



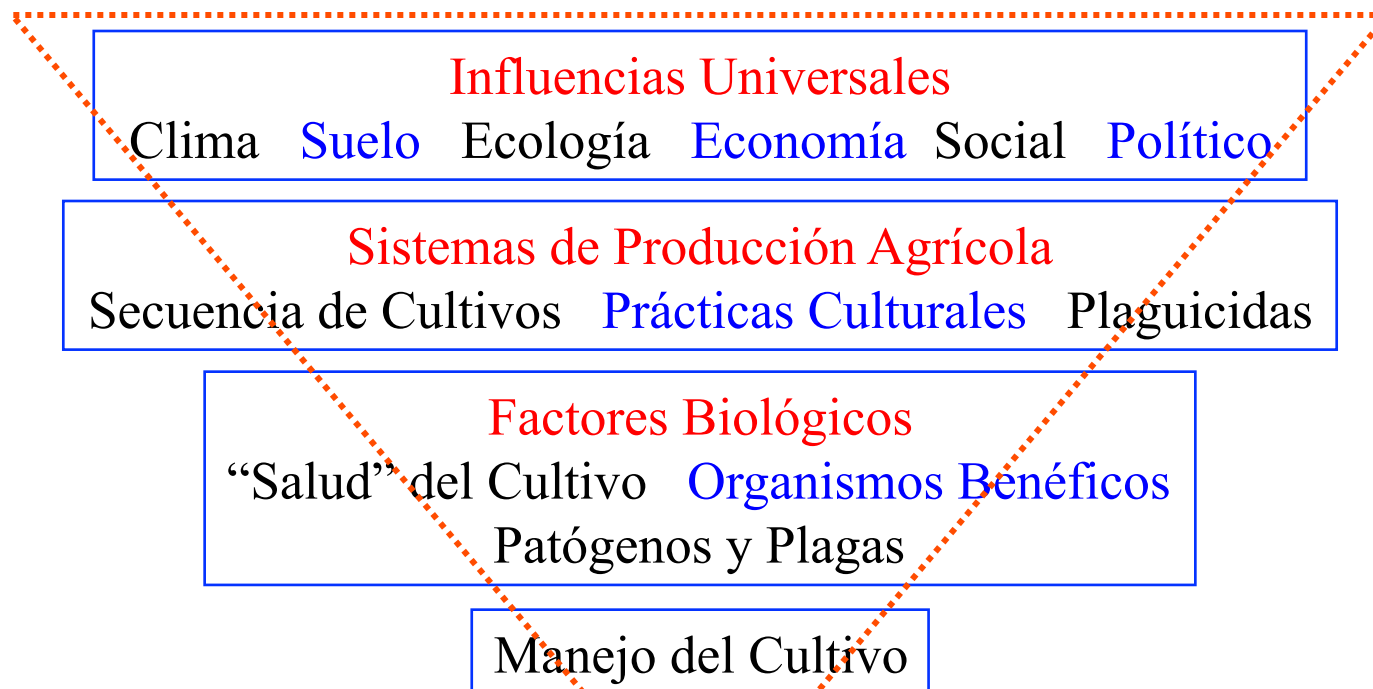
***Manejo Integrado
de la Sigatoka negra
(Mycosphaerella fijiensis)***



