



Protección Vegetal III



Epidemiología

Prof.^a Miriam Brito

Aspectos a considerar en el estudio de una Enfermedad

Sintomatología

Etiología

Patogénesis

Epidemiología

Control



Estudio de la forma cómo los patógenos causan enfermedades en las plantas y los factores que determinan su dispersión. (Dickinson y Lucas, 1987)

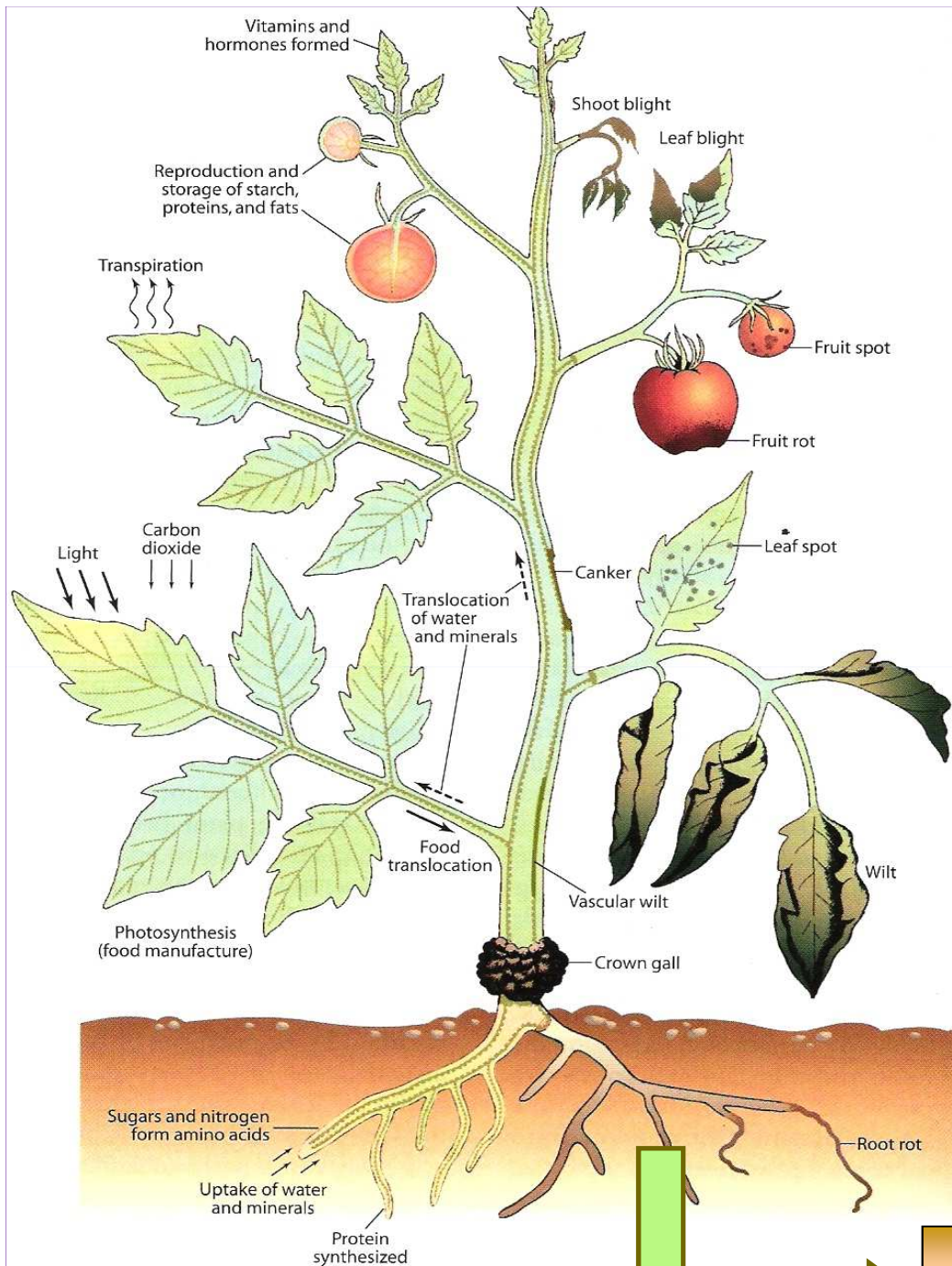
Estudio de los factores que afectan el desarrollo de las enfermedades en poblaciones de plantas a través del tiempo. (Rivera, 1999)

Dinámica de la enfermedad en cualquier población de plantas, independientemente de la severidad del ataque y rapidez con que se desarrolle la enfermedad. (Fry, 2002)

Estudio de la epidemia (epifitía) de las plantas y los factores que influyen sobre ellas. (Agrios, 2005)

Objetivos

- * **Analizar los factores que intervienen en el desarrollo de la enfermedad en poblaciones de planta.**
- * **Conocer los patrones de desarrollo de la enfermedad en tiempo y espacio.**
- * **Estimar futuras enfermedades y cuantificar sus pérdidas.**
- * **Pronosticar las estrategias de control.**



(Agrios, 2005)

