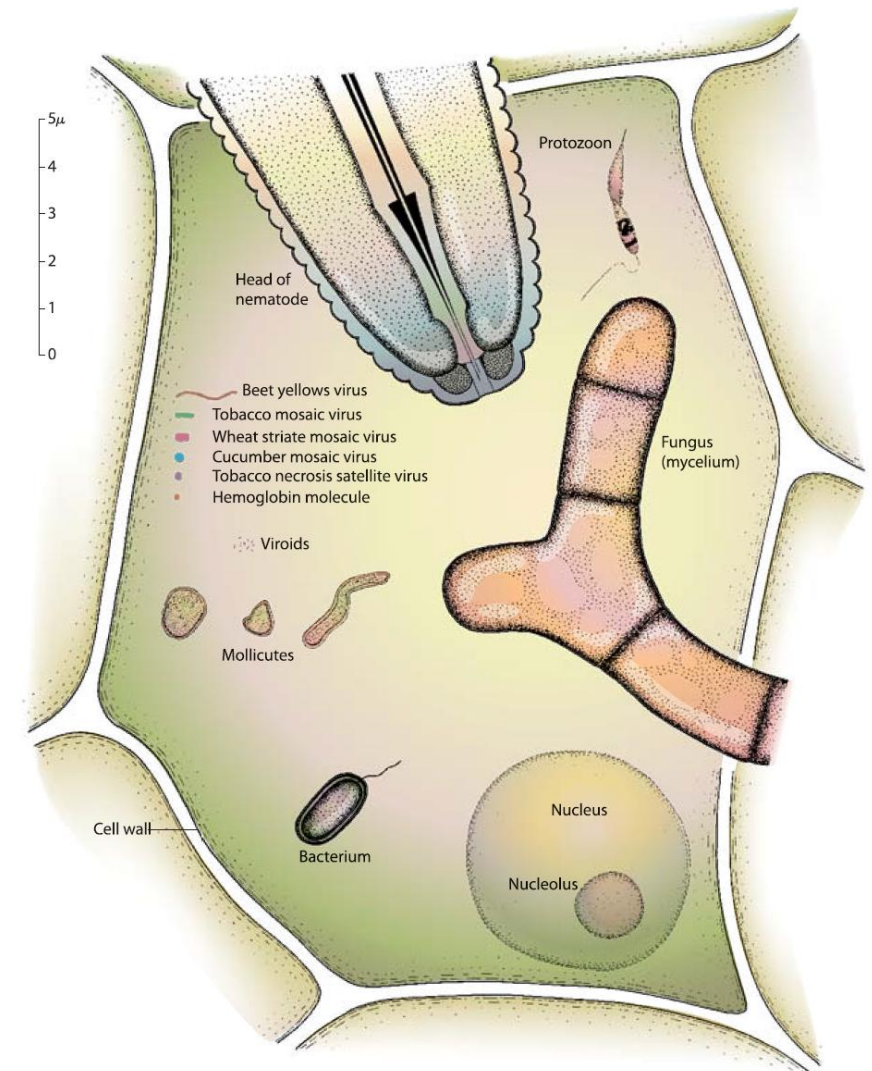
- **Rango de hospederos** del patógeno se refiere a las especies en las cuales causa enfermedad.
- La enfermedad puede estar restringida a:
  - una sola especie o incluso un único cultivar;
  - varias especies de una misma familia,
  - varias plantas que nos están muy relacionadas



Figure 1.4. Common symptoms of plant diseases: A, leaf spot; B, canker; C, wilt.

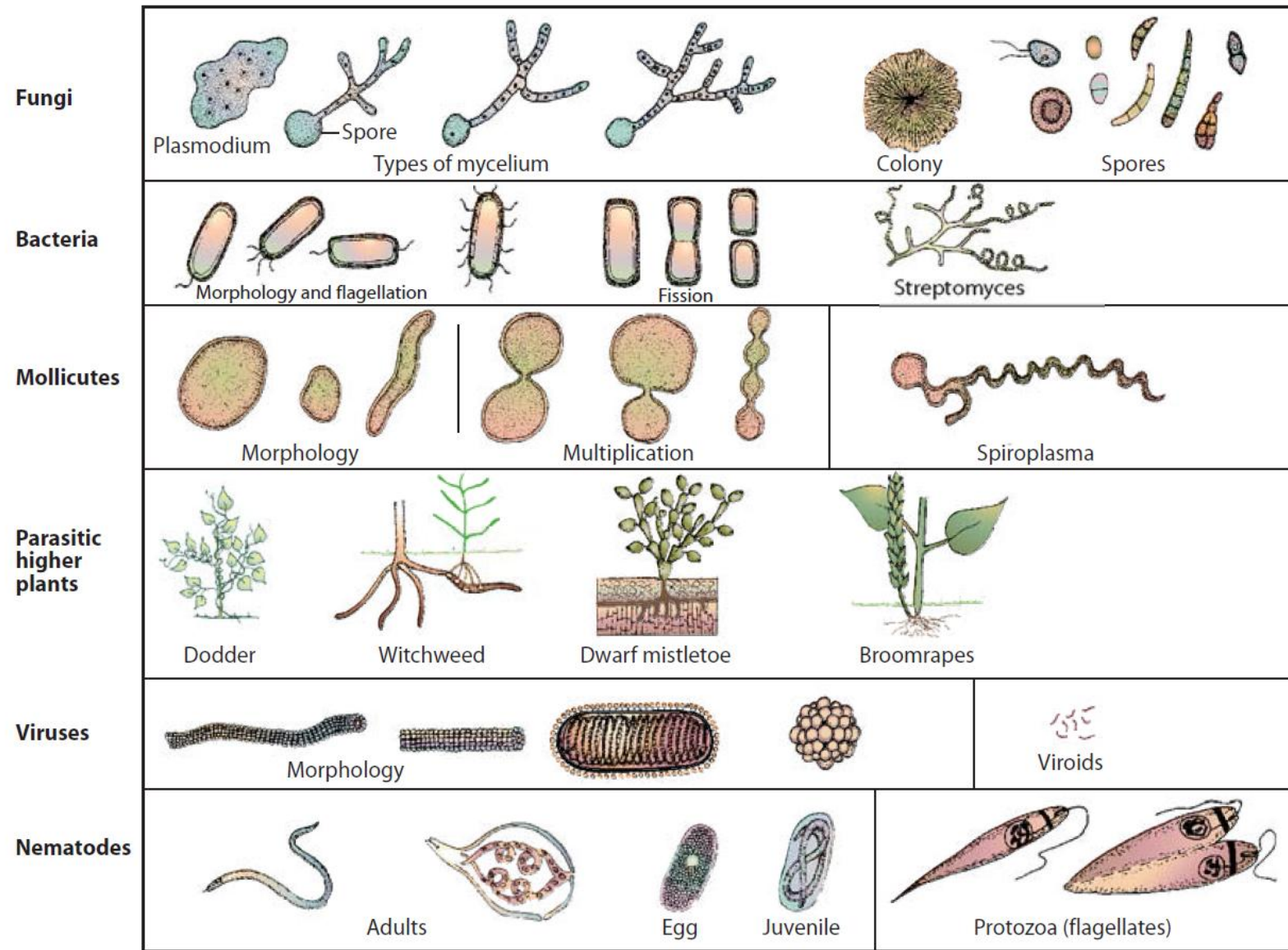
## 2. Patógeno virulento (capaz de causar enfermedad)

- La mayoría de enfermedades de plantas son causadas por parásitos de plantas tales como hongos, bacterias, nematodos, virus e incluso ciertas especies de plantas.
- **Parásito:** obtiene su alimento de otro organismo vivo y le causa daño.
- **Patógeno:** causa enfermedad en el hospedero
- **Factor biótico**
  - Infeccioso
  - Transmisible (Se disemina de planta a planta)
- **Factor abiótico**
  - No infeccioso
  - No transmisible



**FIGURE 1-2** Schematic diagram of the shapes and sizes of certain plant pathogens in relation to a plant cell. Bacteria, mollicutes, and protozoa are not found in nucleated living plant cells.





**FIGURE 1-3** Morphology and ways of multiplication of some of the groups of plant pathogens.

## 2. Patógeno virulento (capaz de causar enfermedad)

- Los patógenos o **factores bióticos** a menudo producen **signos**, que usualmente consisten de:
  - *Estructuras de diseminación*
  - *Estructuras de sobrevivencia*
  - *Tejidos propios del patógeno ó sustancias que se acumulan por su crecimiento*

- Los patógenos o factores bióticos a menudo producen signos, que son evidencia de su presencia y ayudan en el diagnóstico de la enfermedad.
- No hay presencia de signos en las enfermedades (desordenes) causadas por factores abióticos.

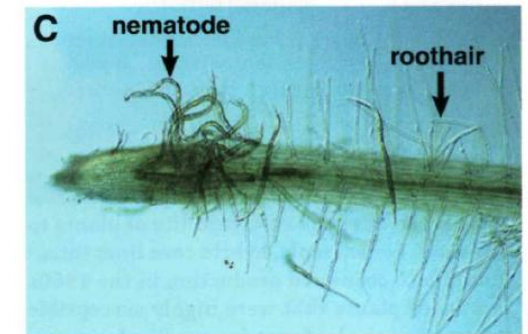
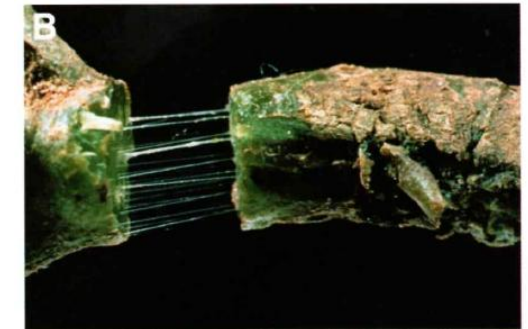
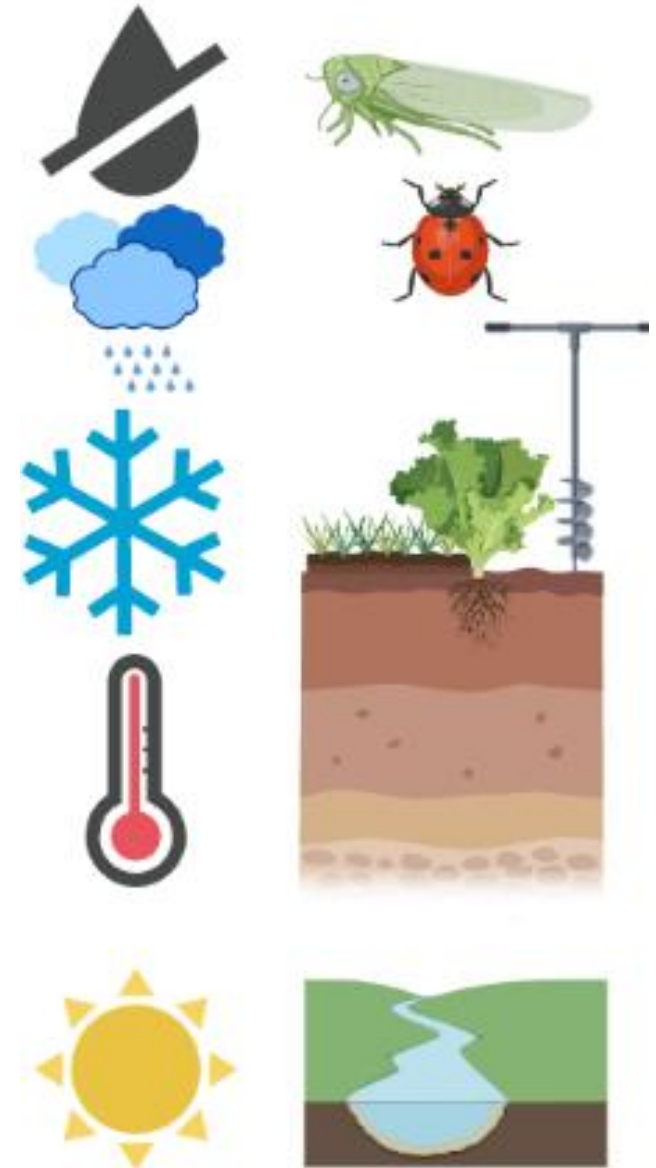