Douglas H. Marín

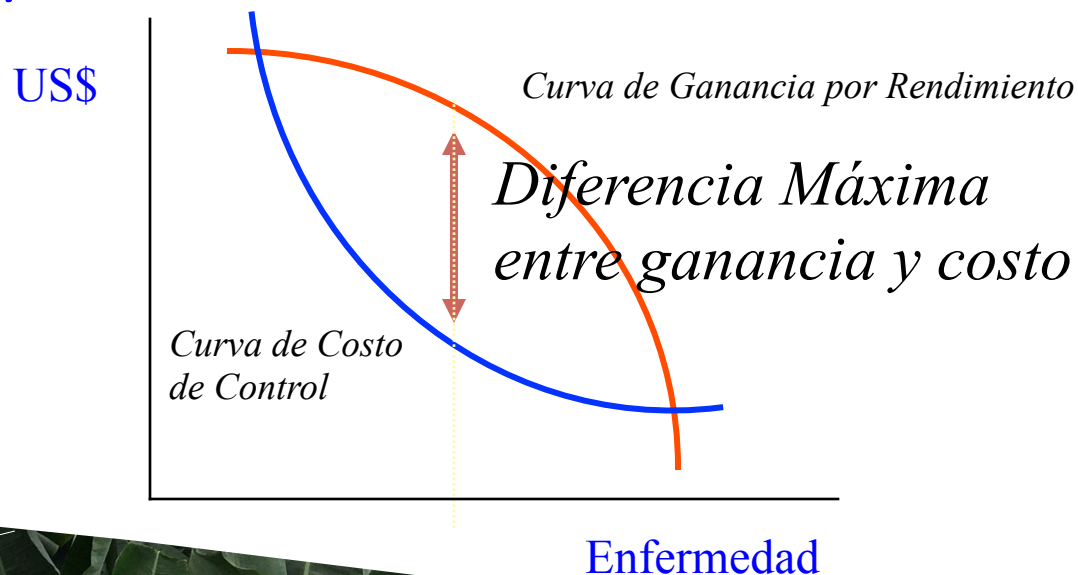
AgroEcosistema

Factores que influyen el desarrollo de los cultivos



Requisitos para un Programa de Manejo de Enfermedades

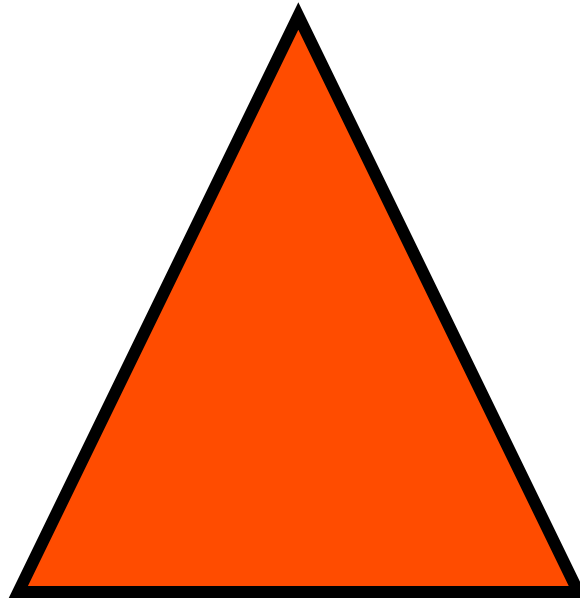
- Establecer umbrales económicos
 - Basados en principios económicos razonables:
Ganancia en producción > Costos de Manejo de la enfermedad.