Epidemiología



Cuantitativa

J.E Van der Plank, 1963

Poblaciones de plantas

Hospedante

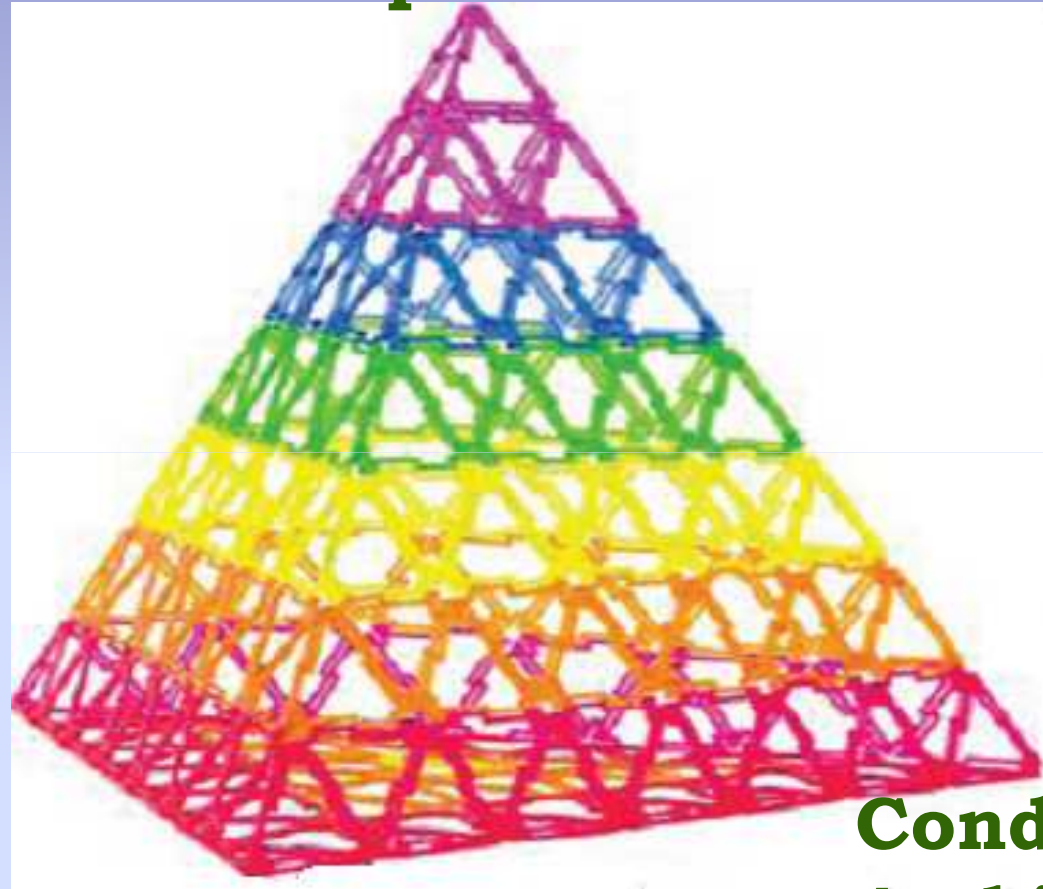
ENFERMEDAD

Patógeno

**Condiciones
Ambientales**



Hospedante



Patógeno

Tiempo

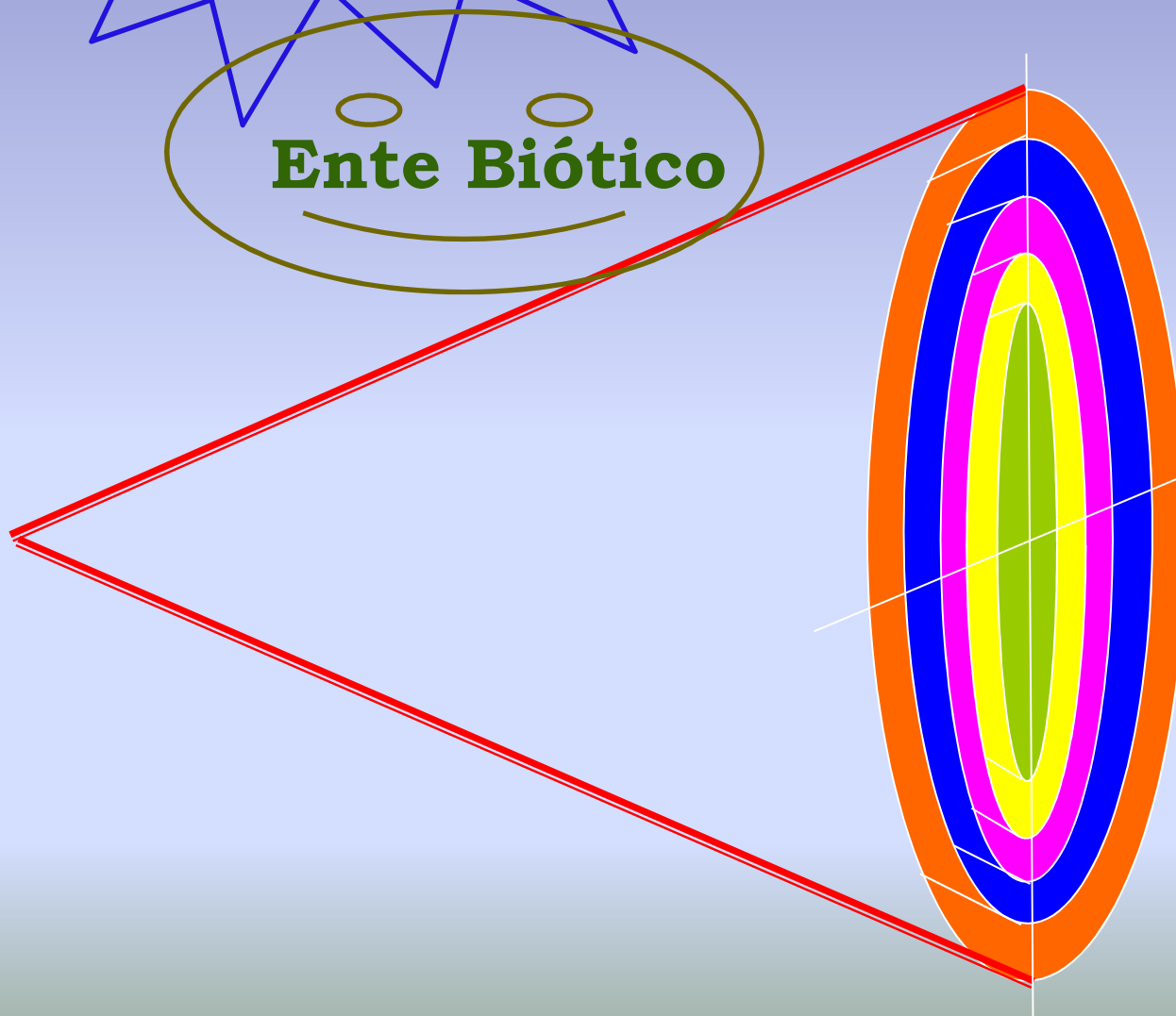
**Condiciones
Ambientales**

Condiciones Ambientales

Patógeno - Hospedante

Ente Biótico

**Tiempo
Espacio**

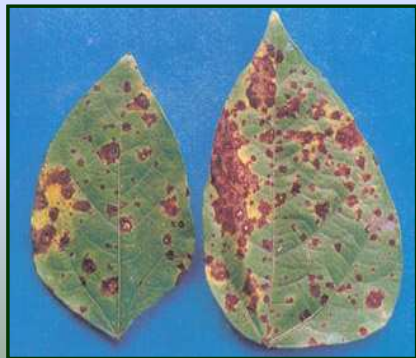
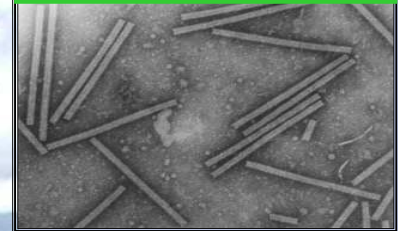
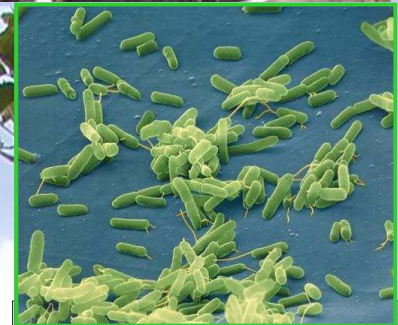
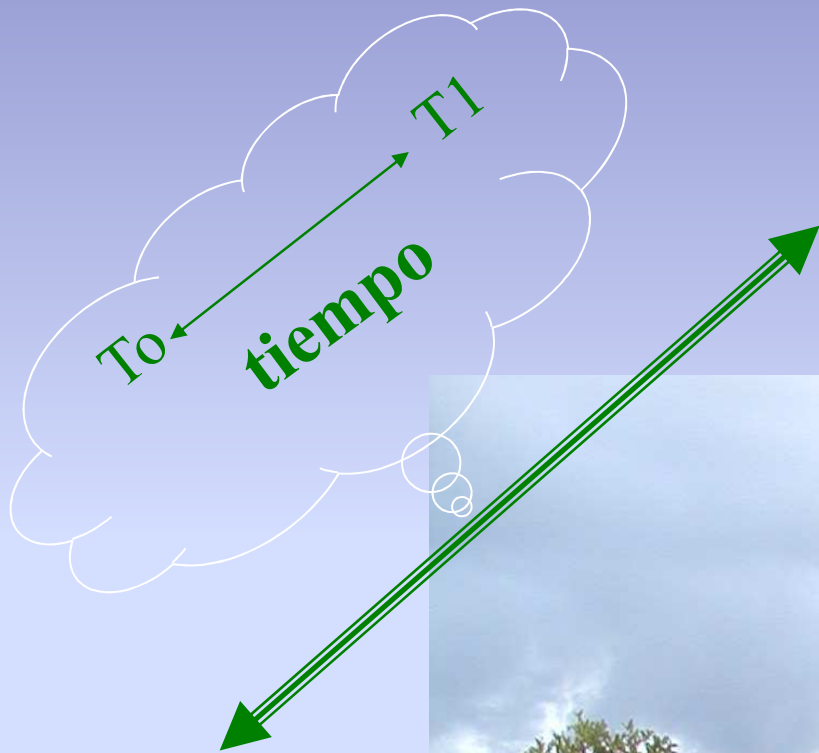


Ciclo de la enfermedad

Serie de etapas sucesivas que se repiten cíclicamente.

- ❖ **Ciclos de reproducción del inóculo (patógeno)**
- ❖ **Ciclos de reproducción del hospedante**
- ❖ **Condiciones ambientales**
- ❖ **Tiempo y Espacio**

Epidemiología



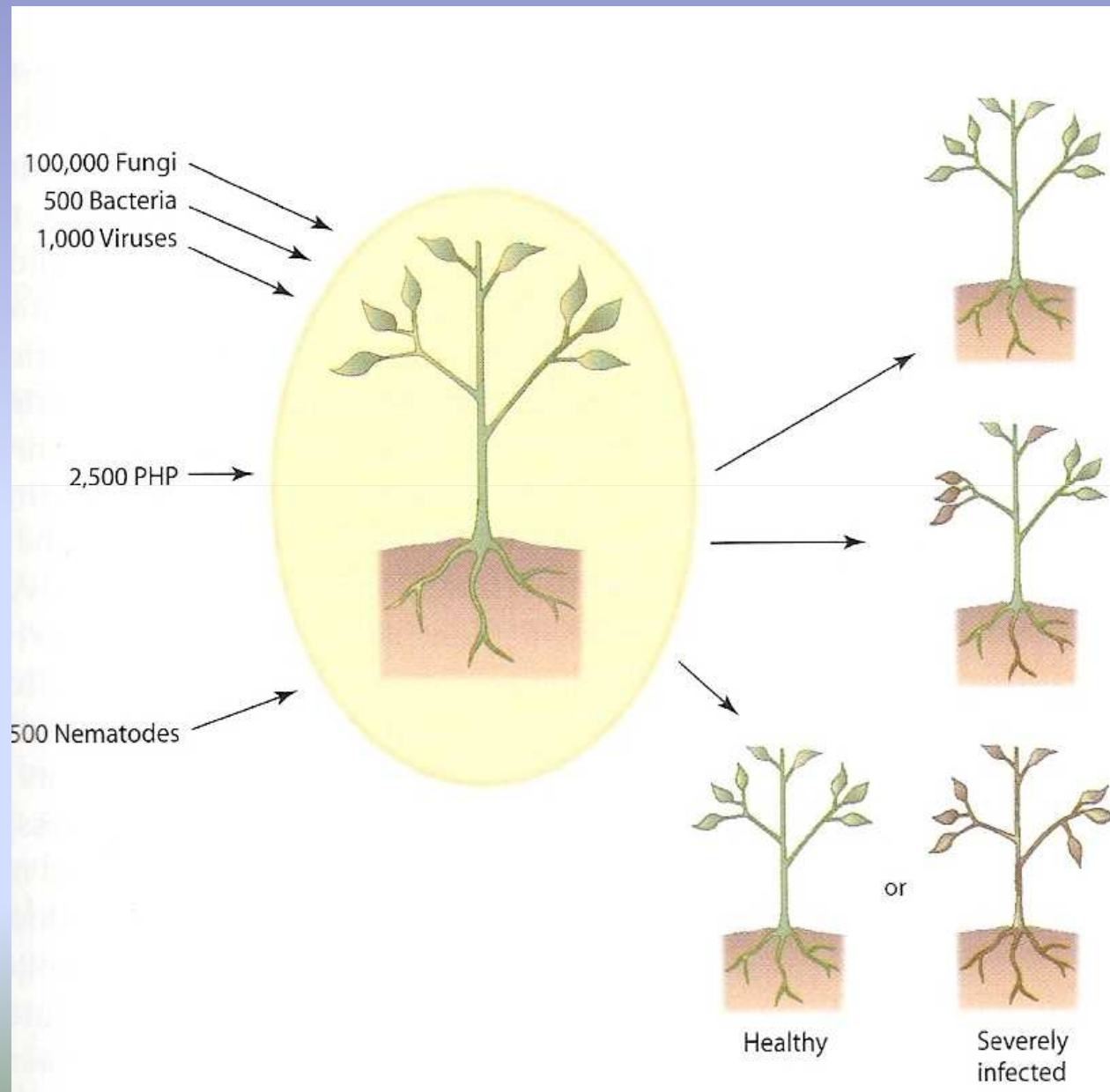
Factores que intervienen en el desarrollo de una Epidemia

“Debe haber coincidencia oportuna”

- ✓ **Hospedante susceptible**
- ✓ **Patógeno virulento**
- ✓ **Condiciones ambientales favorables**
- ✓ **Período prolongado en tiempo y espacio.**
- ✓ **“Intervención de entes bióticos”**

HOSPEDANTE

Monitoreo



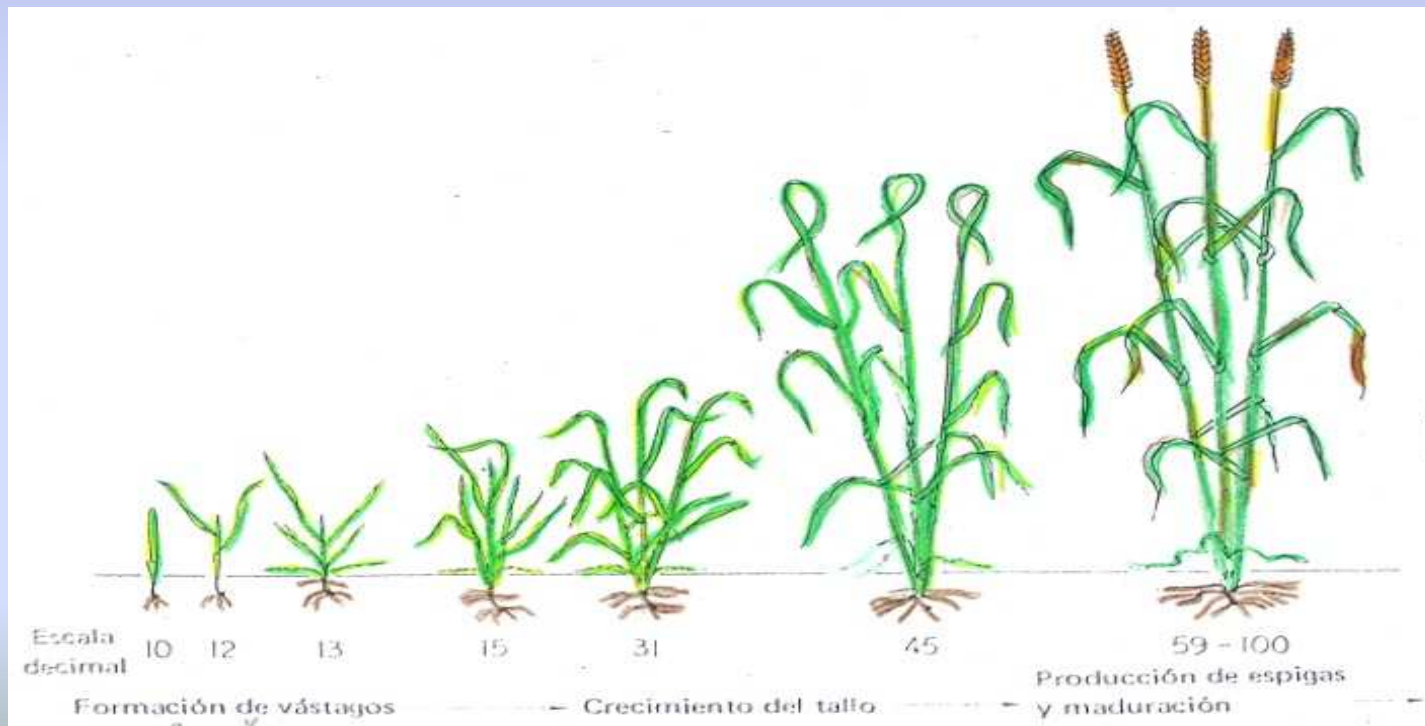
Resistencia (Reacción)