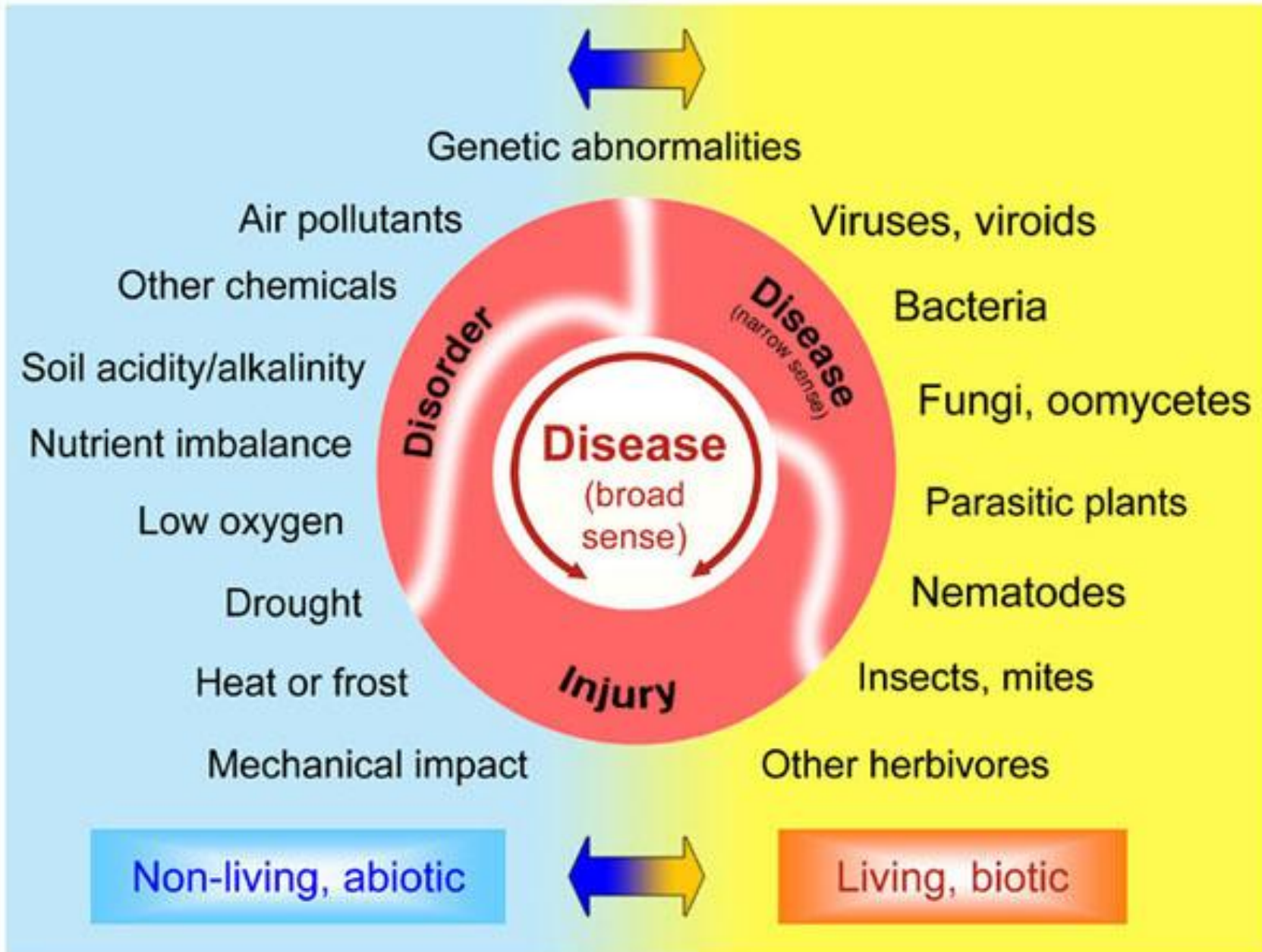
Figure 1.6. Common signs of pathogens: A, mycelium and spores of a powdery mildew fungus; B, bacterial ooze; C, nematodes on a root.



### 3. Ambiente Favorable

- Ampla variedad de factores pueden estar involucrados:
  - Temperatura, Humedad, Lluvia, mojadura foliar, viento intensidad luminosa
  - Factores de suelo: pH, drenaje, textura, fertilización
  - Presencia de vectores, enemigos naturales
  - Arvenses: microclima húmedo, posibles hospederos alternos.
  - Manejo: uso de herbicidas, fungicidas, insecticidas'
  - Practicas culturales: poda, distancia de siembra, rotación de cultivos ó monocultivo, etc.

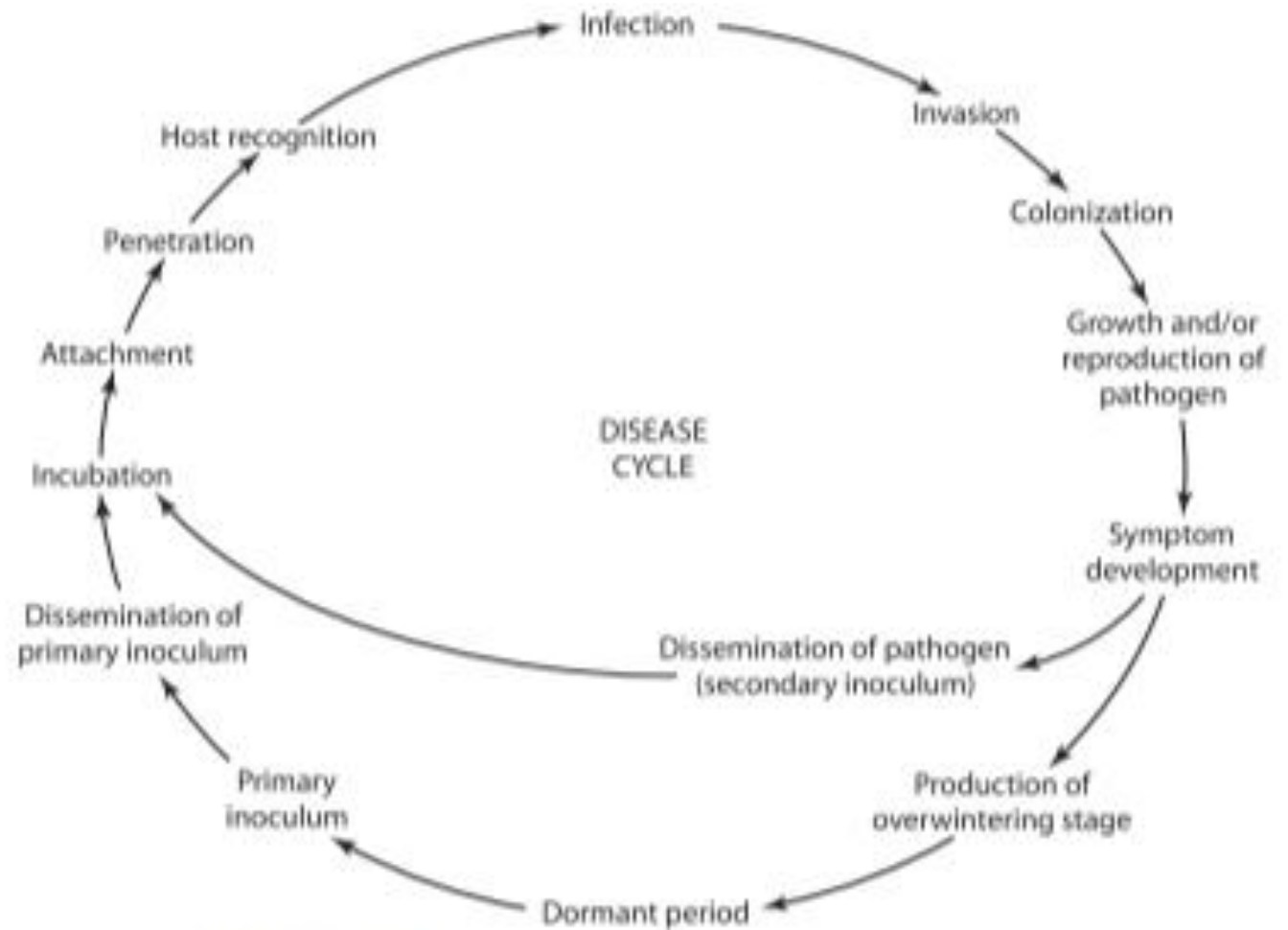




- Recordemos que existe una definición de enfermedad causada específicamente por agentes bióticos (sentido estricto)
- Y teníamos otra definición de enfermedad que incluía las enfermedades abióticas (desordenes), también llamadas enfermedades no infecciosas.
- Existen daños que ocurren rápidamente (instantáneos) y no se consideran dentro del concepto de enfermedad.

# El ciclo de la enfermedad

- La cadena de eventos sucesivos que permiten el desarrollo y perpetuación de la enfermedad y el patógeno (Agrios 2005).