Jeger, 1984

Triángulo de Enfermedad

Patógeno

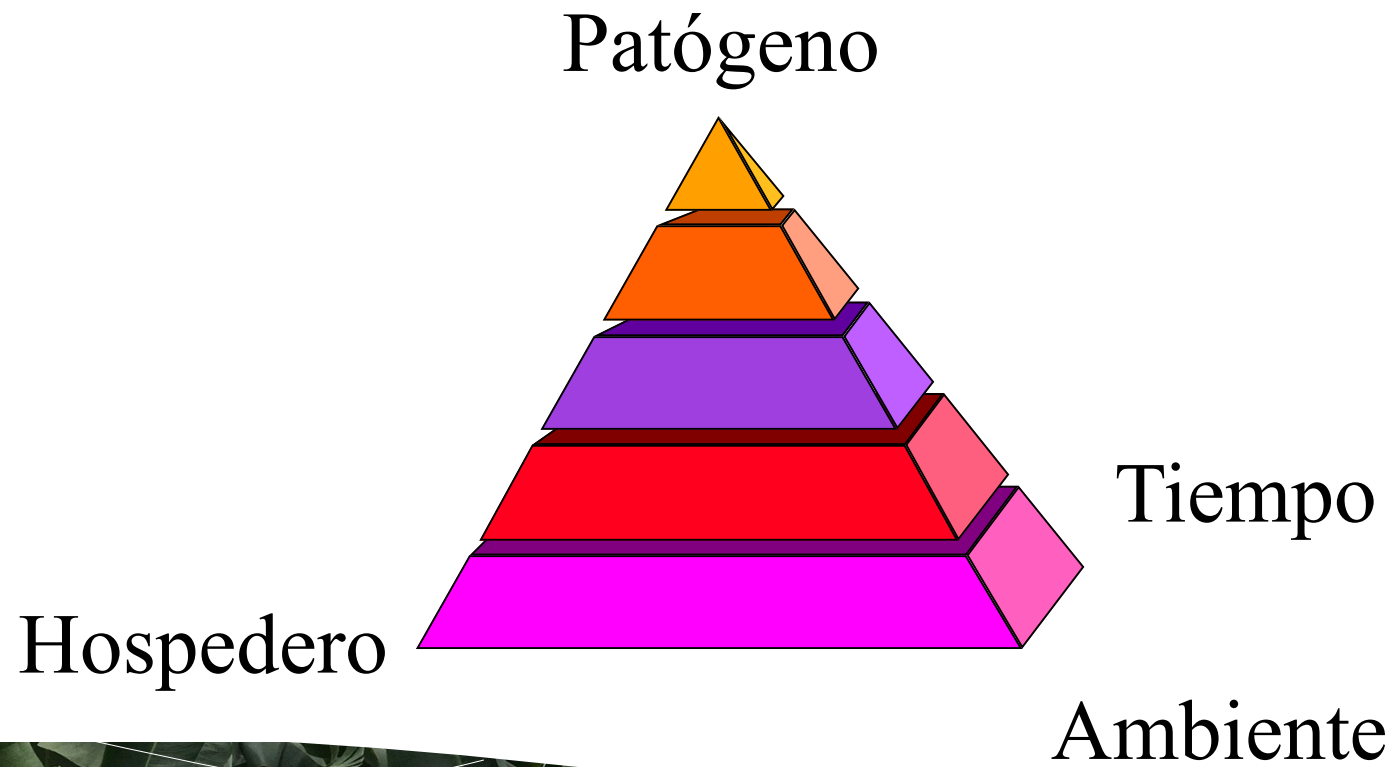


Hospedero

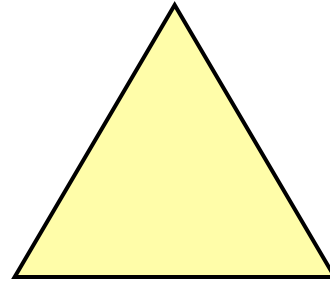
Ambiente



Pirámide de Enfermedad



Reducción
de inóculo

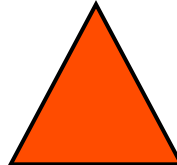


Cuarentena

Erradicación



Patógeno

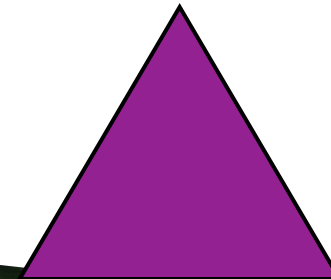
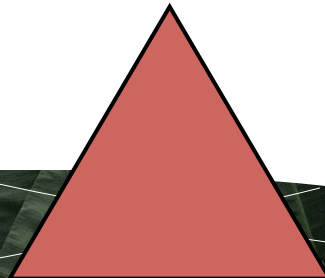


Hospedero

Ambiente

Manejo Cultivo

Resistencia



Nutrición

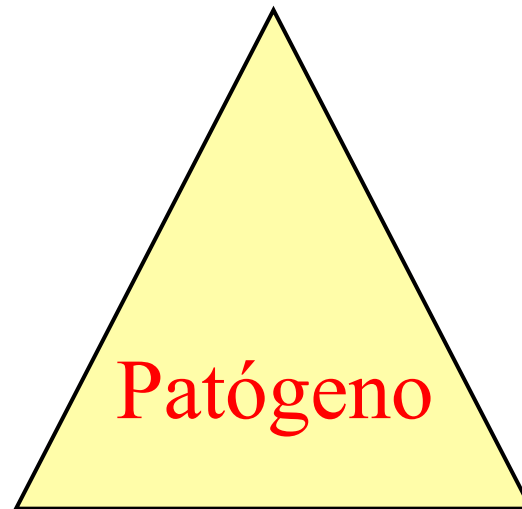
Protección

Manejo Agua.