- Poligénica
- Monogénica

HOSPEDANTE

☆ Características fisiológicas

- Edad de las plantas



HOSPEDANTE

☆ Características fisiológicas

*Prácticas agronómicas

Riego
Fertilización
Plaguicidas
Poda
Transplante
Sequía
Inundaciones

☆ Estado fenológico

HOSPEDANTE

☆ Tipo de cultivo

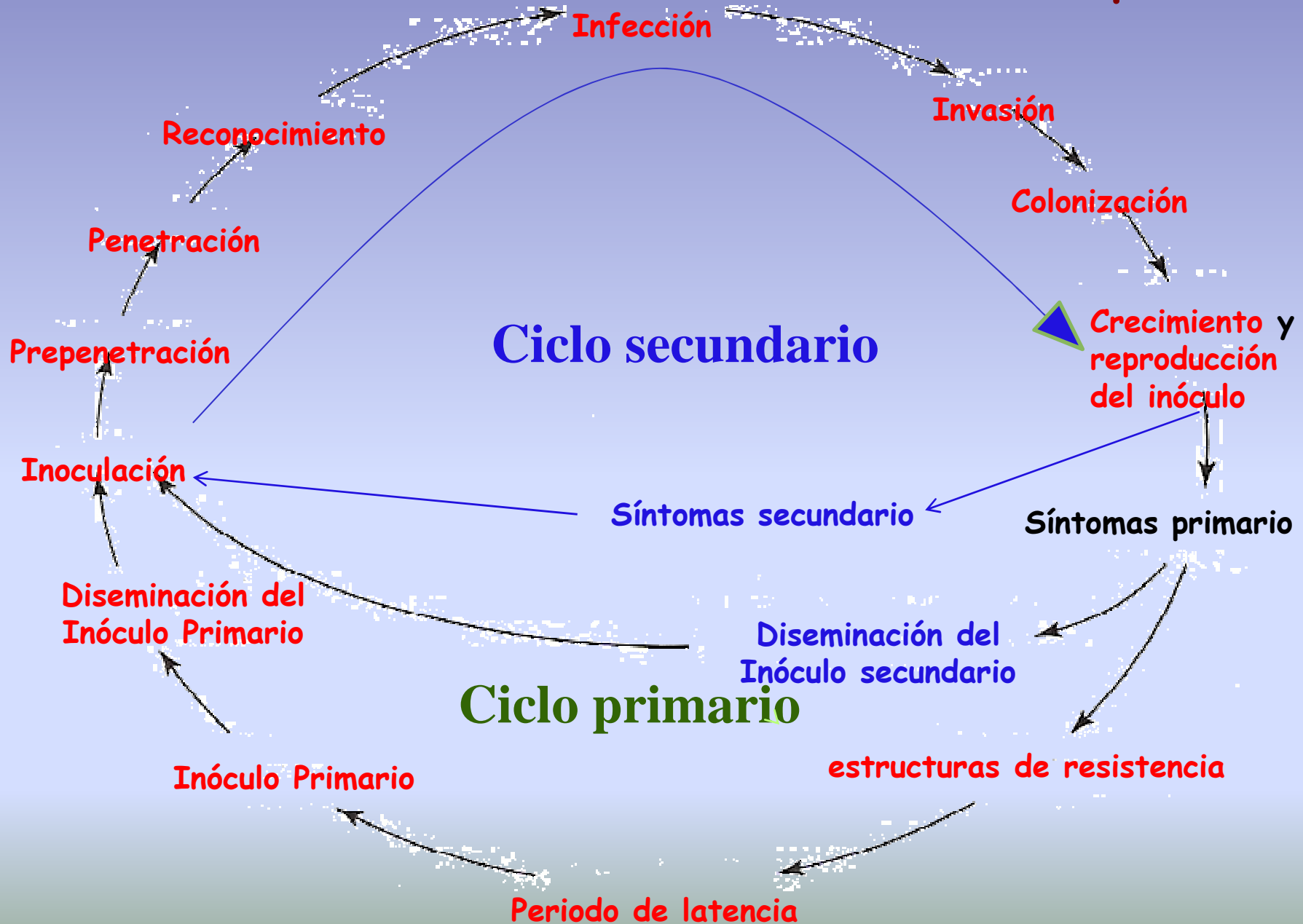


☆ Densidad de siembra

2.- Patógeno.

- a. Nivel de variabilidad. Razas**
- b. Cantidad y presión de inóculo (aire, suelo, agua, vectores)**
- c. Modo de perpetuación y vehículos de diseminación**
- e. Ciclo de infección:
Enfermedades Monociclica o Policiclica**

FASES EN EL DESARROLLO DE UNA ENFERMEDAD. Ciclo primario



Sobrevivencia/Resistencia

HONGOS

- **Esclerocios**
- **Rhizomorfos**
- **Clamidosporas**
- **Peritecios**
- **Teliosporas**
- **Oosporas**

Sobrevivencia/Resistencia

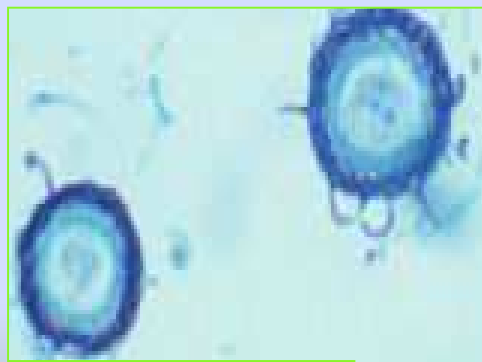
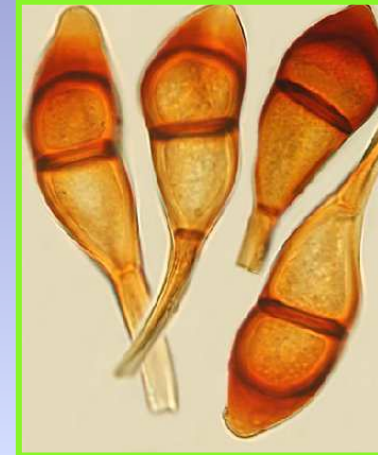
Esclerocios



Clamidosporas



Teliosporas



Oosporas



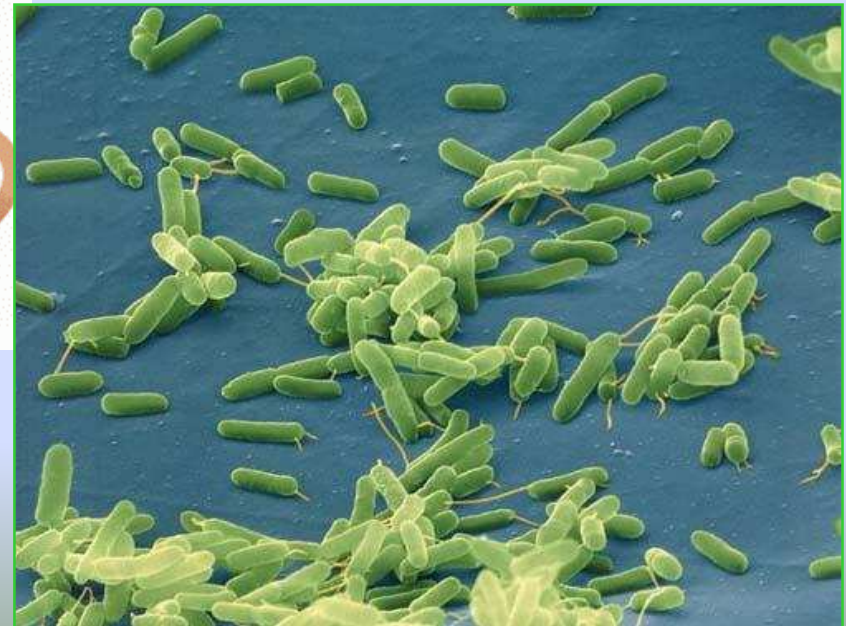
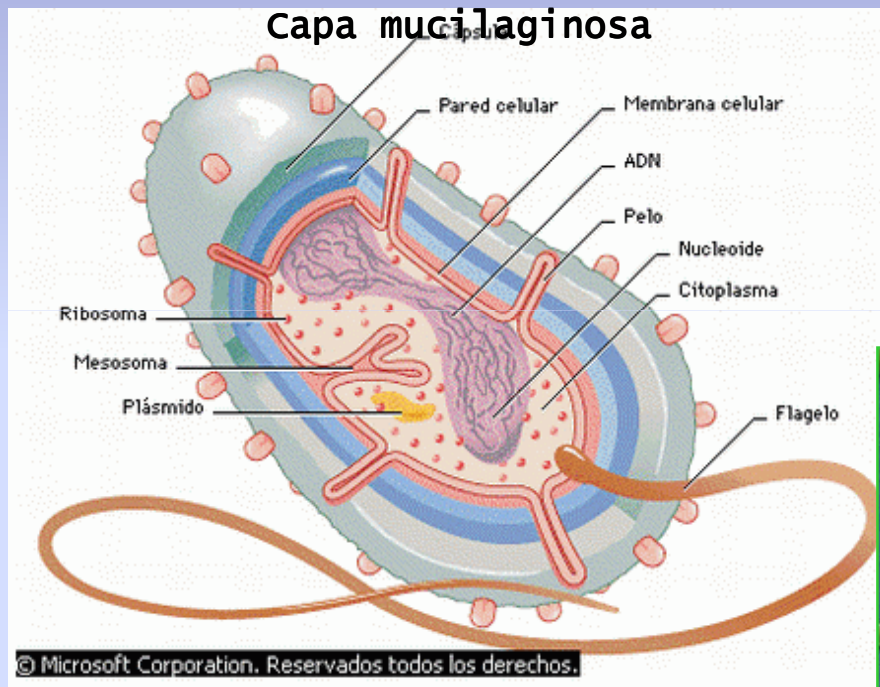
Peritecio



Rizomorfo

Sobrevivencia

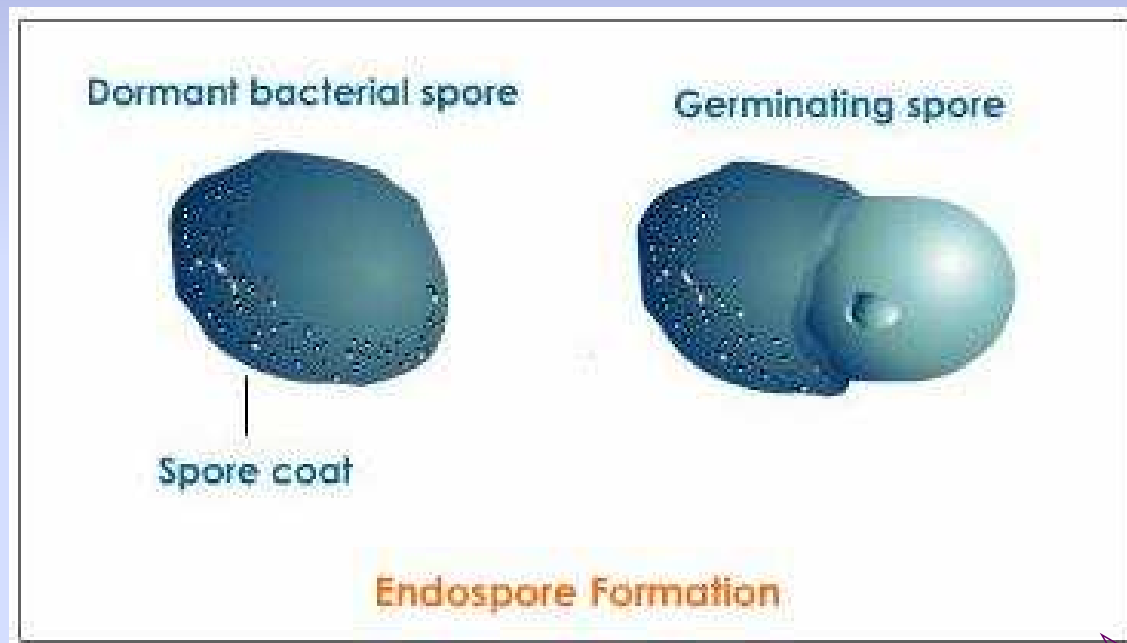
BACTERIAS



Sobrevivencia

BACTERIAS

➤ ENDOSPORAS



➤ *Clostridium* sp.

➤ *Bacillus* sp.