**FIGURE 2-2** Stages in development of a disease cycle.

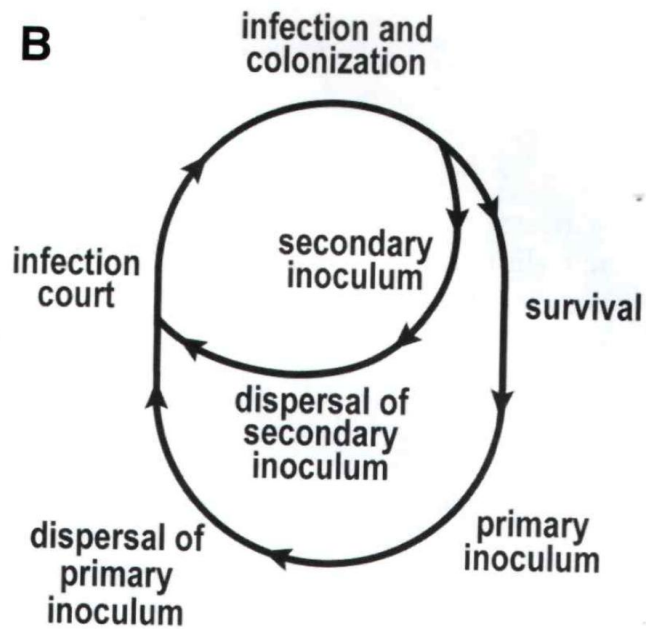
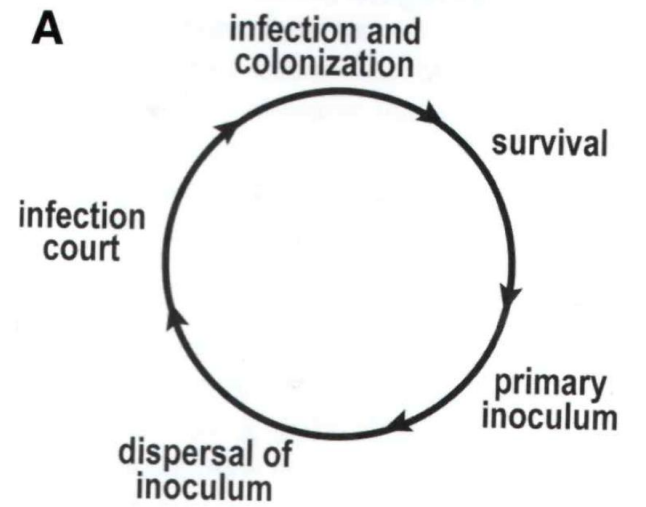


Figure 1.10. A, Monocyclic disease. B, Polycyclic disease.

# El ciclo de la enfermedad

- **Ciclo de la enfermedad:** Describe la interacción entre el patógeno y el hospedero que resulta en una enfermedad, enumerando las etapas sucesivas que se repiten cíclicamente.
- **Inóculo primario:** Estructura o parte del patógeno que inicia la enfermedad (a veces también llamado inóculo inicial).
- **Tejido infectable** (infection court): Solo ciertas partes de la planta pueden ser afectadas por un patógeno en particular.
- **Inóculo secundario:** Si en la planta se produce nuevo inóculo durante que infecta la misma planta, plantas vecinas o plantas distantes **durante el mismo ciclo de cultivo**.
- **Enfermedad monocíclica:** Una única producción de inóculo por ciclo del hospedero.
- **Enfermedad policíclica:** varios ciclos de reproducción del patógeno por ciclo del hospedante.



# Germinación, percepción del hospedero Penetración

- Superficie hidrofóbica, exudados de la semilla o la raíz
- Horas de mojadura foliar
- Penetración directa
  - A través de una hifa fina
  - A través de un apresorio y una clavija de penetración (“penetration peg”)
- Aberturas naturales
- Heridas

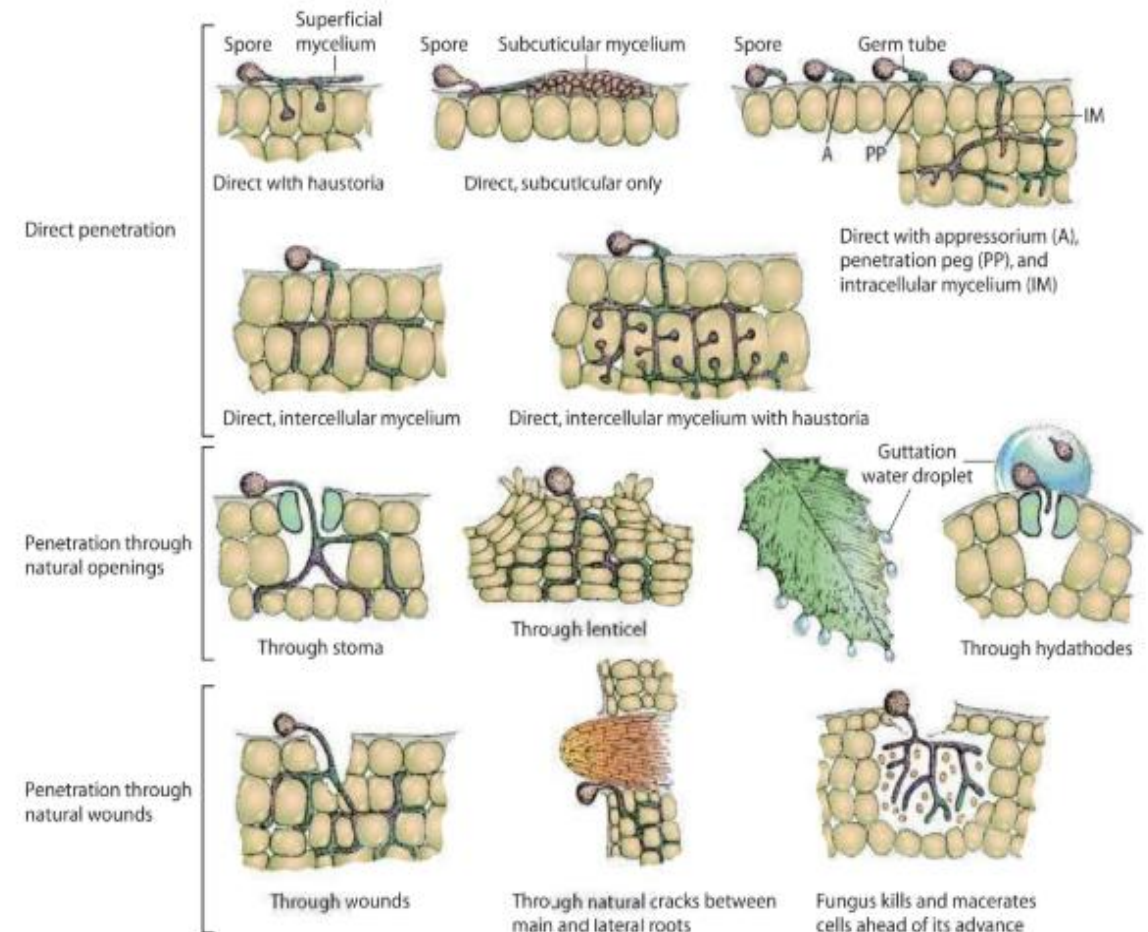
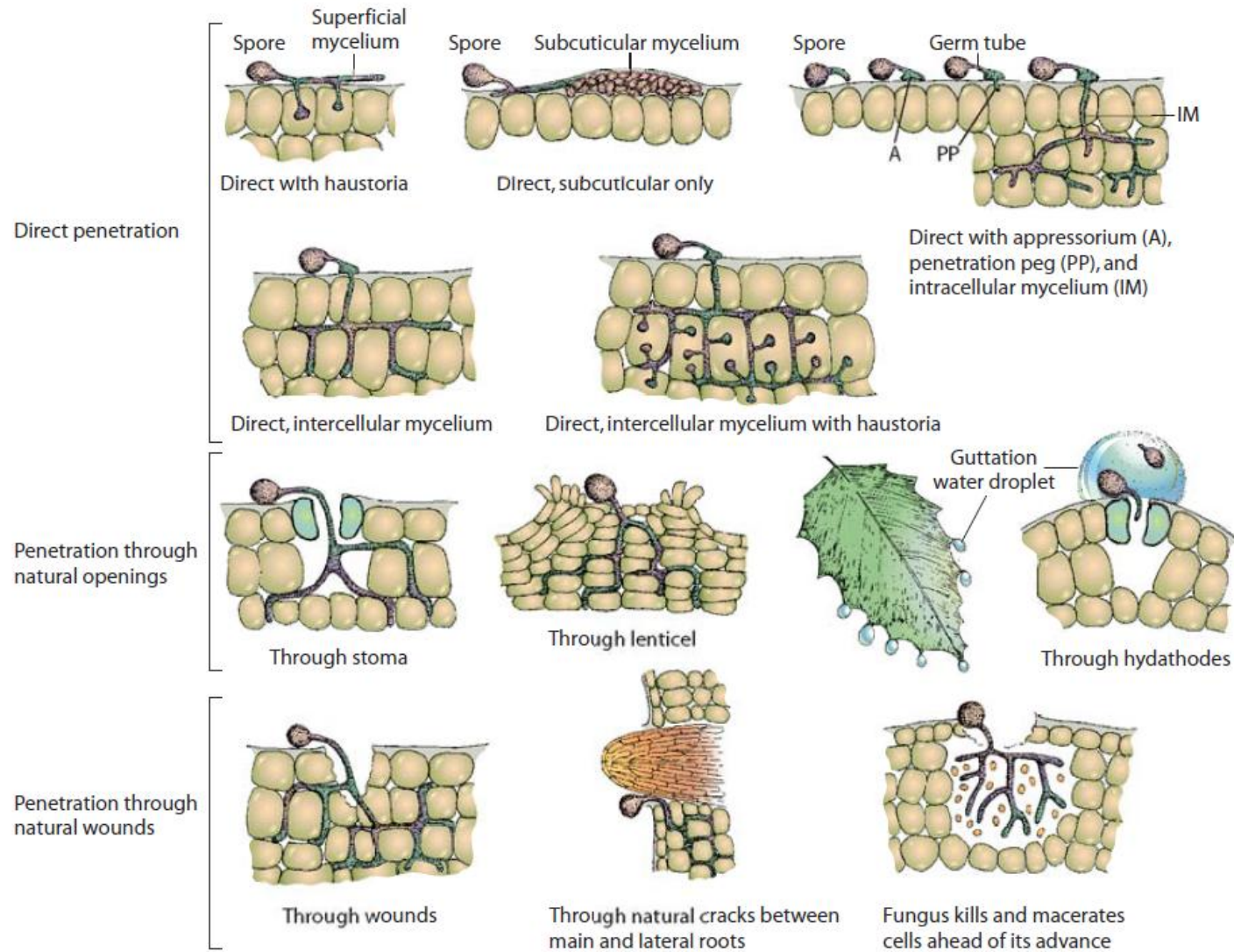
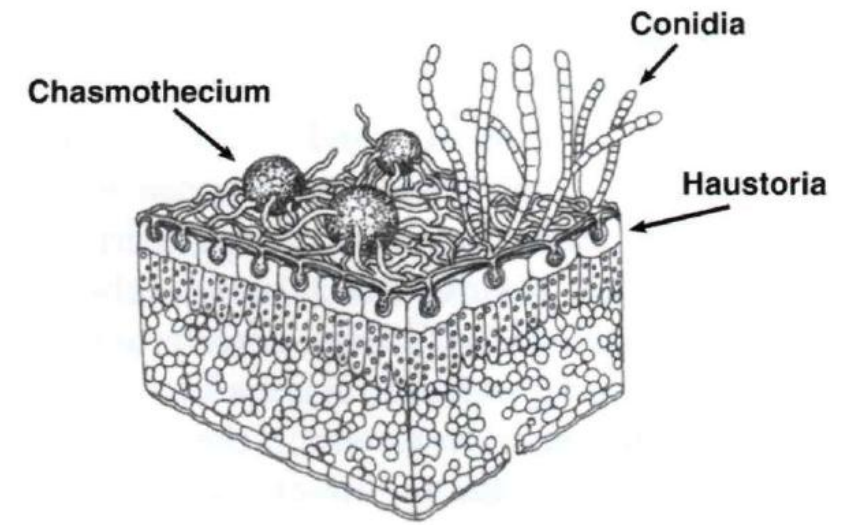