Manejo Suelo

Sharville, 1979

Reducción
de inóculo



Cuarentena

Erradicación



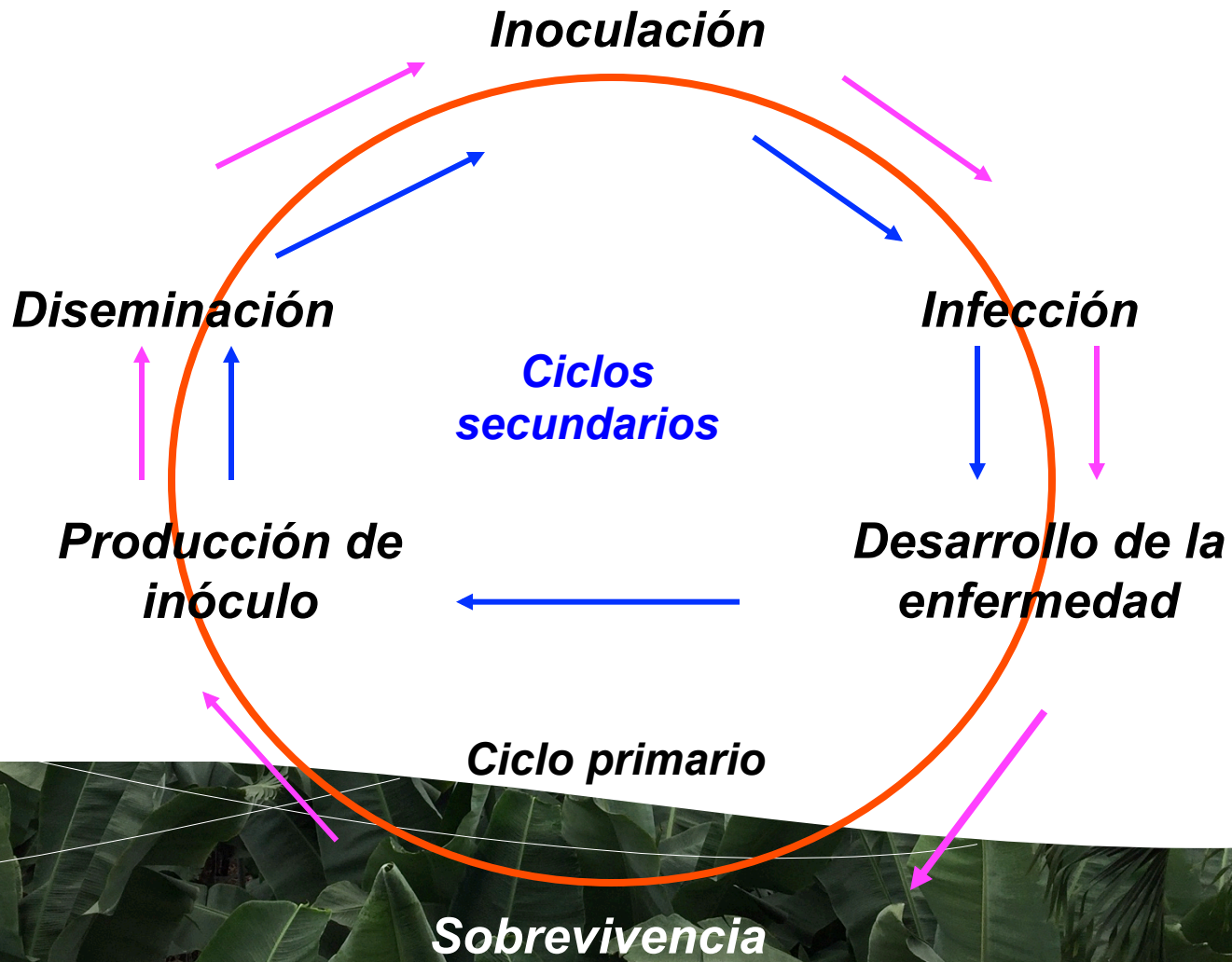
Patógeno

- ▶ Sigatoka (amarilla)
- ▶ Descrita en 1912, Sigatoka Valley, Fiji
- ▶ *Mycosphaerella musicola* Leach
- ▶ **Fase Asexual:**
Pseudocercospora musae (Zimm.)
Deighton