Sobrevivencia

S
E
M
I
L
L
A



Sobrevivencia

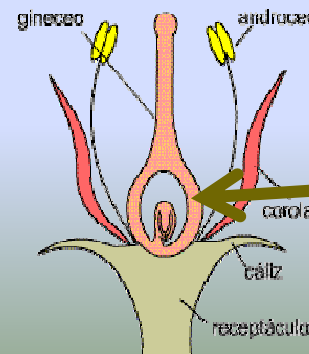
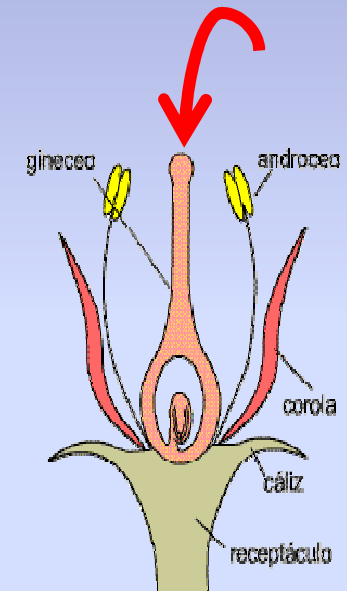
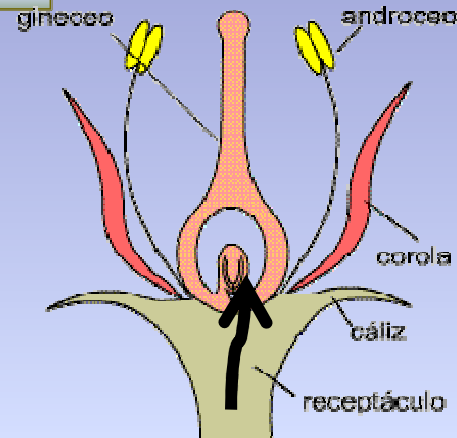
Rutas de infección:

SEMILLA

Directa:
Invasión sistémica
vía tejido de la
planta madre
hacia el embrión

Indirecta:
Infección sistémica
vía estigma hacia el
embrión

Indirecta:
Infección vía parte
de la flor o del fruto
hacia el ovario



Transmisión

Sobrevivencia

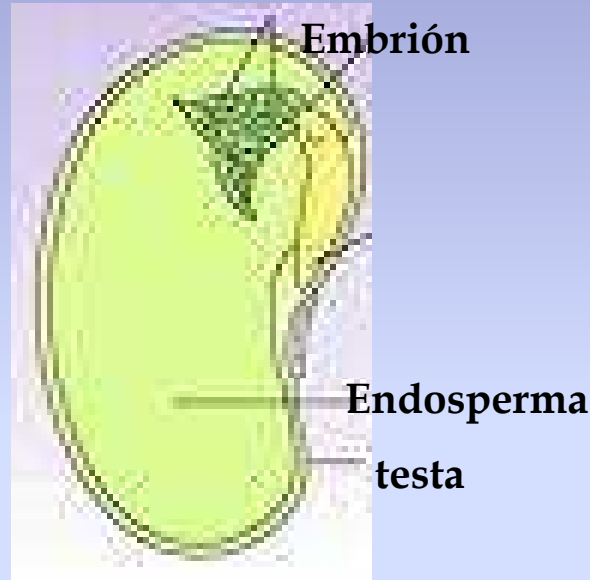
Transmisión

Localización del inóculo:

**S
E
M
I
L
L
A**

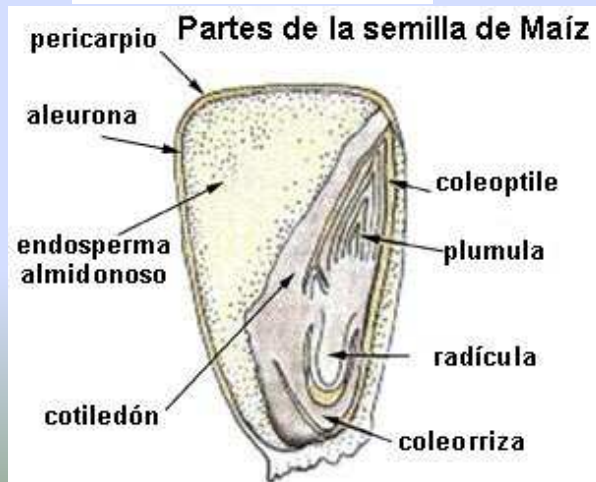
1. Superficial Desinfestación

- *** Hongos**
- *Bacterias**
- *Virus**



2. Interno Desinfección

- *** Virus**
- ** Hongos**
- **Bacterias**



Sobrevivencia

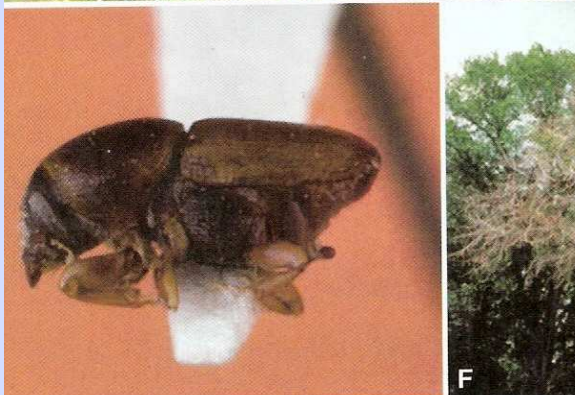


Transmisión



Transferencia de inóculo

Sobrevivencia

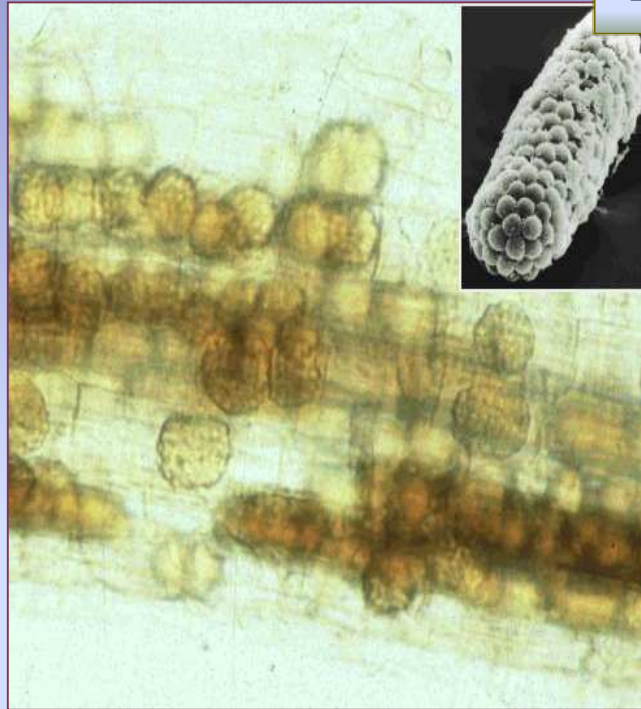
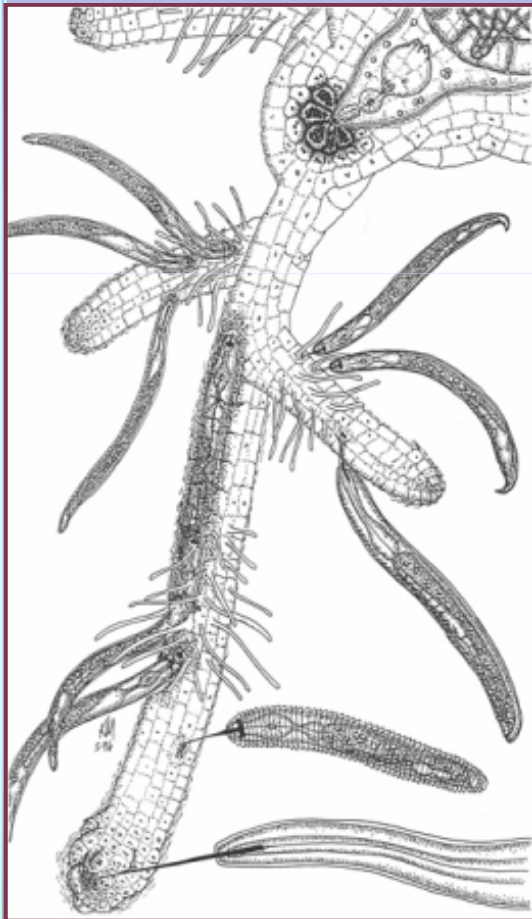


Transmisión



Transferencia de inóculo

Sobrevivencia



Transmisión



Transferencia de inóculo

Diseminación

Dispersión

- **Viento**
- **Insectos**
- **Agua de riego**
- **Efecto salpique**
- **Suelo**
- **Resto de cosecha**
- **Maquinaria***
- **Hombre**

VIENTO



Vectores



AGUA



AGUA



AGUA



AGUA



SUELO



Tipo de preparación

***terrones**

***nivelación**

***Resto de cosecha**

***Malezas**



HOMBRE



Vehículo	Transmisor	Diseminador
	Inóculo	
Semilla	X	X
Viento		X
Insectos	X	X
Suelo		X
Agua (riego-lluvias)		X
Resto de cosecha		X

Enfermedad MONOCICLICA

El patógeno entra en sobrevivencia antes de producir un nuevo inóculo (principalmente hongos)



***Hongos: *Fusarium* spp., *Phytium* sp. (habitan en el suelo y son los más representativos)**

***Bacterias**

***Virus**

Enfermedad MONOCICLICA

El inóculo produce:

- *nuevas infecciones
- *más inóculo,
- *repite varias veces el ciclo.



Hongos aéreos, Oomycetes
(Son los más representativos)

	Enfermedades	
	Policiclica	Monociclica
Ciclo	Numerosos	Pocos
Producción de nuevos inóculos	Rápido y abundante	Lento y escaso
P. Infección	Rápido	Lento
P. Incubación	Días-semanas	Meses-años
P. Infeccioso	Días- semanas	Meses-años

3. Condiciones ambientales

❖ CLIMÁTICAS:

-HUMEDAD RELATIVA

-TEMPERATURA

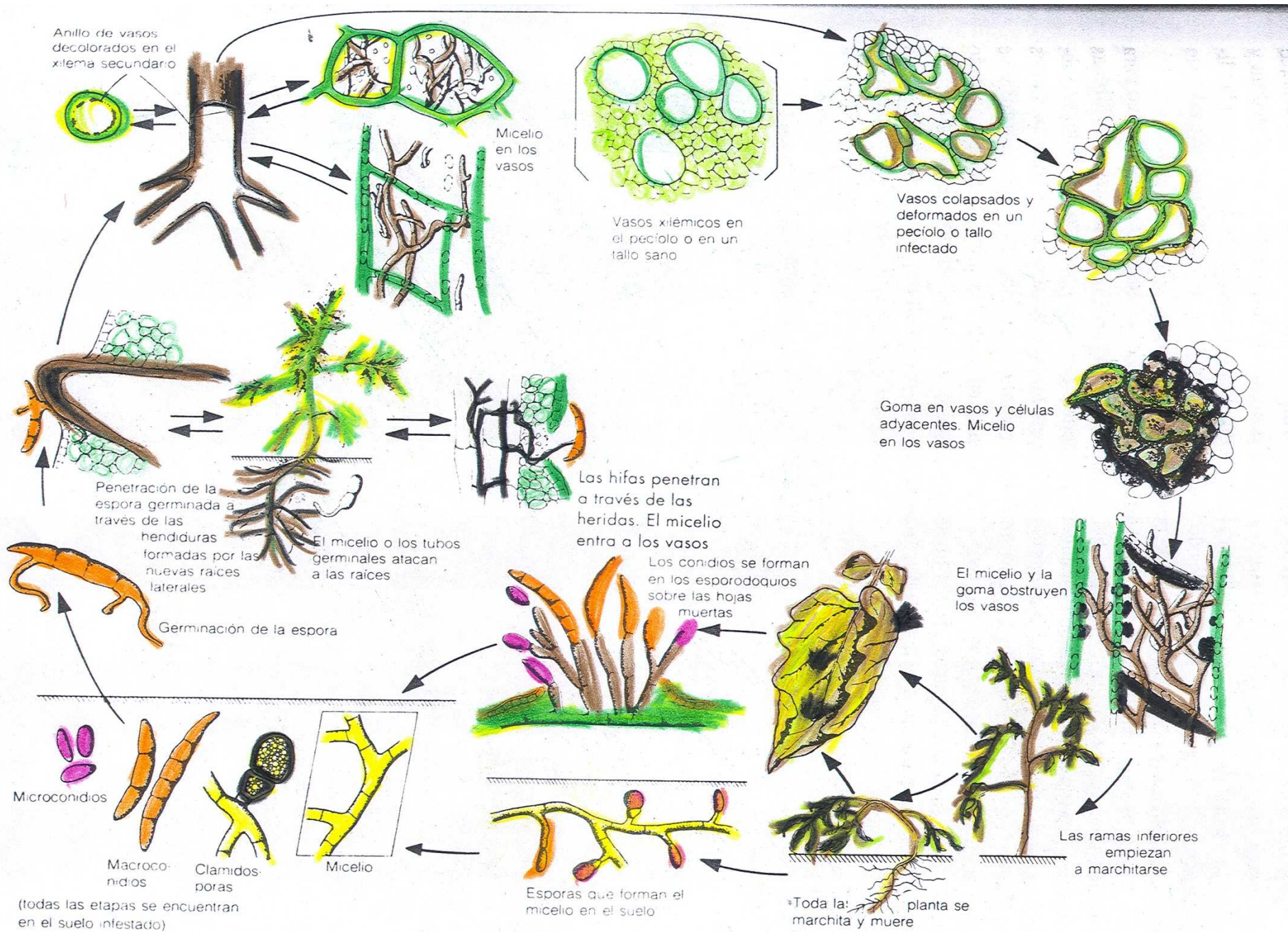
-VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