FIGURE 2-5 Methods of penetration and invasion by fungi.





**FIGURE 2-5** Methods of penetration and invasion by fungi.



**Figure 1.7.** A powdery mildew fungus, a biotroph, on a leaf surface.

(Schumann & D'Arcy 2010)

**Haustorios:** estructuras especializadas que permiten absorber nutrientes sin matar la célula del hospedero inmediatamente.

# Establecimiento de una relación compatible

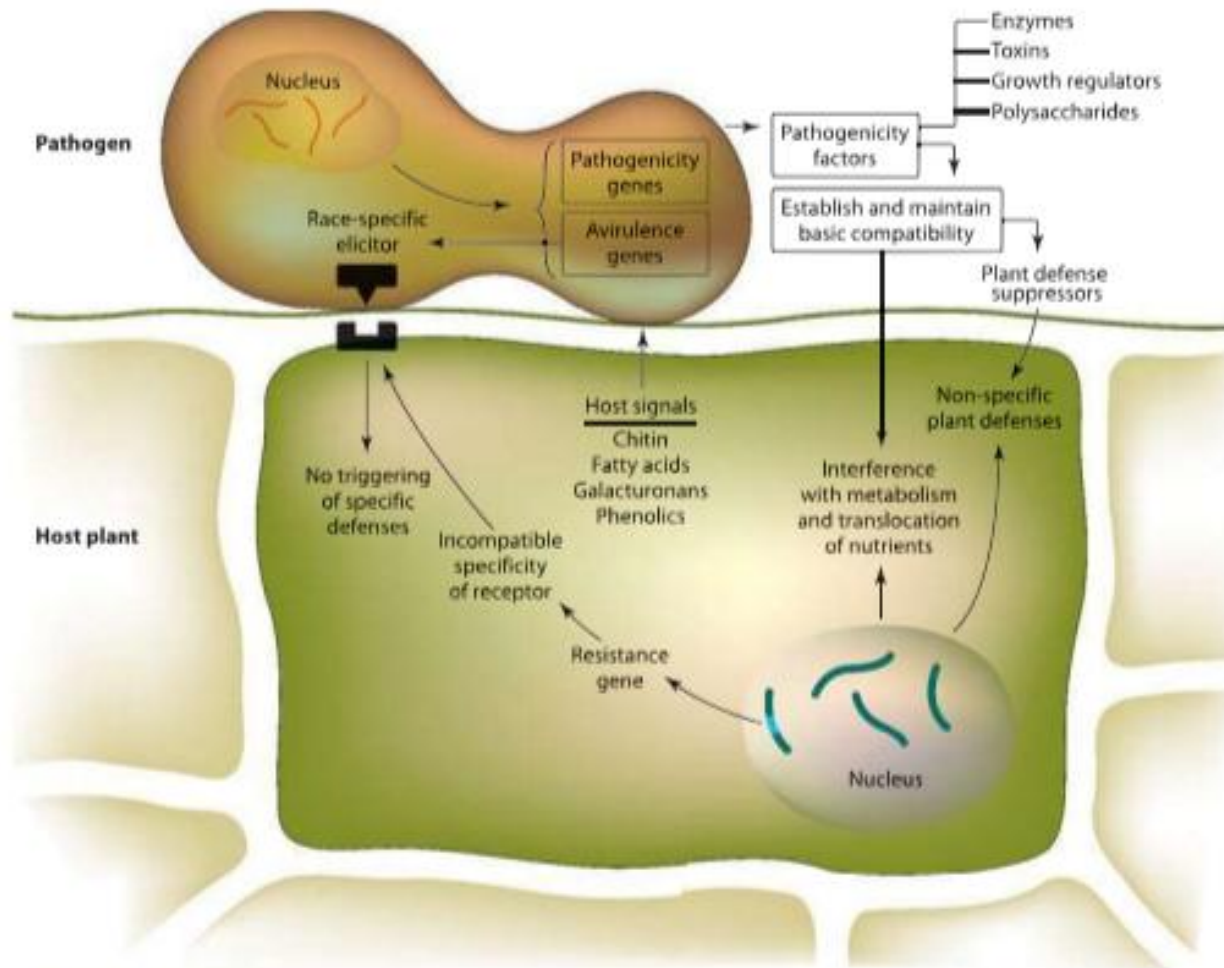
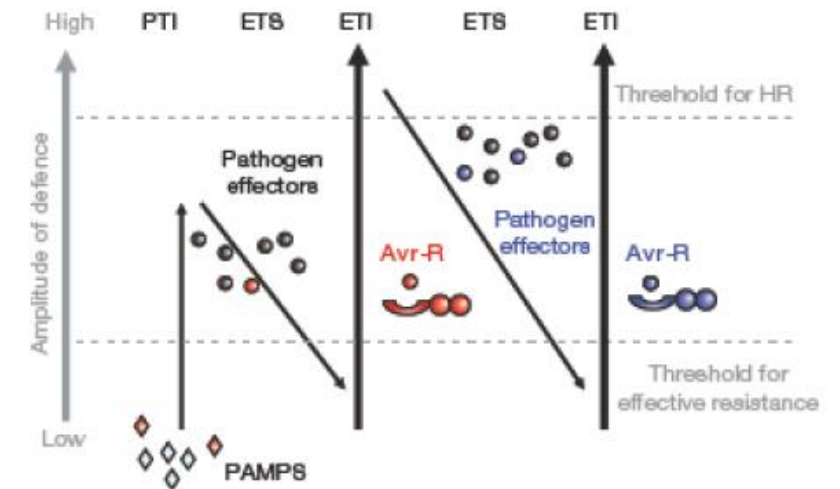


FIGURE 2-6 Establishment of infection in a compatible reaction between a pathogen and its host plant.



**Figure 1 | A zigzag model illustrates the quantitative output of the plant immune system.** In this scheme, the ultimate amplitude of disease resistance or susceptibility is proportional to [PTI – ETS + ETI]. In phase 1, plants detect microbial/pathogen-associated molecular patterns (MAMPs/PAMPs, red diamonds) via PRRs to trigger PAMP-triggered immunity (PTI). In phase 2, successful pathogens deliver effectors that interfere with PTI, or otherwise enable pathogen nutrition and dispersal, resulting in effector-triggered susceptibility (ETS). In phase 3, one effector (indicated in red) is recognized by an NB-LRR protein, activating effector-triggered immunity (ETI), an amplified version of PTI that often passes a threshold for induction of hypersensitive cell death (HR). In phase 4, pathogen isolates are selected that have lost the red effector, and perhaps gained new effectors through horizontal gene flow (in blue)—these can help pathogens to suppress ETI. Selection favours new plant NB-LRR alleles that can recognize one of the newly acquired effectors, resulting again in ETI.

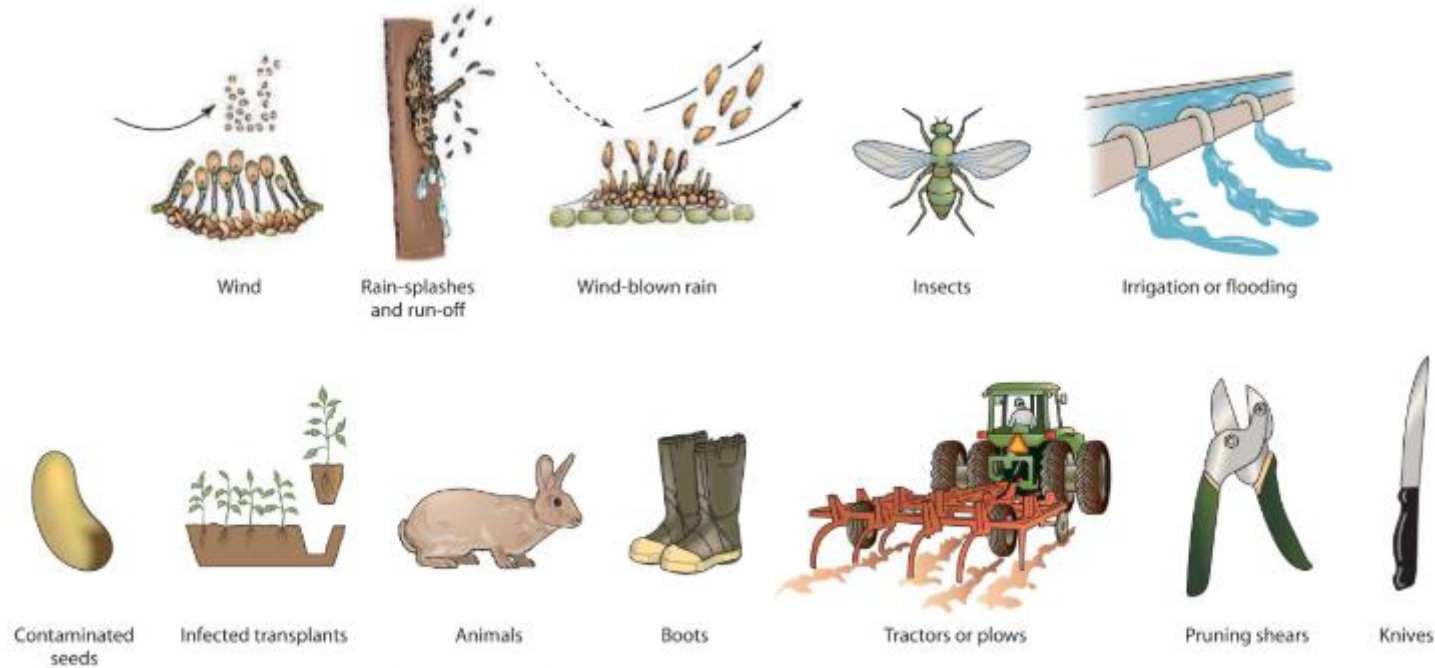
# Infección

- Infección: proceso en el que el patógeno establece contacto con las células susceptibles o tejidos del hospedero y comienza a obtener nutrientes.
- Una vez establecida la infección, el patógeno crece, se multiplica, invade y coloniza otros tejidos.
- Dependiendo del periodo de incubación, la planta comienza a mostrar los síntomas de la enfermedad.



# Diseminación

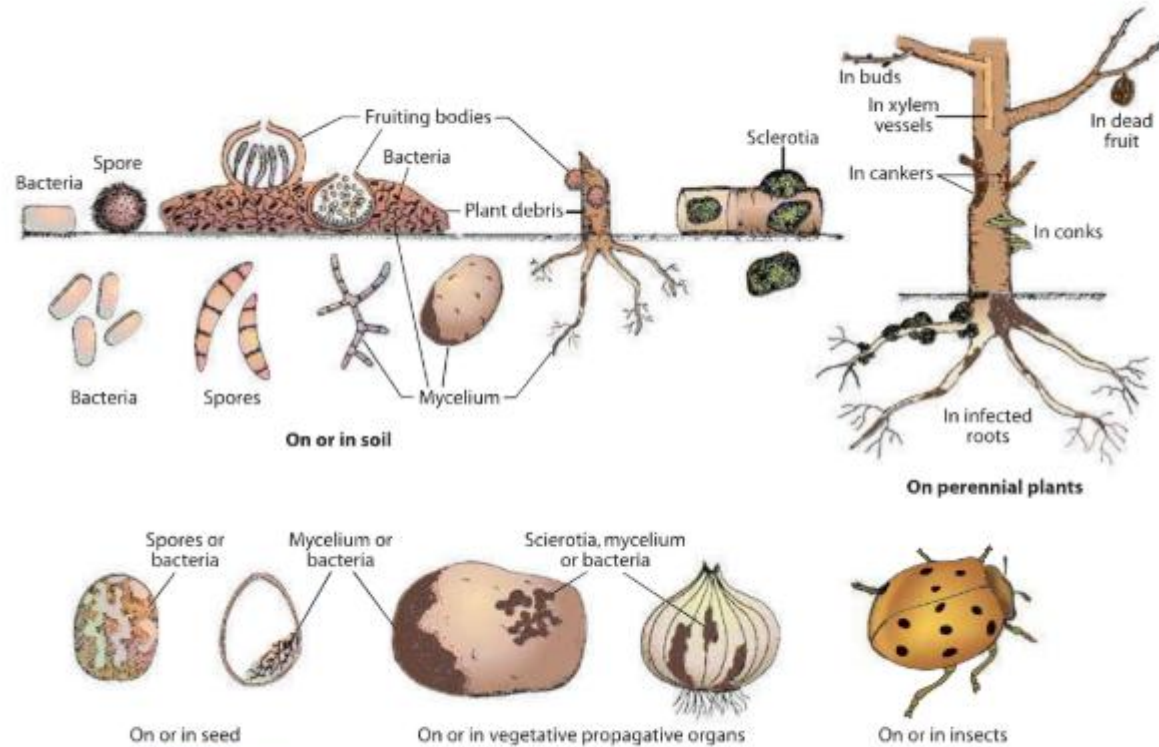
Como ocurre la  
diseminación en el  
patosistema de su  
elección?



**FIGURE 2-15** Means of dissemination of fungi and bacteria.

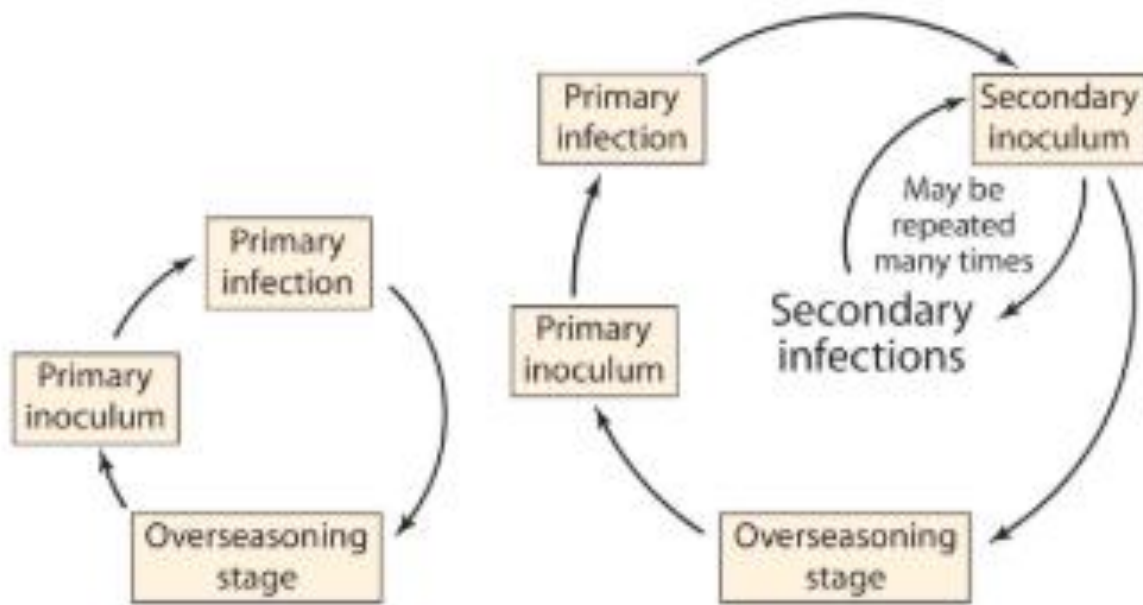
# Sobrevivencia

Que estructuras de sobrevivencia están presentes en el patosistema de su elección?



**FIGURE 2-21** Forms and locations of survival of fungi and bacteria between crops.





**FIGURE 2-22** Diagrams of (left) monocyclic and (right) polycyclic plant diseases. Monocyclic diseases lack secondary inoculum and secondary infections during the same year.

- Su patosistema es policíclico o monocíclico?
- Que es una enfermedad polyetica?

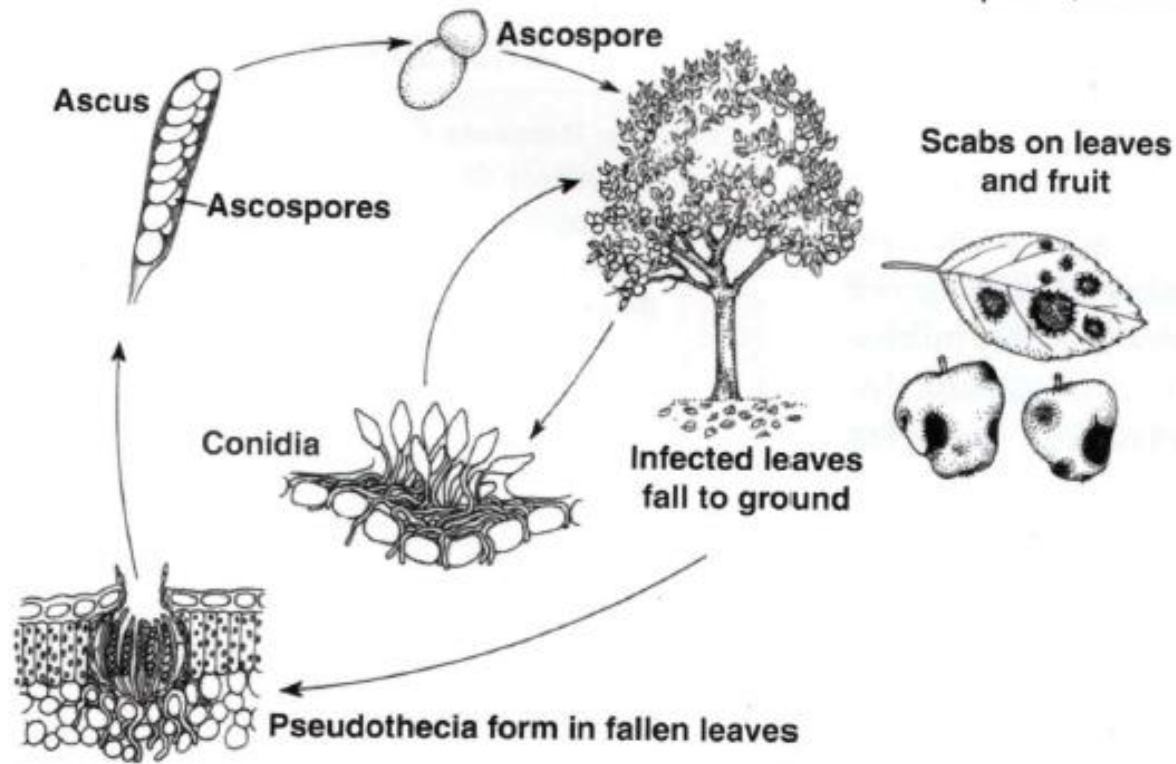
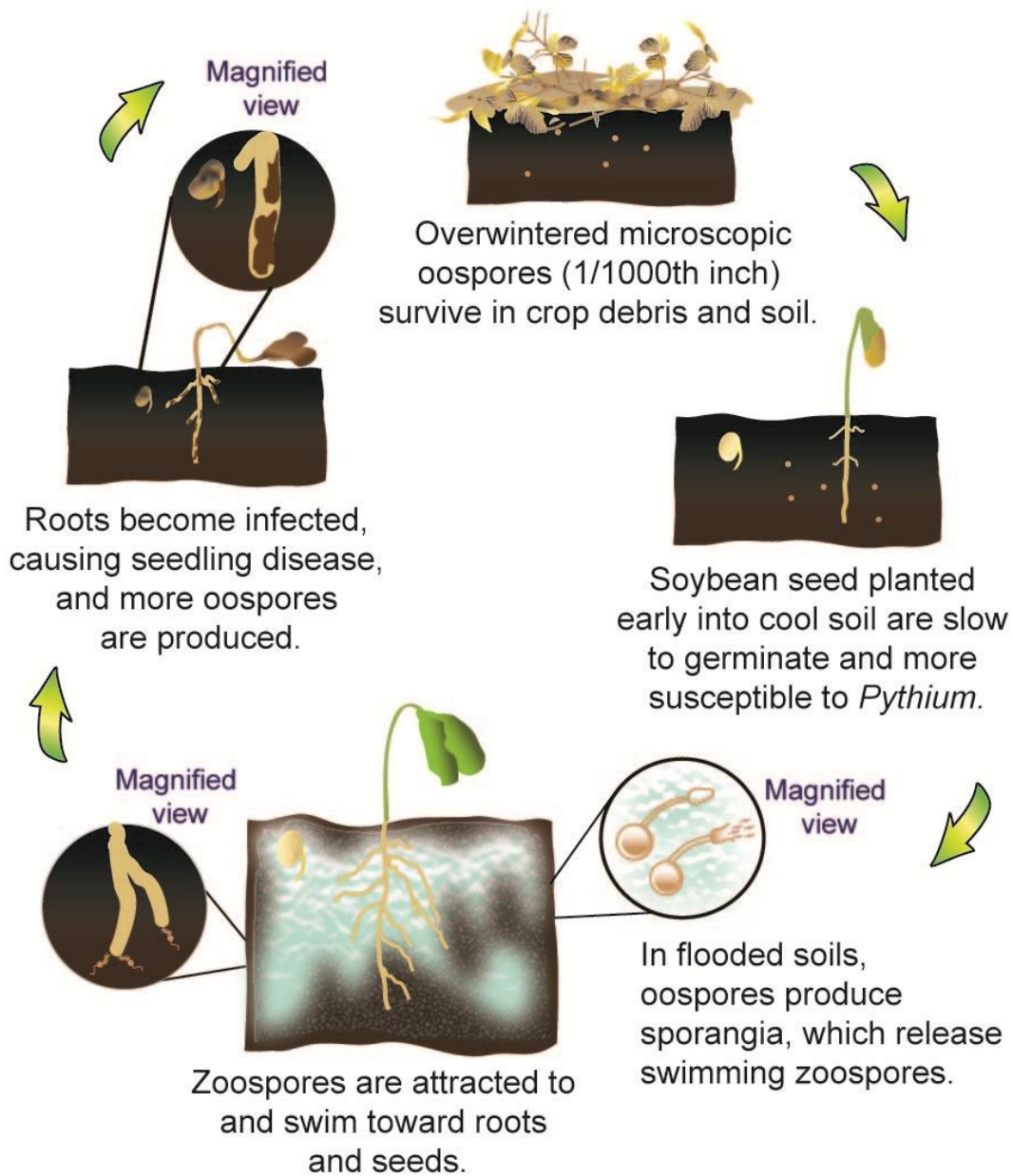