-PRECIPITACIÓN

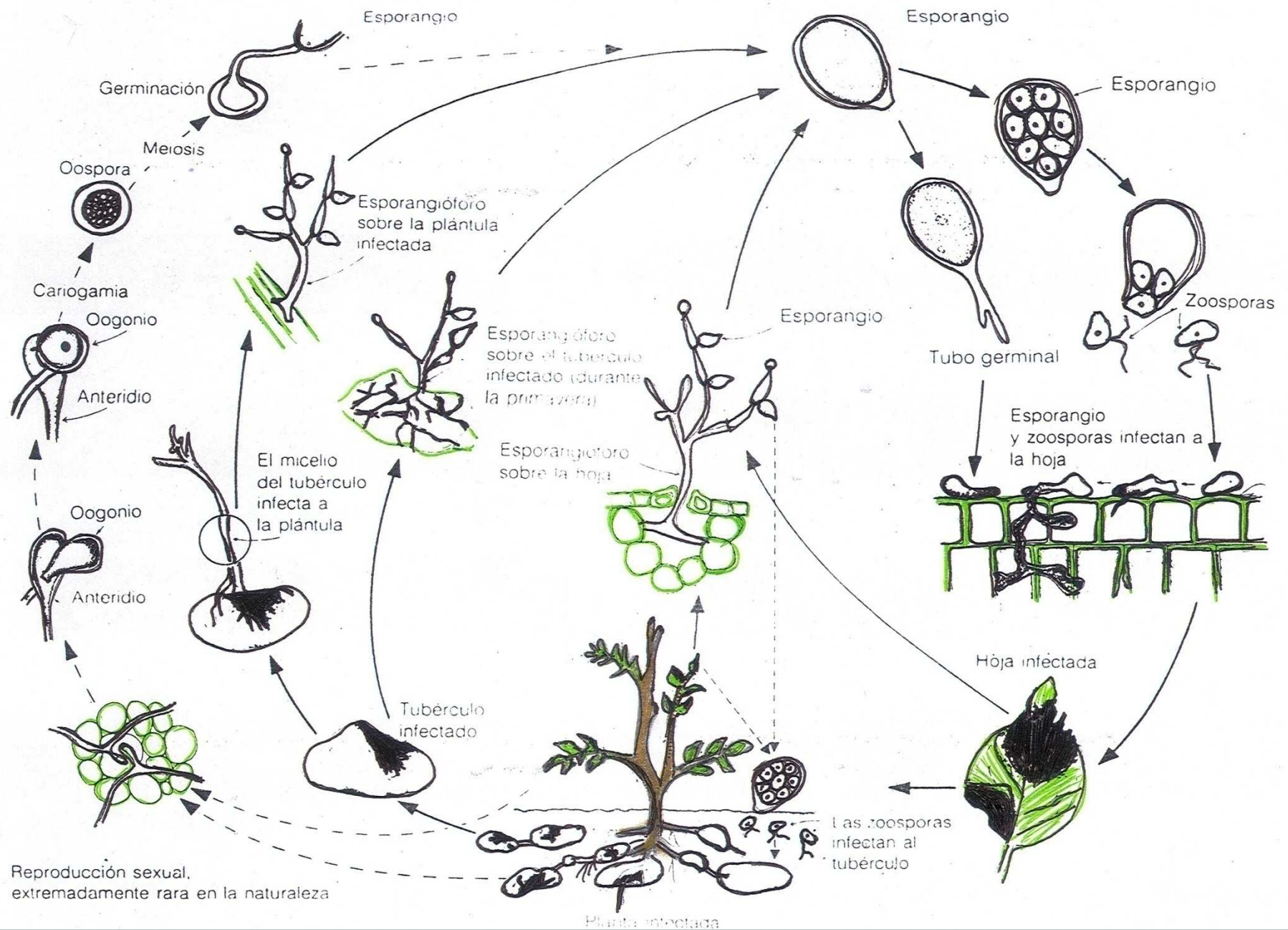
-FORMACIÓN DE ROCIO

-EXPOSICIÓN A LA LUZ SOLAR

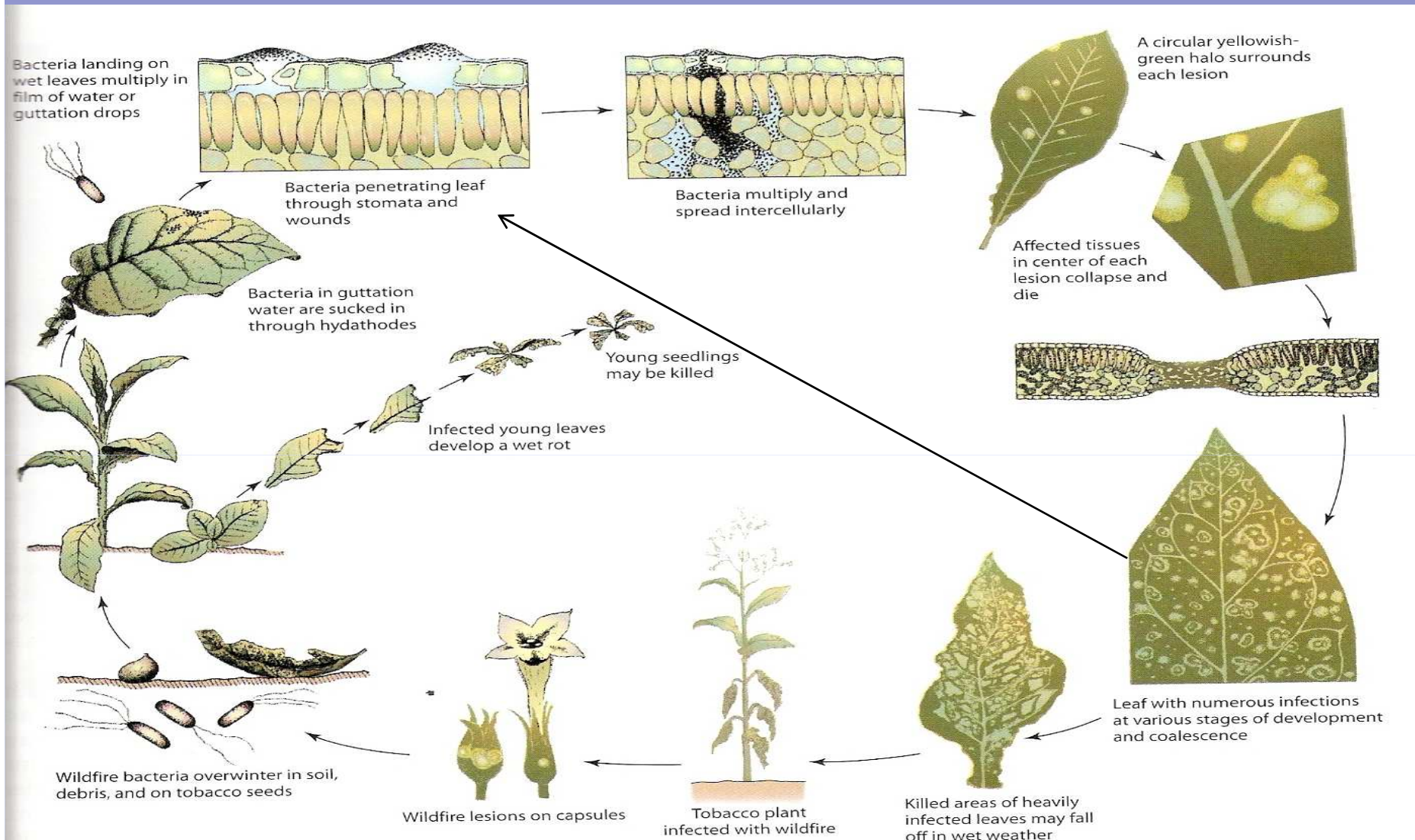
❖ EDÁFICAS: TEXTURA, ESTRUCTURA, pH, TOPOGRAFÍA, DRENAJE...



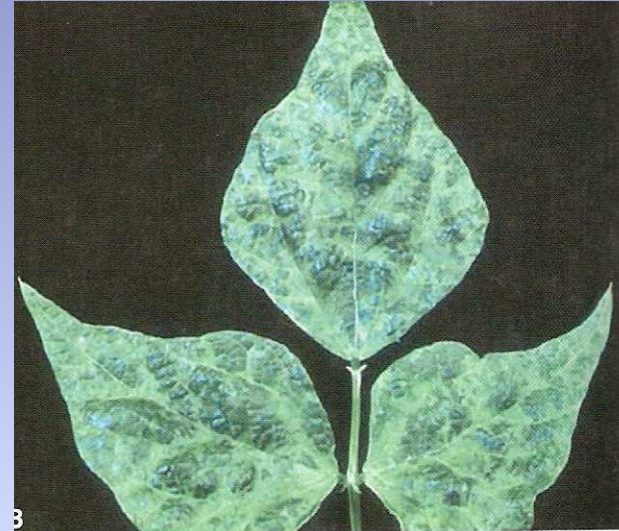
Ciclo patológico de la marchitez del tomate ocasionada por *Fusarium oxysporum* f. *Lycopersici*.



Tizón tardío de la papa por *Phytophthora infestans*



Pseudomonas syringae pv. *tabaci* en tabaco



Mosaico severo del frijol en Caraota

Epidemia

Cambio de intensidad de la enfermedad causada por una población de patógenos en una población de plantas en el tiempo y espacio.

Roya de los Cereales

Carbones de los Cereales

Sigatoka del plátano

Tizón tardío de la papa

Tizón sureño del maíz

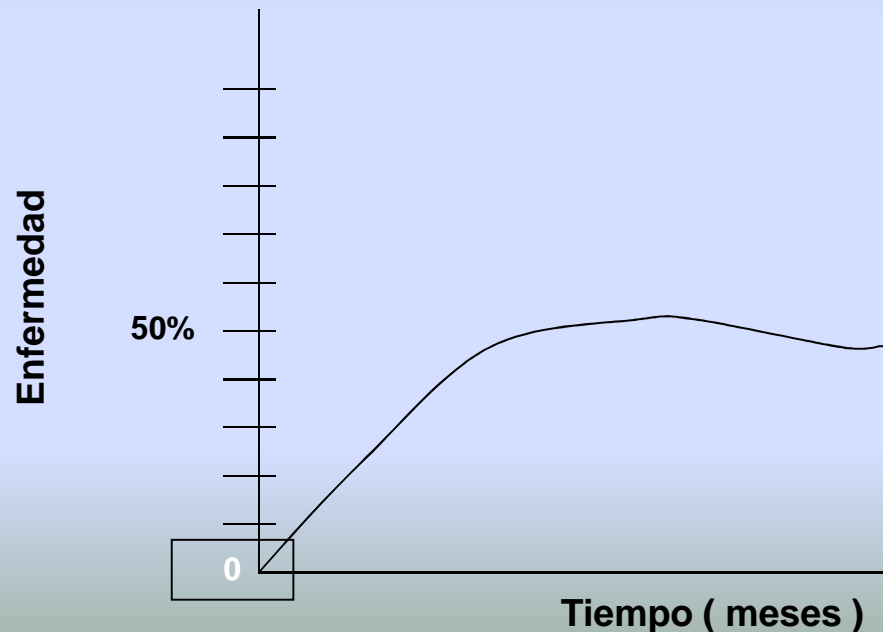
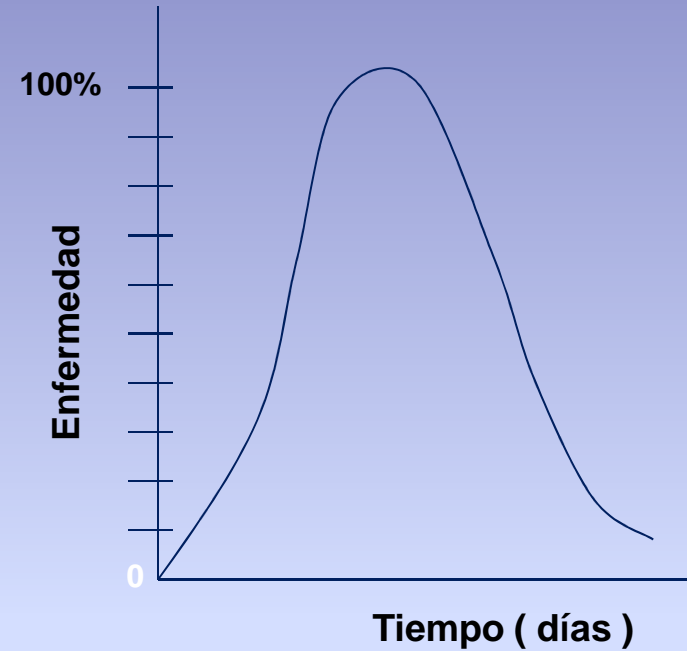
Mildiú lanoso de los viñedos

Roya del cafeto

TIPOS DE EPIDEMIAS

➤ Explosiva

De aparición repentina, las pérdidas son significativas y ocurre en un tiempo corto.