Figure 1.8. Disease cycle of apple scab.

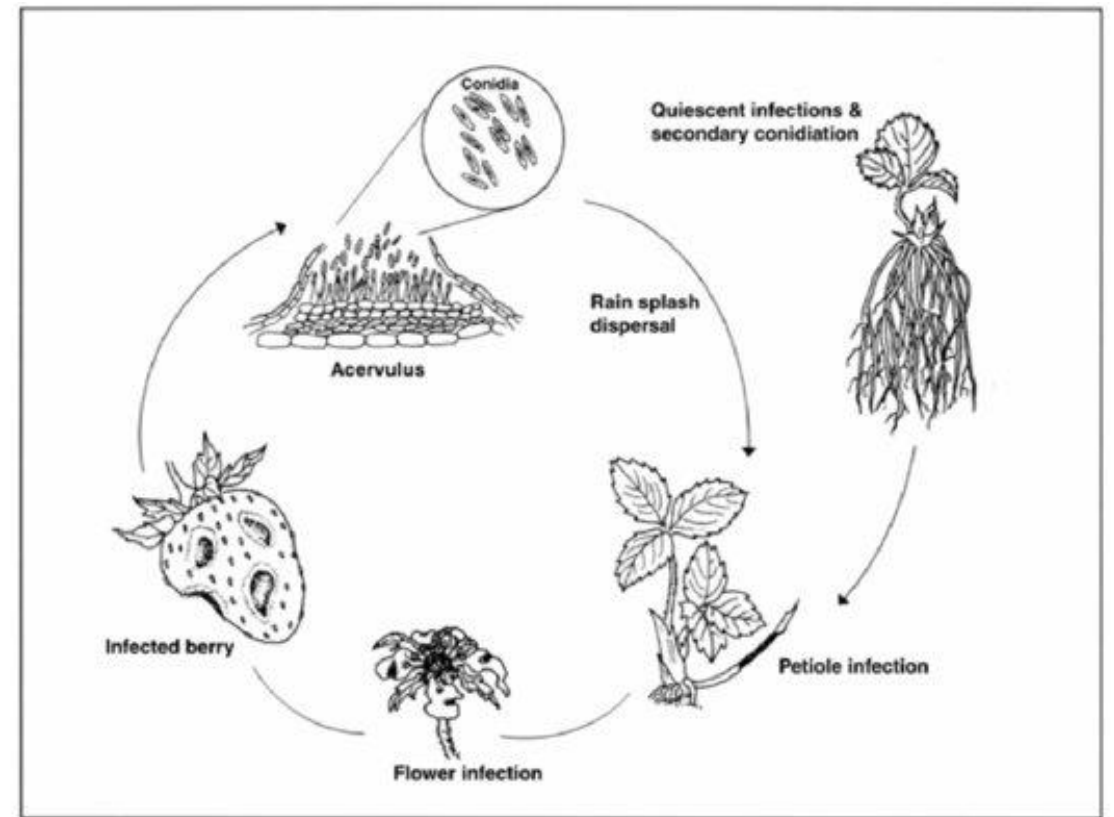
- La costra de la manzana es causada por el hongo ascomycete *Venturia inaequalis*.
- Identifique lo siguiente en la figura:
  - Sobrevivencia
  - Tejido infectable
  - Inóculo primario
  - Inóculo secundario
  - Enfermedad monocíclica o policíclica?
  - Como se dispersa?

- El inóculo secundario producido por bacterias, nemátodos y virus es idéntico al inóculo primario.
- En cambio, para muchos hongos (aunque no todos) las **esporas que inician la infección pueden ser diferentes** de las esporas producidas en infecciones secundarias a lo largo del ciclo del cultivo



Mal del talluelo causado por *Pythium* spp. en soya.

[https://soybeanresearchinfo.com/wp-content/uploads/2019/03/Pythium\\_UW\\_2014.pdf](https://soybeanresearchinfo.com/wp-content/uploads/2019/03/Pythium_UW_2014.pdf)

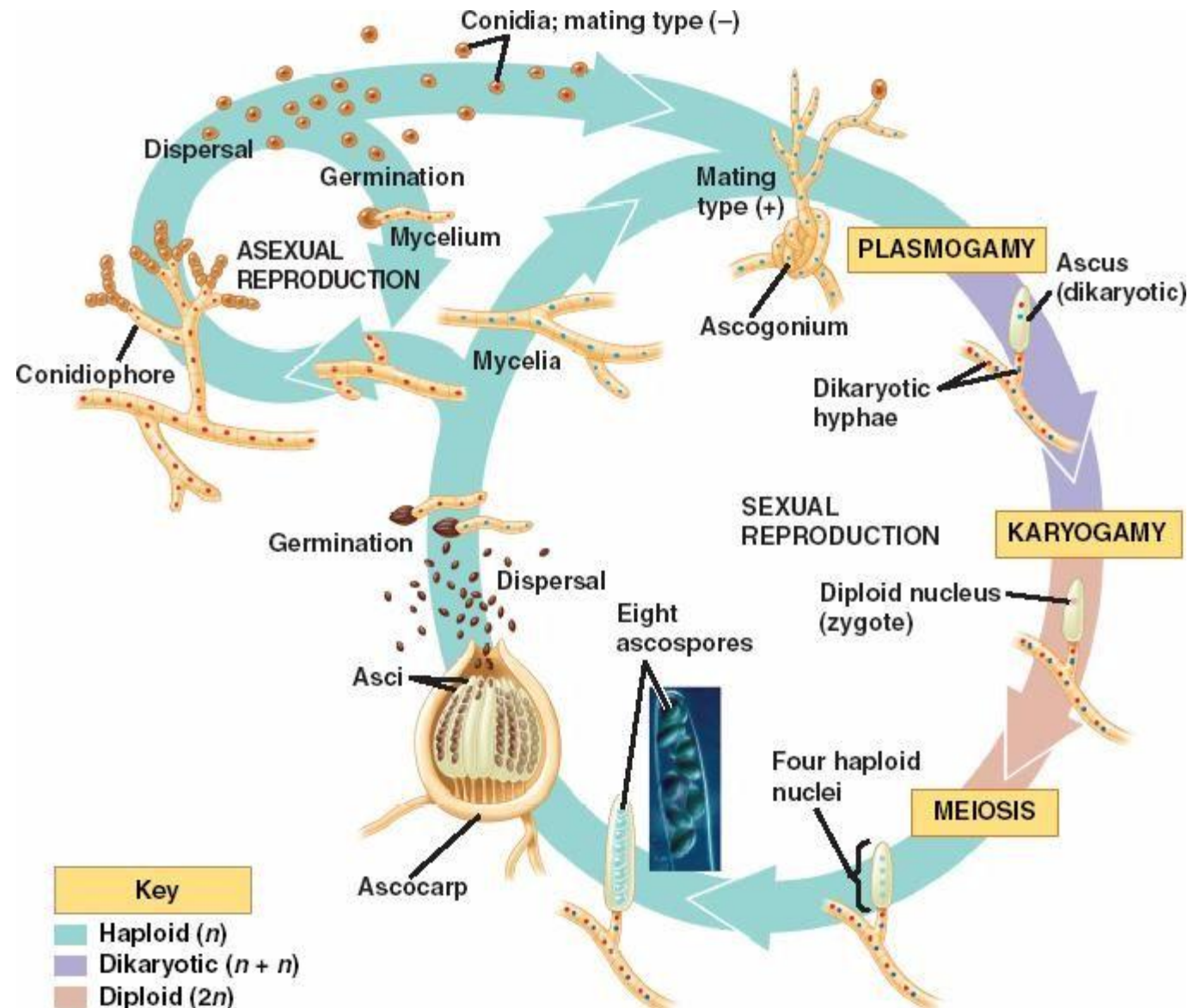


Ciclo de la enfermedad de *Colletotrichum acutatum* en fresa

(Peres et al 2005)



# Ciclo de vida de un Ascomycete



- El **Ciclo de vida** incluye todos detalles de los eventos involucrados en la reproducción del organismo.
- Para efectos de este curso nos vamos a enfocar en el ciclo de enfermedad.

# Como sabemos que un organismo causa una enfermedad?

- Sabemos que los síntomas por si solos **no** nos indican cuál es el agente causal de la enfermedad.
  - Varios agentes causales pueden causar síntomas similares.
- ¿La presencia de signos son prueba irrefutable de que ese organismo es el agente causal de la enfermedad???
  - **No:** podría tratarse de un invasor secundario.
  - ...y además existen diferentes grados de dependencia del hospedero (y que definen el estilo de vida de estos organismos. Veamos:

- **Saprófito:** obtiene nutrientes de materia orgánica en descomposición
- **Parásito facultativo:** son básicamente saprófitos que alternamente pueden actuar como parásitos.
- **Saprófitos facultativos:** están mejor adaptados a la vida parasítica pero pueden sobrevivir como saprófitos si es necesario
- **Parásito obligado:** No pueden completar su ciclo de vida en ausencia del hospedero.



Agallas/ deformaciones  
de raíz y tallo

*Agrobacterium*

nematodos

algunas royas

Enfermedades  
foliares

*Sclerotinia*

antracnosis

manchas foliares

royas, mildius, virus

Enfermedades  
vasculares

Marchiteces

bacterias fastidiosas

Espiroplasmas

Fitoplasmas

Pudriciones y necrosis  
radicales y del  
tallo adulto

pudriciones del tallo

pudriciones radicales

algunos nematodos

Mal del talluelo

*Rhizoctonia*

*Pythium*

Pudriciones de  
órganos de  
almacenamiento,  
frutas y semillas

*Rhizopus, Aspergillus*

*Erwinia* antracnosis

Parásitos  
facultativos

Saprófitos  
facultativos

Parásitos  
obligados

Figura 1.3. Relación entre los niveles de parasitismo y los diferentes tipos de enfermedades.

(Aráuz 2011)

# Tipos de patógenos según su estilo de vida

## Biótrofos

(Parásitos obligados)

- Reducido rango de hospederos
- No pueden crecer como saprófitos
- Atacan tejido vivo, saludable
- Matan las células del hospedero lentamente
- Penetran directamente o mediante aberturas naturales

## Necrótrofos

(Parásitos facultativos y saprófitos facultativos)

- Amplio rango de hospederos
- Pueden crecer como saprófitos
- Atacan tejido joven, débil, ó tejidos senescentes.
- Matan células del hospedero rápidamente mediante la producción de toxinas ó enzimas.
- Penetra mediante heridas o aberturas naturales.

# Diagnóstico: Postulados de Koch



- Recuerdan que habíamos mencionado a Robert Koch?
- En la actualidad muchas de las enfermedades están descritas en la literatura.
  - Comparamos con la literatura pertinente los síntomas y signos observados en nuestra muestra.
- Como establecemos la relación causa – efecto entre una enfermedad y un agente causal???
  - Bien podría ser un invasor secundario ó un saprófito.
  - O podría tratarse de una enfermedad abiótica.

- **Demostración de patogenicidad:** Los postulados de Koch se usan para probar que un organismo asociado con tejido enfermo es el causante de la enfermedad.

# Postulados de Koch

1. El patógeno está **consistentemente asociado** con la enfermedad en las plantas enfermas.
2. El patógeno (si posible) debe ser **aislado** como un cultivo puro y anotar sus características.
3. La enfermedad debe ser reproducida una planta sana **inoculada** con el organismo aislado.
4. El mismo patógeno caracterizado en el paso 2 debe ser aislado (**re-aislamiento**) de la planta inoculada.

# Arauz 2011 Ch14

- Que entendemos por manejo de enfermedades?
- En que se diferencia manejo y combate de enfermedades?
- Que son los principios del manejo de enfermedades?
- Estrategias basadas en conceptos epidemiológicos.
  - Como manejamos el inóculo inicial y su eficiencia?
  - Como disminuimos la tasa de infección a través de la disminución de la tasa de producción de inóculo secundario?
  - Como manejamos el tiempo disponible para que la enfermedad progrese?



# Manejo y combate de enfermedades

- **Manejo de enfermedades** : Es el conjunto de **estrategias** que se llevan a cabo a fin de evitar que las enfermedades causen daño económico.
  - Las **estrategias** están formadas por una serie de **tácticas de combate** que buscan reducir el nivel de enfermedad o su impacto en el rendimiento ó calidad.
- Una estrategia es un plan general para alcanzar un objetivo en particular. Mientras que las medidas específicas de implementar dicha estrategia se denominan tácticas.

# La estrategia debe ser sostenible

- “En una **estrategia sostenible** de manejo de enfermedades, las diferentes tácticas de combate se aplican en **forma integrada**, a fin de lograr un **equilibrio** entre la *rentabilidad*, la *protección del ambiente* y la *salud del ser humano*” (Arauz, 2011).

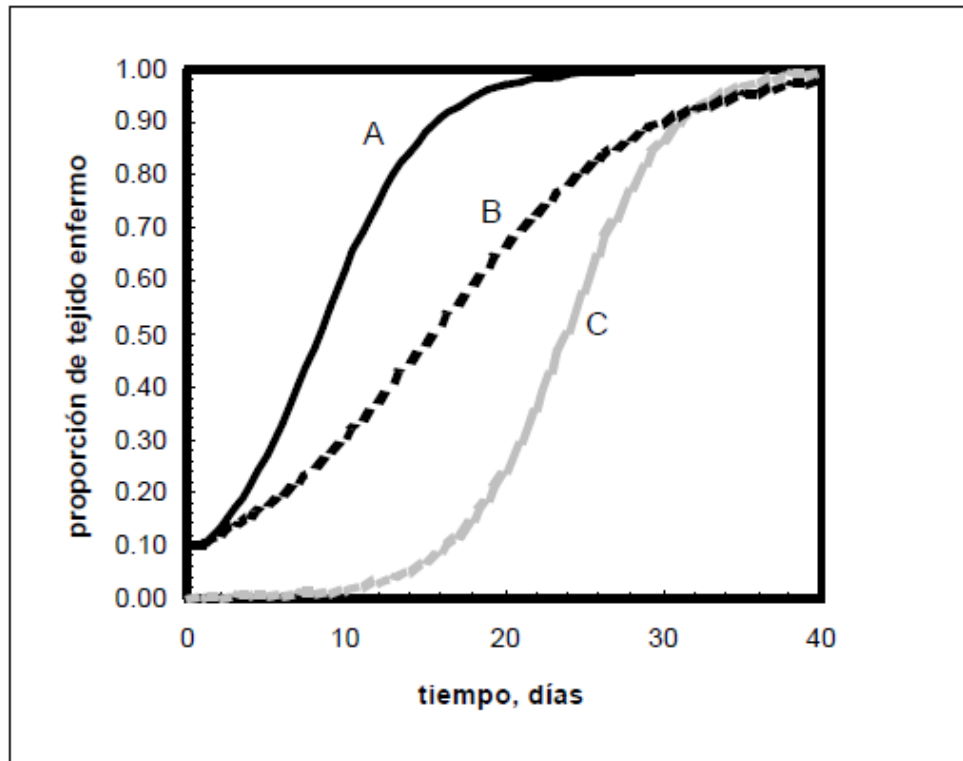


Figura 14.1. Desarrollo de una enfermedad hipotética, y efecto de variar la tasa de infección aparente o el nivel de enfermedad inicial. A: Epidemia original. B: tasa de infección aparente reducida a la mitad. C: nivel de enfermedad inicial reducido 100 veces.

- Estrategias basadas en conceptos epidemiológicos.
  - Como manejamos el tiempo, el inóculo inicial y el inóculo
- En enfermedades monocíclicas:
  - Reducción del inóculo inicial.
  - Reducción de eficiencia del inóculo
- En enfermedades policíclicas:
  - Disminuir la tasa de infección aparente
- Reducir tiempo disponible para que la enfermedad progrese

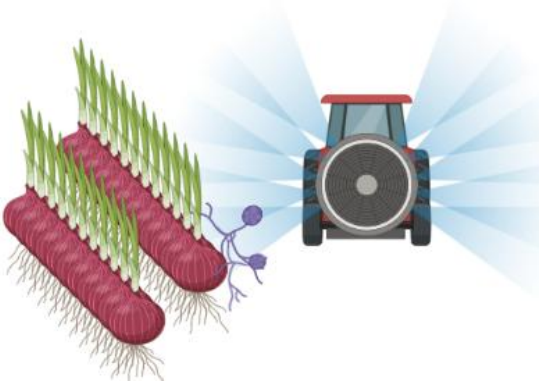
# Tácticas (principios) del manejo de enfermedades

- **Evitación:** Evitar la enfermedad seleccionando una época del año o un sitio en donde hay inóculo del patógeno o en el cual el ambiente no es favorable para la infección.
- **Exclusión:** Prevenir la introducción de inóculo.
- **Erradicación:** Eliminar, destruir o inactivar el inóculo.
- **Protección:** Interponer una barrera física o química que impida la colonización de los tejidos sanos de la planta.
- **Resistencia:** reducir el desarrollo de la enfermedad mediante los mecanismos de defensa de la planta misma.
- **Terapia:** eliminación del patógeno dentro del tejido de la planta sin destruir los tejidos de la planta.