➤ Tardigrada

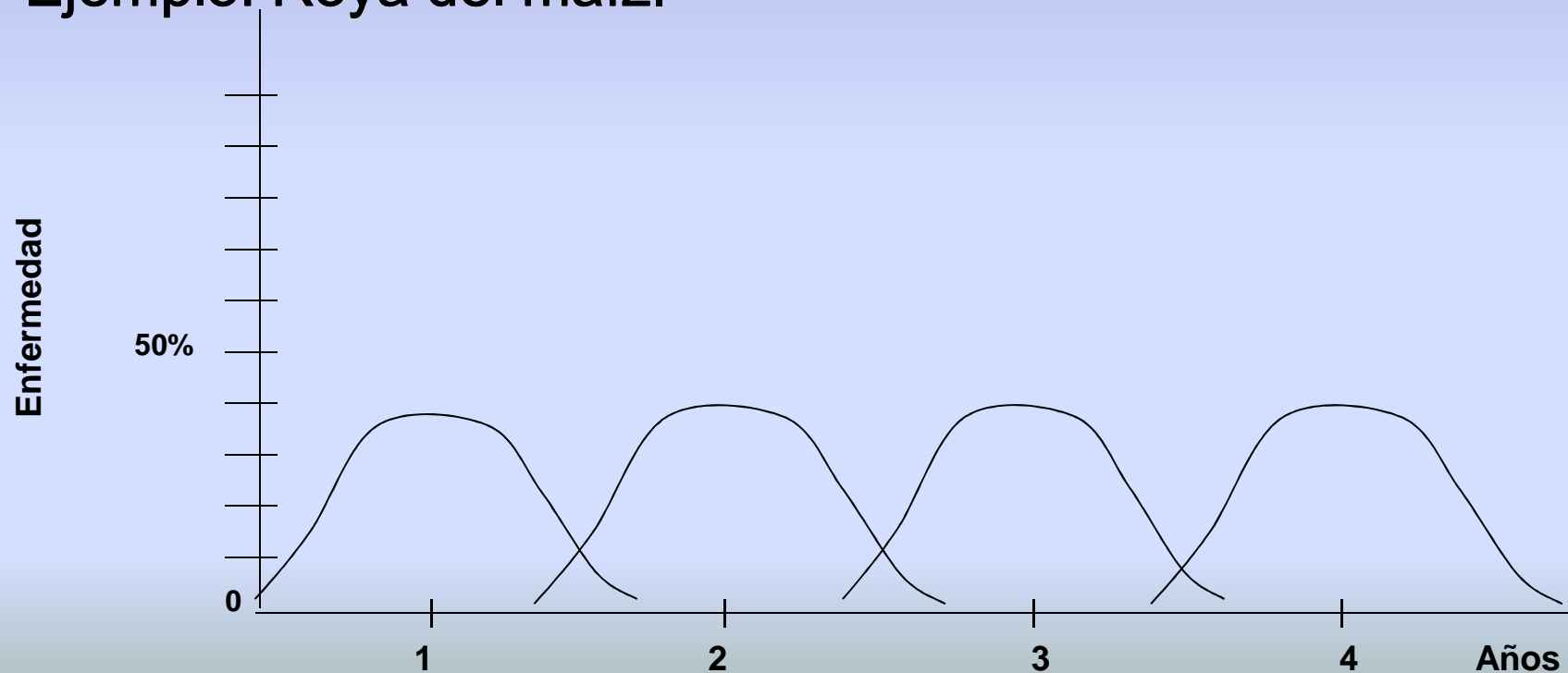
Ocurrencia repentina, las pérdidas son significativas pero se prolonga en el tiempo.

TIPOS DE EPIDEMIAS

➤ Endémica

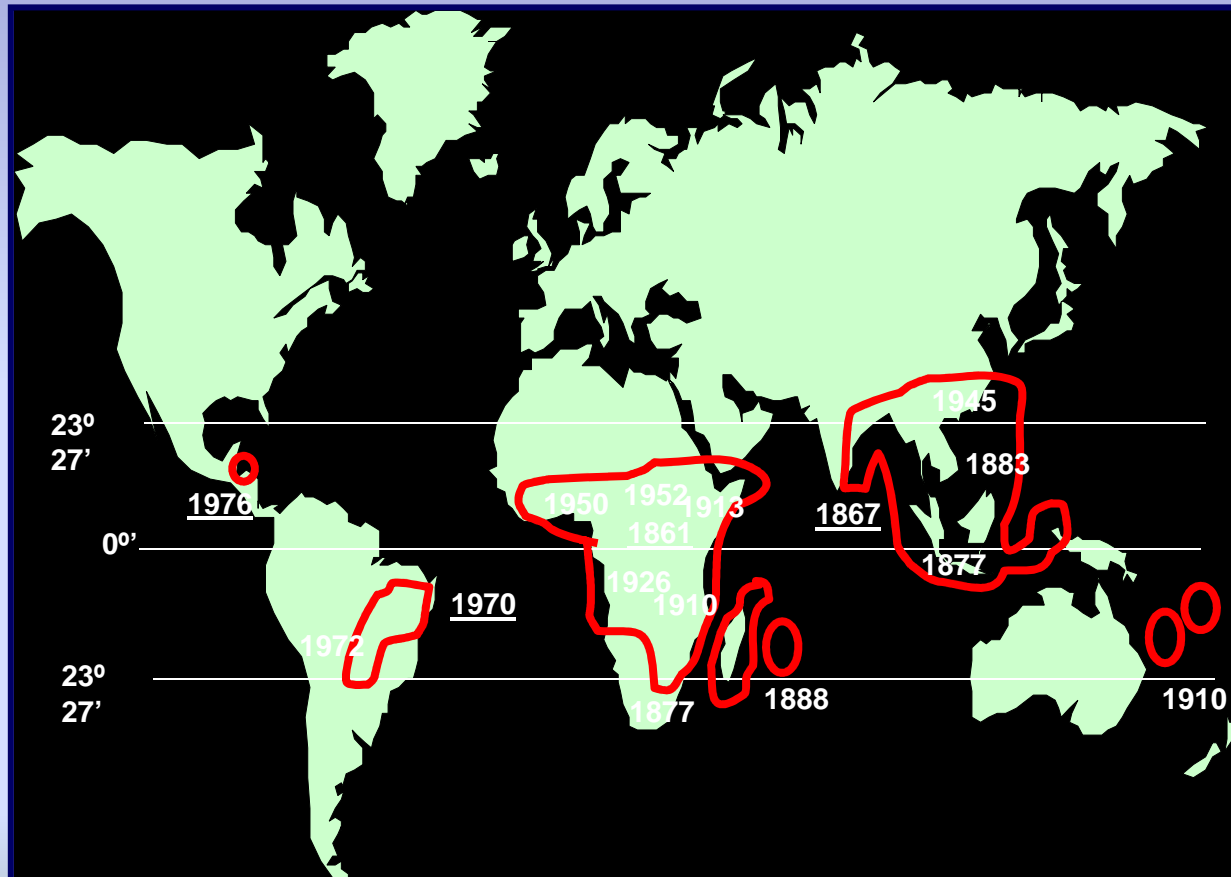
Ocurre de manera frecuente, año tras año, de lenta diseminación y las pérdidas económicas están en función del cultivo.

Ejemplo: Roya del maíz.



Pandemias

De ocurrencia continental cuyas pérdidas son devastadoras



**1861 Lago
Victoria
África**

**1867 Ceilán-
Asia**

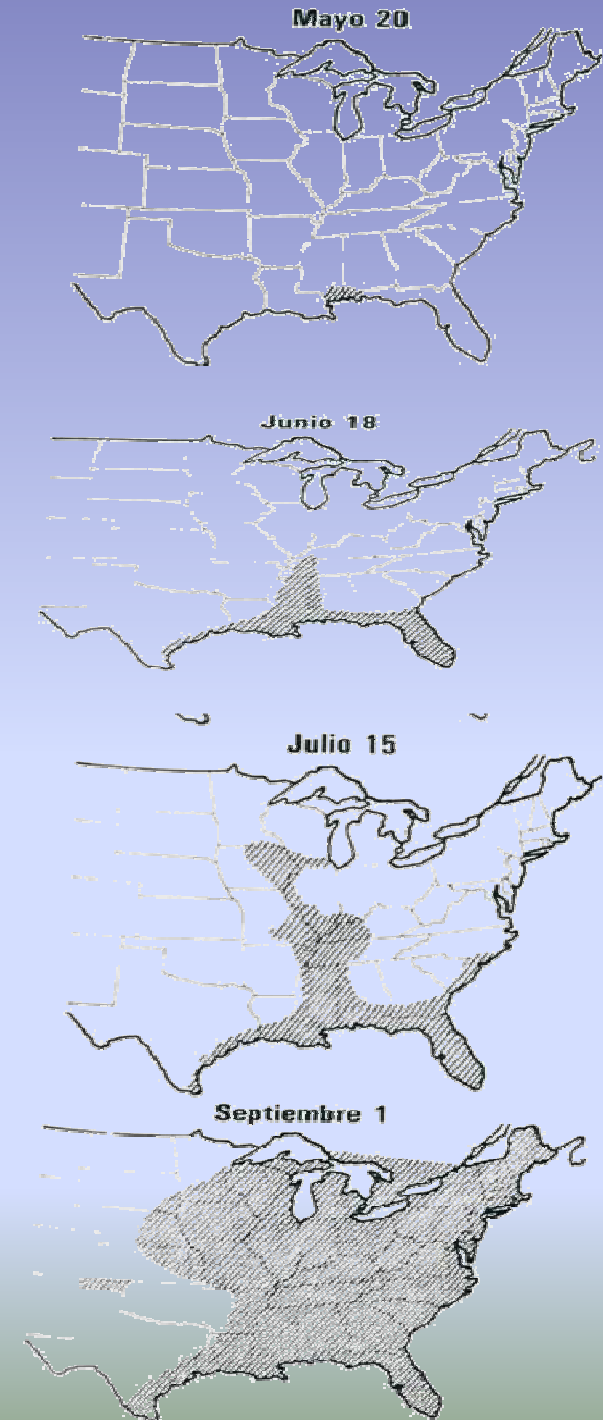
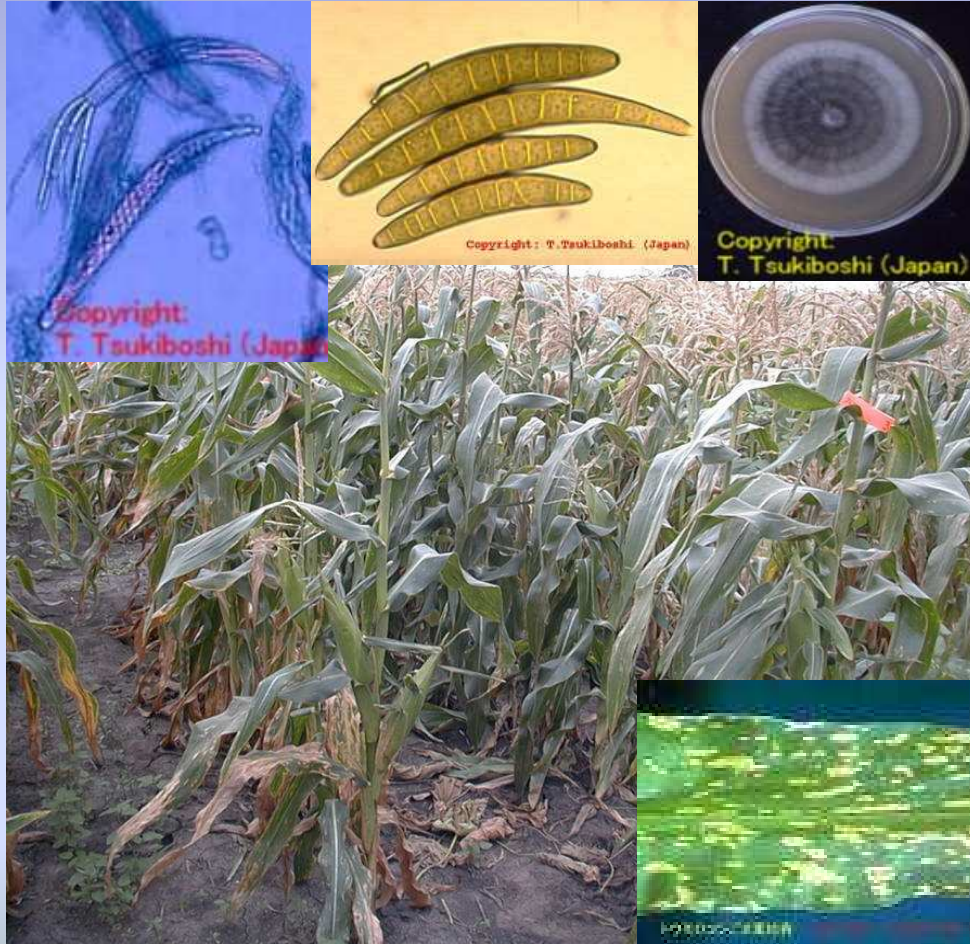
**1970 Brasil
América**

Roya del Café (*Hemileia vastatrix*)

1984 Venezuela

Tizón sureño del maíz

Bipolaris (Helminthosporium) maydis



Cuantificación de enfermedades

- ❖ Determinar la cantidad de enfermedad en poblaciones de plantas para correlacionarlas con las pérdidas económicas.

Los métodos deben ser:

»Comprensibles

»Confiables

»Estándar

»Objetivos

»Integrales

Cuantificación de enfermedades

1.Incidencia: Porcentaje de plantas u órganos afectado de una muestra con relación al total.

-Podredumbres, Marchitez (unidad muestral)

$$\% I = (\text{Número del material enfermo/población}) \times 100$$

De 125 hojas de mango, 45 manifestaban quemazón ocasionada por *Colletotrichum gloeosporioides*.



%I = 36% de población están enfermas con el hongo.

Cuantificación de enfermedades

1. Severidad: Es la proporción de la superficie afectada en relación al total de la superficie.

-Se mide en órganos separados: Royas, Mildiú, Manchas Foliare.

Se estima visualmente (Errores)

Existen aparatos electrónicos (Planímetros)

Recurre a Diagramas estándares (Ver folleto)



Cobb, 1941

Horsfall y Barrat, 1945

Escalas

-Número de clases (7)

-Cualitativa

-Cuantitativa

Cuantificación de enfermedades

2. Índice de Intensidad (Infección): Proporción del tejido enfermo (severidad) en relación al total de la superficie; se expresa en porcentaje.

$$II = \frac{\sum(g \times f)}{N \times G} \times 100$$

g: grado de severidad

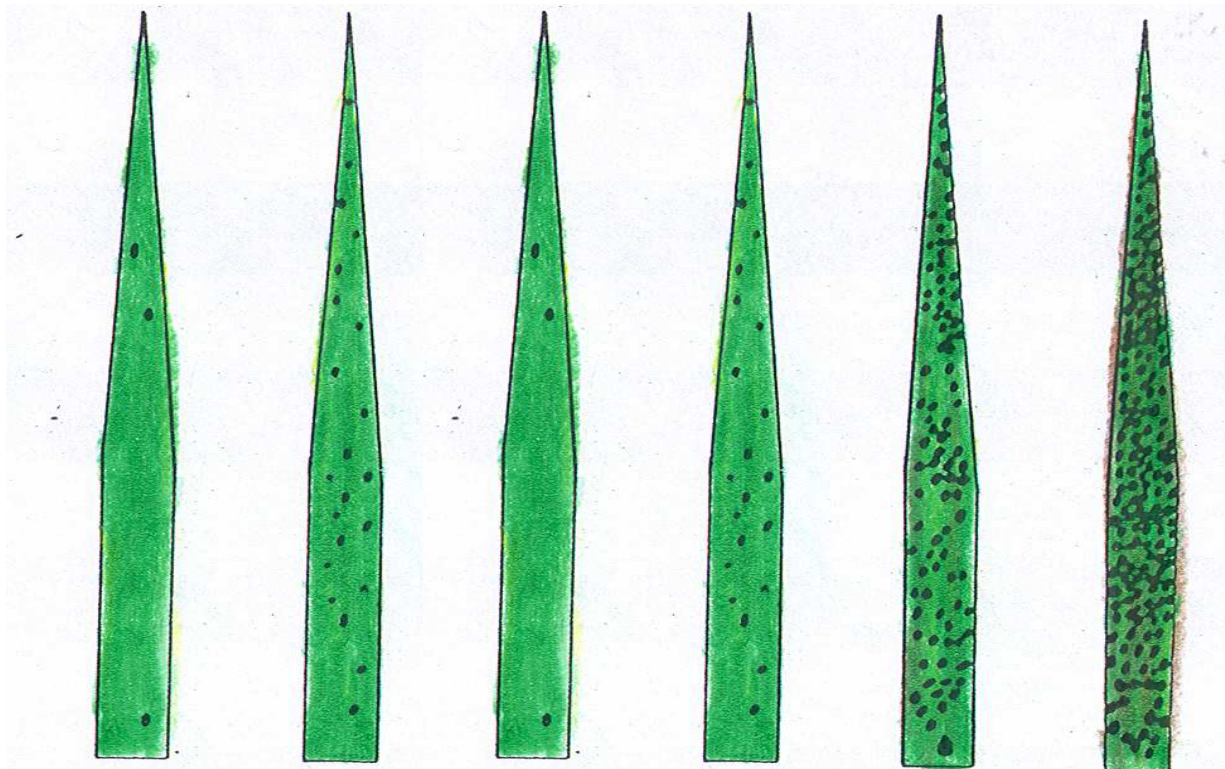
f: frecuencia en cada grado.

N: Población evaluada

G: Grado más alto establecido

f	g	Descripción
25	0	Sana (0% de infección)
72	1	Infección muy ligera (hasta 20%)
85	2	Infección ligera (20,5- 40%)
90	3	Infección moderada (40,5- 60%)
60	4	Infección severa (60,5- 80%)
30	5	Infección muy severa (80,5- 100%)

$$\Sigma = 362$$



0 1 2 3 4 5 Grados de severidad

$$\Pi = (0 \times 25 + 1 \times 72 + 2 \times 85 + 3 \times 90 + 4 \times 60 + 5 \times 30) / (362 \times 5) \times 100$$

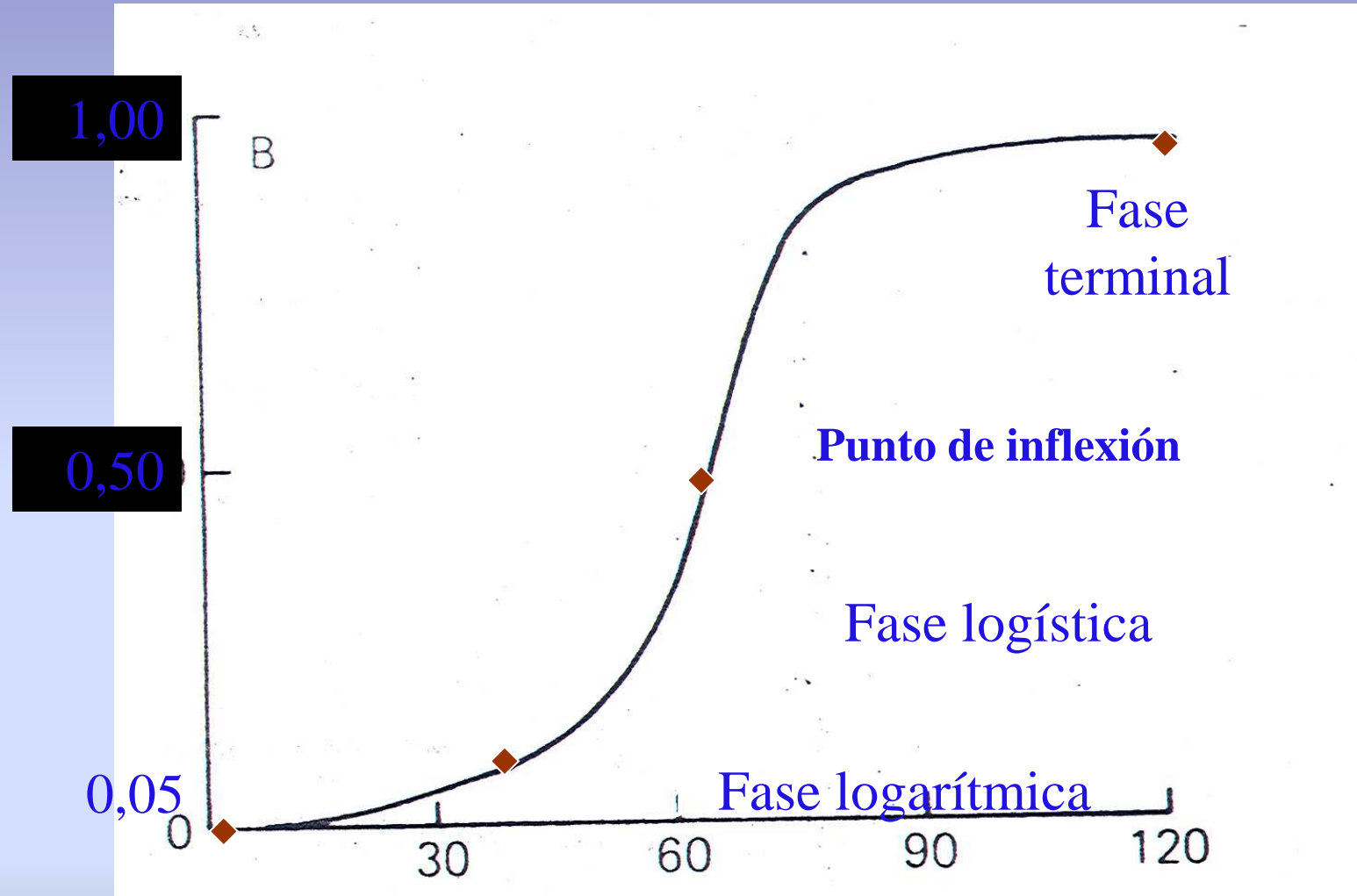
$$\Pi = (927 / 1810) \times 100 = 51,21\%$$

Momento del muestreo la población de MAÍZ (FASE DE FLORACIÓN)

mostraba 51,21% de infección moderada DE ROYA.

Fase de desarrollo de una epidemia

Proporción de la enfermedad



Tiempo

Modelos de desarrollo de epidemias

- Intentan expresar la dinámica que ocurre en la interacción de los factores.

- Simplifican la realidad

- Desarrollar predicciones generales

Se debe recurrir al análisis matemático

- * Caracterizar el patrón de comportamiento

- * Dinámica poblacional

- * Predicciones de comportamiento

- * Estrategia a aplicar en el manejo agronómico.