- **Recordemos: Rol de la epidemiología en el manejo de enfermedades:**
  - “La industria química y los fitomejoradores han diseñado sofisticadas armas pero solo la epidemiología puede establecer la estrategia” (Vanderplank, 1963)

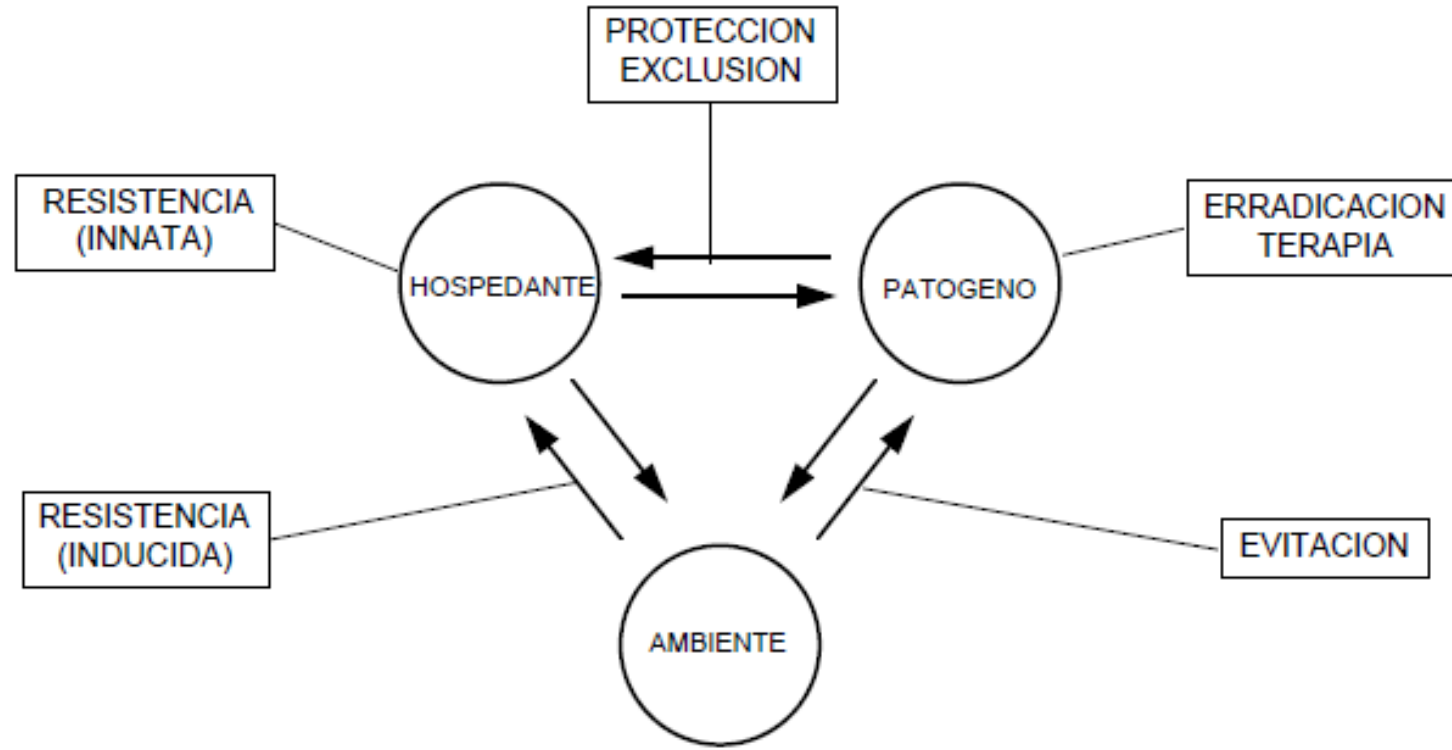
- De forma similar a las metas y objetivos que se pretende alcanzar, la **estrategia y las tácticas tienden a ocurrir en jerarquías.**

- Las tácticas pueden ser ejecutadas de forma perfecta, pero sin una adecuada estrategia que **relacione de forma coherente las diferentes tareas** que se deben realizar no se podrá avanzar en el manejo de la enfermedad.



Ejemplo: Aplicación de fungicidas para controlar la enfermedad y al final del ciclo de cultivo se dejan residuos de cosecha que aumentan los niveles inóculo.



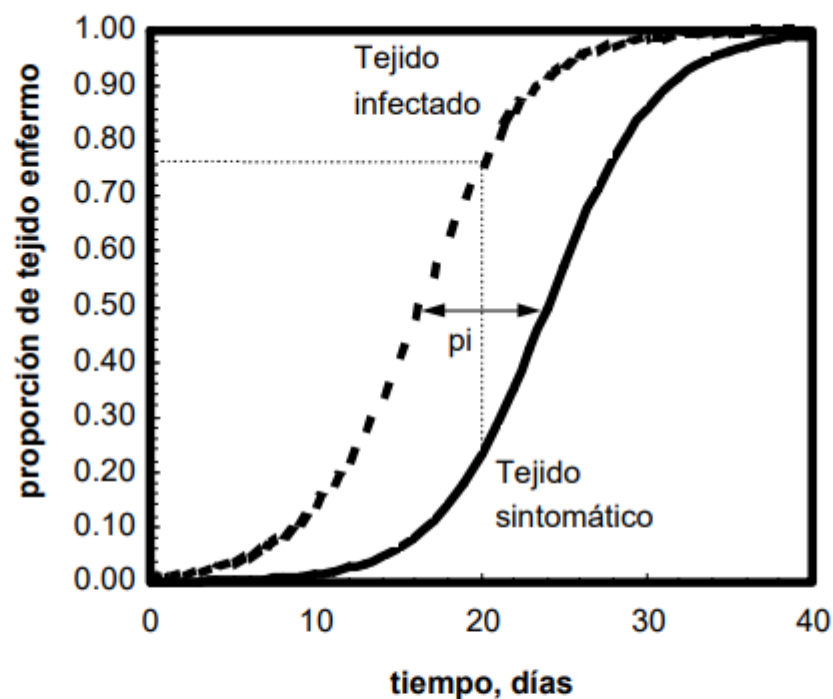


**Figura 14.2. Tácticas de manejo de enfermedades en las plantas y su relación con el triángulo de enfermedad.**

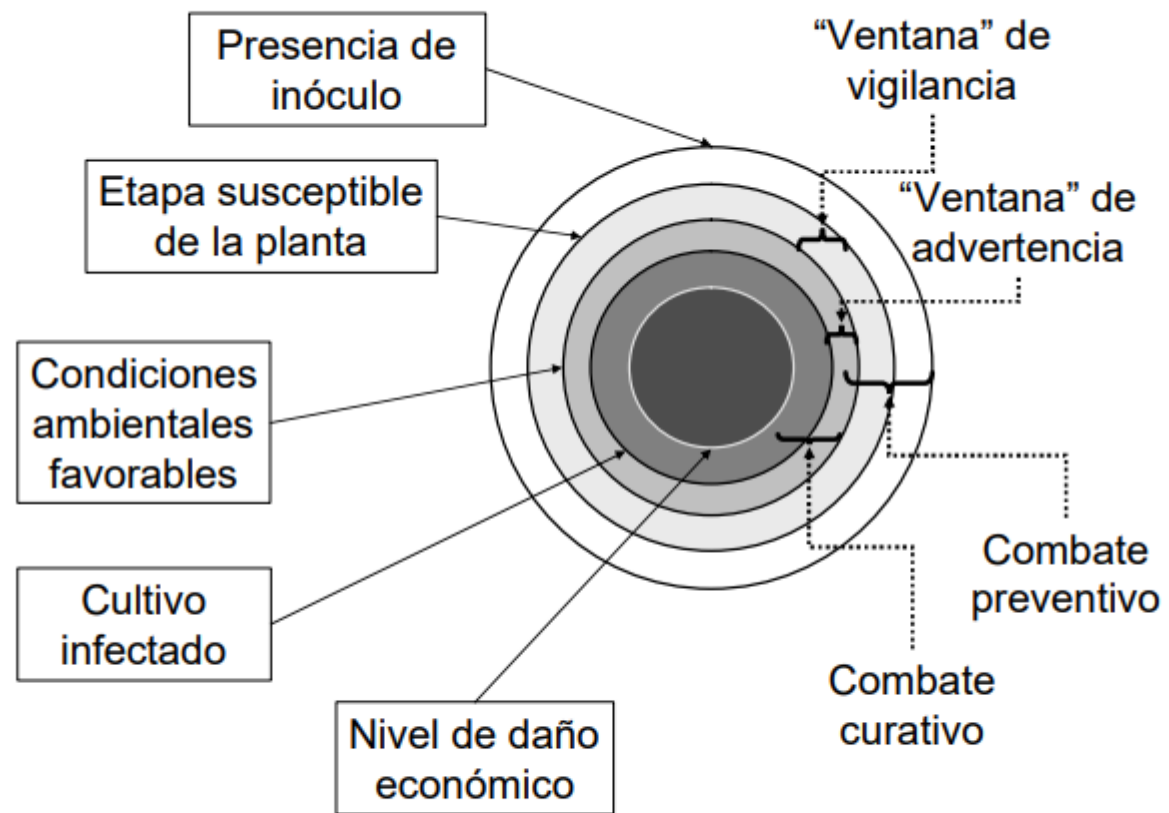
(Arauz, 2011)

# Métodos de Combate

- **Métodos de combate:** son técnicas o métodos para combatir la enfermedad.
- **Combate por resistencia:** uso de plantas resistentes o tolerantes
- **Combate químico:** aplicación de productos químicos, sintéticos o naturales.
- **Combate cultural:** modificación de las prácticas de cultivo.
- **Combate físico:** mediante tratamientos físicos como frío, calor o radiación.
- **Combate biológico:** uso de organismos.
- **Combate legal:** aplicación de leyes y reglamentos fitosanitarios



**Figura 14.3.** Efecto del período de incubación ( $p_i$ ) en la estimación visual del nivel de infección. En este caso un 20% de enfermedad visible corresponde con casi un 80% de tejido enfermo total (sintomático y asintomático). El período de incubación es de aproximadamente ocho días. En estas condiciones la aplicación de una medida de combate con base en la estimación visual podría resultar demasiado tardía.



**Figura 14.4. Elementos que deben considerarse en la decisión de combatir una enfermedad. Ver explicación en el texto.**

# Aplicaciones de los principios del manejo de enfermedades (Ploetz 2015).

- FOTR4 afecta cultivares susceptibles a raza 1 y raza 2
- Epidemiología
  - FOTR4 se considera policíclica
  - Diseminación
  - Sobrevivencia
- Cuarentena y exclusión
- Biocontrol
- Control químico
  - Fungicidas
  - Fumigantes
- Control cultural
  - Control físico
  - Enmiendas de suelo
  - Suelos supresivos
- Resistencia



3.3.5.2. *Products from conventional breeding programs.* The first banana breeding program, which began in Trinidad in 1922, was succeeded by several others ([Ortiz, 2013](#)). Each of the breeding programs has faced enormous challenges. Primitive diploids that have been used as parents by the breeding programs usually have very poor agronomic and fruit traits, and introgression of disease resistances that they possess into advanced lines can take several generations. The polyploid nature of the crop; long generation times from planting to seed production; the large size of this plant and the corresponding need for large areas for hybrid evaluation; genetic abnormalities that exist in many parental lines; the need for final products to be parthenocarpic and sterile; and the low fertility of cultivars that need improvement are additional hurdles that impede progress ([Lorenzen et al., 2013](#); [Ortiz, 2013](#)).