MODELOS MATEMATICOS

PATOGENOS POLICICLICOS

PRODUCCIÓN DE INÓCULOS

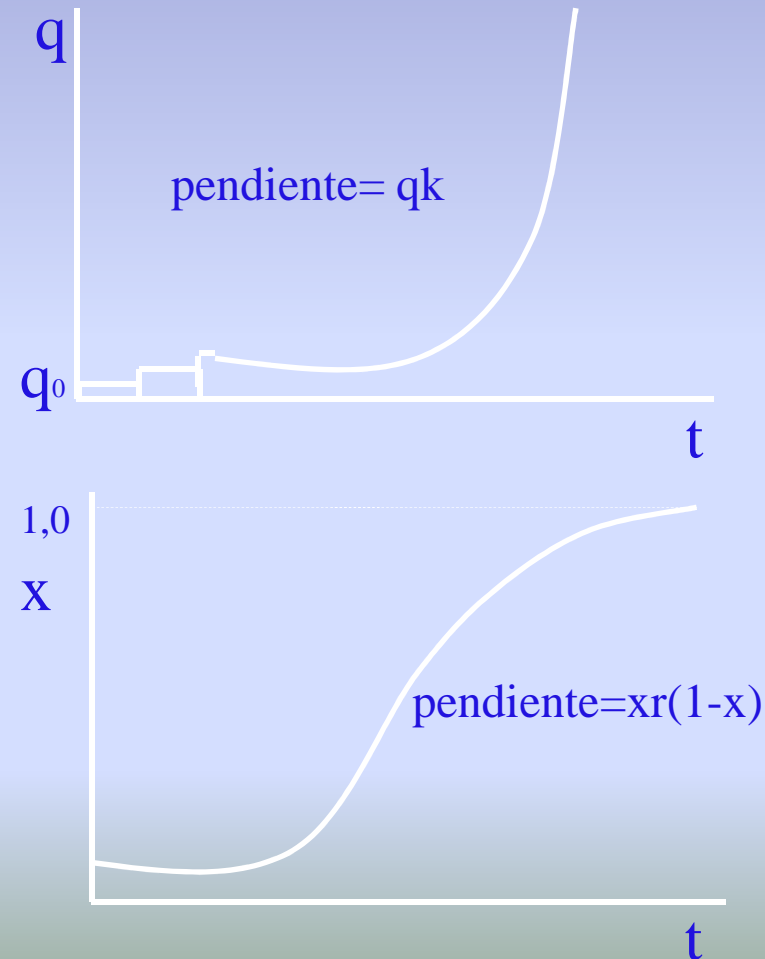
$$q_{t+\Delta t} = q_t + q_t k (\Delta T)$$

$$q = q_0 e^{kt}$$

Progreso de la enfermedad

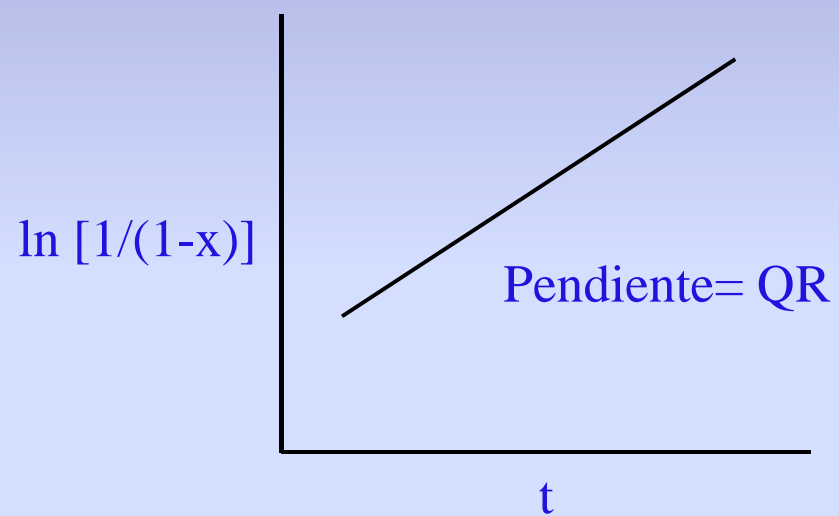
$$r \frac{dx}{dt} = x(1-x) \quad x = x_0 e^{rt}$$

Límite superior de una enfermedad



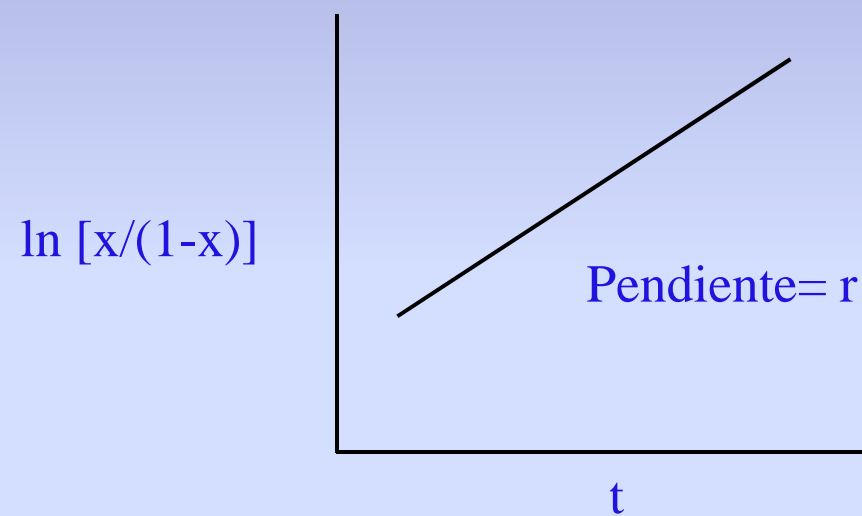
TRANSFORMACIONES DE LOS MODELOS

MONOCICLÍCO



$$r m = \ln 1/(1-x)$$

POLICÍCLICO



$$r = \ln x/(1-x)$$

DETERMINACIÓN DE LA TASA DE PROGRESO DE LA ENFERMEDAD (r)

$$x = x_0 \cdot e^{rt}$$

$$\ln x = r \cdot t + \ln x_0$$

$$r = (1/t) (\ln x - \ln x_0)$$

Ecuación logística

$$R = [1/(t_f - t_0) (\ln x / (1 - n) - \ln x_0 / (1 - x_0))]$$

Otra forma de determinar (r)

Regresión lineal

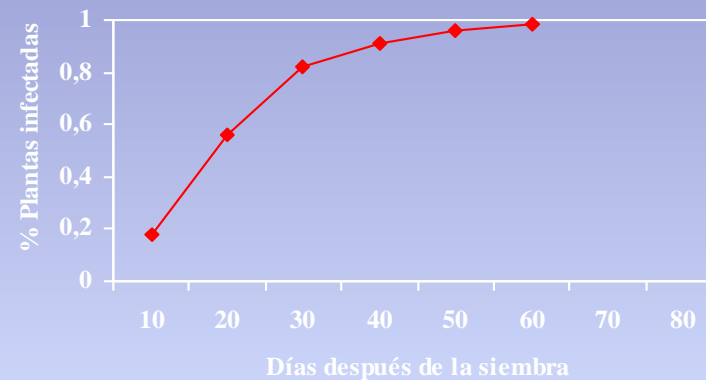
$$rm = \ln/(1-x)$$

$$r = \ln x / (1-x)$$

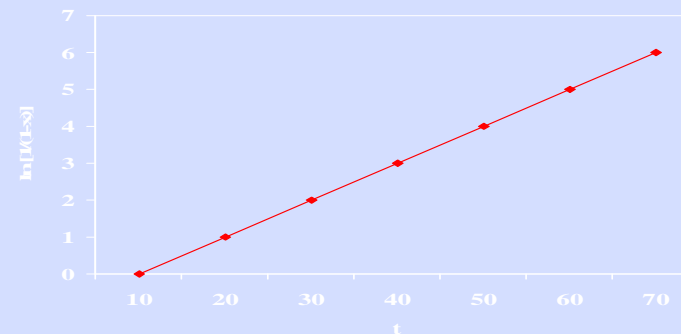
ESTIMACIÓN DE LA TASA PROGRESO DE LA ENFERMEDAD MONOCICLICA

Mal de Panamá o Marchitez del Plátano *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense

Días después de la siembra	% planta infectada
10	18
20	56
30	82
40	91
50	96
60	98



Transformación		
t	x	ln (1/(1-x))
10	.18	0.198
20	.56	0.821
30	.82	1.710
40	.91	2.41
50	.96	3.22
60	.98	3.91

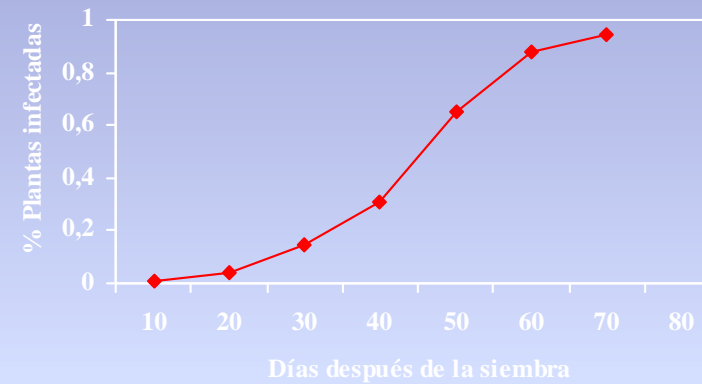


$$rm = 0.076/57 \rightarrow r = 0.0013 \text{ UFC/día} \rightarrow 0.47 \text{ UFC/año}$$

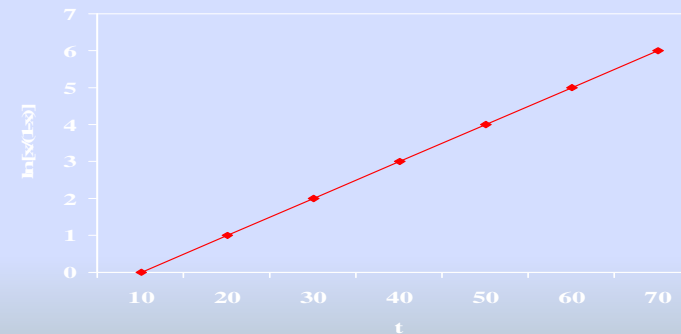
ESTIMACIÓN DE LA TASA DE PROGRESO DE LA ENFERMEDAD POLICÍCLICA

Tizón del halo de la caraota *Phaeoisariopsis grisea*

Días después de la siembra	% planta infectada
10	1
20	4
30	15
40	31
50	65
60	88
70	94



Transformación		
t	x	ln (1/(1-x))
10	.01	-4.60
20	.04	-3.18
30	.15	-1.73
40	.31	-0.80
50	.65	0.62
60	.88	1.99
70	.94	2.75



$$r = 0,12 \text{ UFC/día} \rightarrow 43.8 \text{ UFC/año}$$

Medidas de control

Tasa de progreso de enfermedad (r) sugiere:

Si r tiene un valor bajo:

- *Rotación de cultivo
- *Fumigación del suelo antes de la siembra
- *Destrucción de restos de cosecha
- *Uso de material de siembra certificado
- *Eliminación de plantas enfermas, malezas y material silvestre.
- *Destrucción de hospedante alternos
- *Arado profundo y quema de rastrojo

Si r tiene un valor alto:

- ¥ Terapia química a la semilla y al suelo.
- ¥ Selección de variedades resistentes.

La magnitud de la tasa de progreso de la enfermedad (r) refleja:

- *El efecto de la temperatura, humedad, lluvia, viento del medio ambiente.
- *Resistencia o susceptibilidad del hospedante.
- *Proporción de infección hasta colonización.
- *La velocidad de producción de esporas en el tiempo.
- *La tasa de incremento en tamaño de lesiones.

PREDICCIÓN DE LAS EPIDEMIAS \Rightarrow Modelos

La dinámica del desarrollo de las enfermedades son complejas

Los modelos intentan expresar esa dinámica en términos de ecuaciones involucrando matemáticas, meteorología y la fenología del cultivo.

Los modelos son simplificaciones de la realidad, usados en diferentes maneras para generar hipótesis, interrogantes con propósitos experimentales y predicciones generales.

El análisis matemático permite:

- **Obtener conclusiones de la dinámica de la enfermedad**
- **Predicción de comportamiento de enfermedades a futuro.**
- **Estrategias para el control a aplicar**
- **Evitar o minimizar el riesgo de pérdidas en el cultivo.**

Características de los Modelos

- ✓ Tener metas bien definidas
- ✓ Ser validos y precisos
- ✓ Ser simples
- ✓ Ser lógicos
- ✓ Matemáticamente correctos
- ✓ Que tengan habilidad para predecir

Simulación de Epidemias

- **EPIDEM** Tizón temprano del tomate por *Alternaria solani*
- **EPICORN** Tizón del sur del maíz por *Drechslera maydis*
- **EPIVEN** Roña del manzano por *Venturia inaequalis*
- **EPIDEMIC** Roya amarilla del trigo por *Puccinia striiformis*
- **LAWSS** Mildiú polvoriento en uva por *Uncinula necator*
- **BLITECAST** Tizón tardío de la papa por *Phytophthora infestans*

Computadoras con sensores que monitorean y obtienen datos en el campo de:

- *Temperatura (°C)

- *Humedad Relativa (%)

- *Tiempo de rocío

- *Precipitaciones (mm)

Las enfermedades que poseen programas de predicción se les analiza los datos automáticamente y se les estima:

- *Intensidad

- *Frecuencia

- *Severidad

Con el fin de evitar la infección o en su defecto aplicar medidas de control.

La Epidemiología

***Información edafo-agroclimática de la zona en producción**

***Solución a muchos problemas fitopatológicos y garantiza:**

***Aumento en la producción de alimentos.**

***Protección del medio ambiente**

***Mejor control integrado y manejo de plagas.**



**Mucho trabajo en el campo
Y las matemáticas?**



GRACIAS