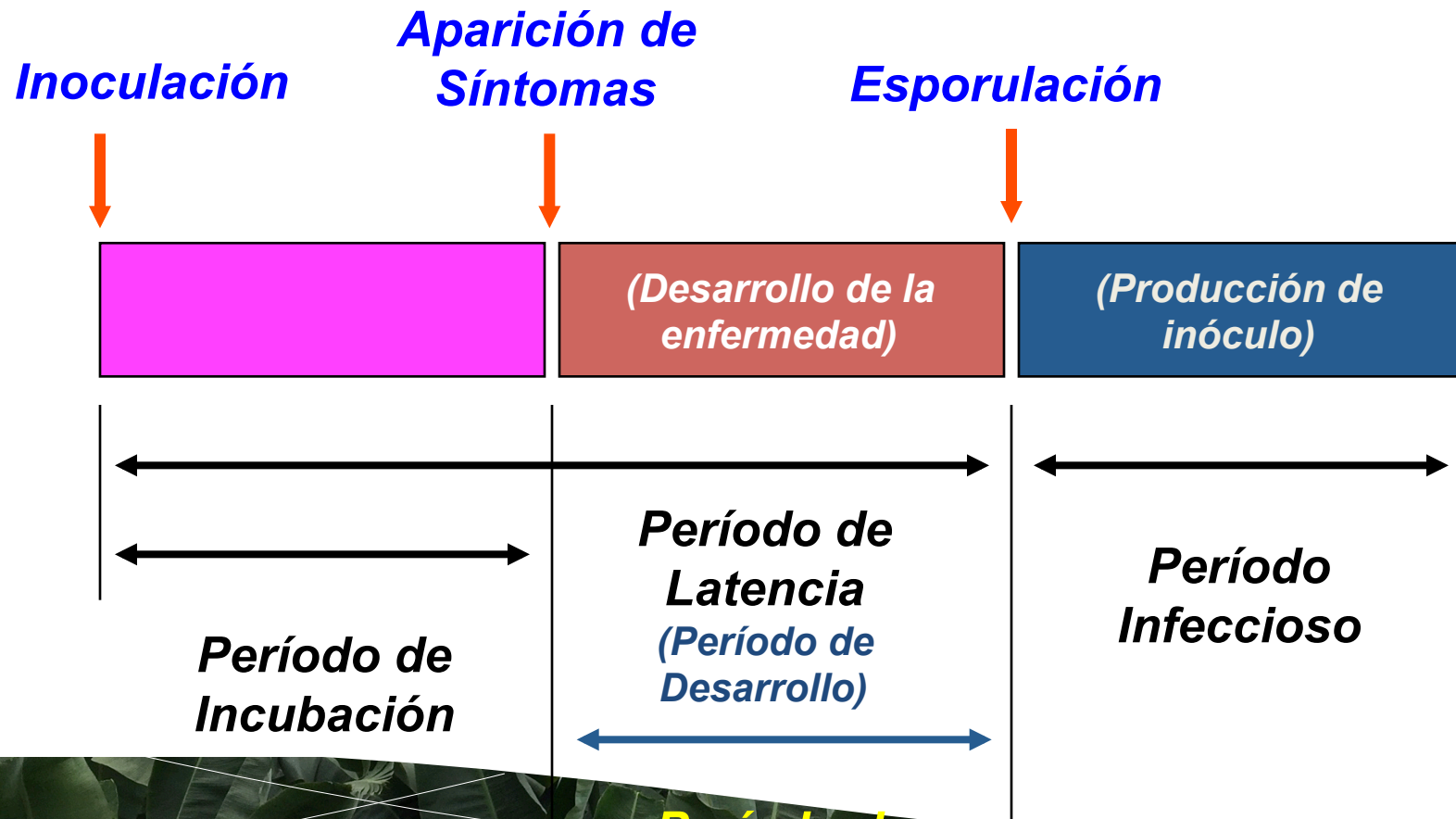
- ▶ Sigatoka negra (Raya negra, Black Leaf Streak)
- ▶ Descrita en 1963 (?), Viti Levu, Fiji
- ▶ *Mycosphaerella fijiensis* Morelet
- ▶ **Fase Asexual:**
Pseudocercospora fijiensis Morelet



Ciclo de la Enfermedad



Ciclo de la Enfermedad



**Período de
Evolución
(transición)**

Epidemiología de *Mycosphaerella fijiensis* en condiciones tropicales

Síntomas

Estado I	Estado II	Estado III	Estado IV	Estado V	Estado VI
					
Incubación	Tiempo en días				Latencia
26,05	5,24	4,68	3,30	2,70	3,24
26,05	Período de evolución (19,16)				45,21
Rango	Condición			Condición	Rango
14	Lluvioso			Lluvioso	25
24	Seco			Seco	70

Marín, D, Romero, R., Guzmán, M., Sutton, T. 2003. Black Sigatoka: An increasing threat of banana cultivation. Plant Disease. 87(3): 208-222.

Cortesía Ing. Alvaro Segura M. Sc.



Diseminación de la enfermedad

Conidios (Fase Asexual)

- ▶ Alta humedad (agua libre)
- ▶ En estadios iniciales (Estría ➡ Mancha)
- ▶ Asociados a diseminación local
- ▶ Dispersados por lluvia o salpique, no por viento
- ▶ Importante durante períodos de alta humedad, rocíos prolongados y lluvias intermitentes
- ▶ Causan infección igual a las ascósporas



Diseminación de la enfermedad

Ascósporas (Fase Sexual)

- ▶ En estadios 6
- ▶ ~48 hr humedad p/ maduración peritecios
- ▶ Asociados a diseminación a largas distancias
- ▶ Dispersados por viento
- ▶ Asociado a aumentos en períodos de lluvia y alta humedad

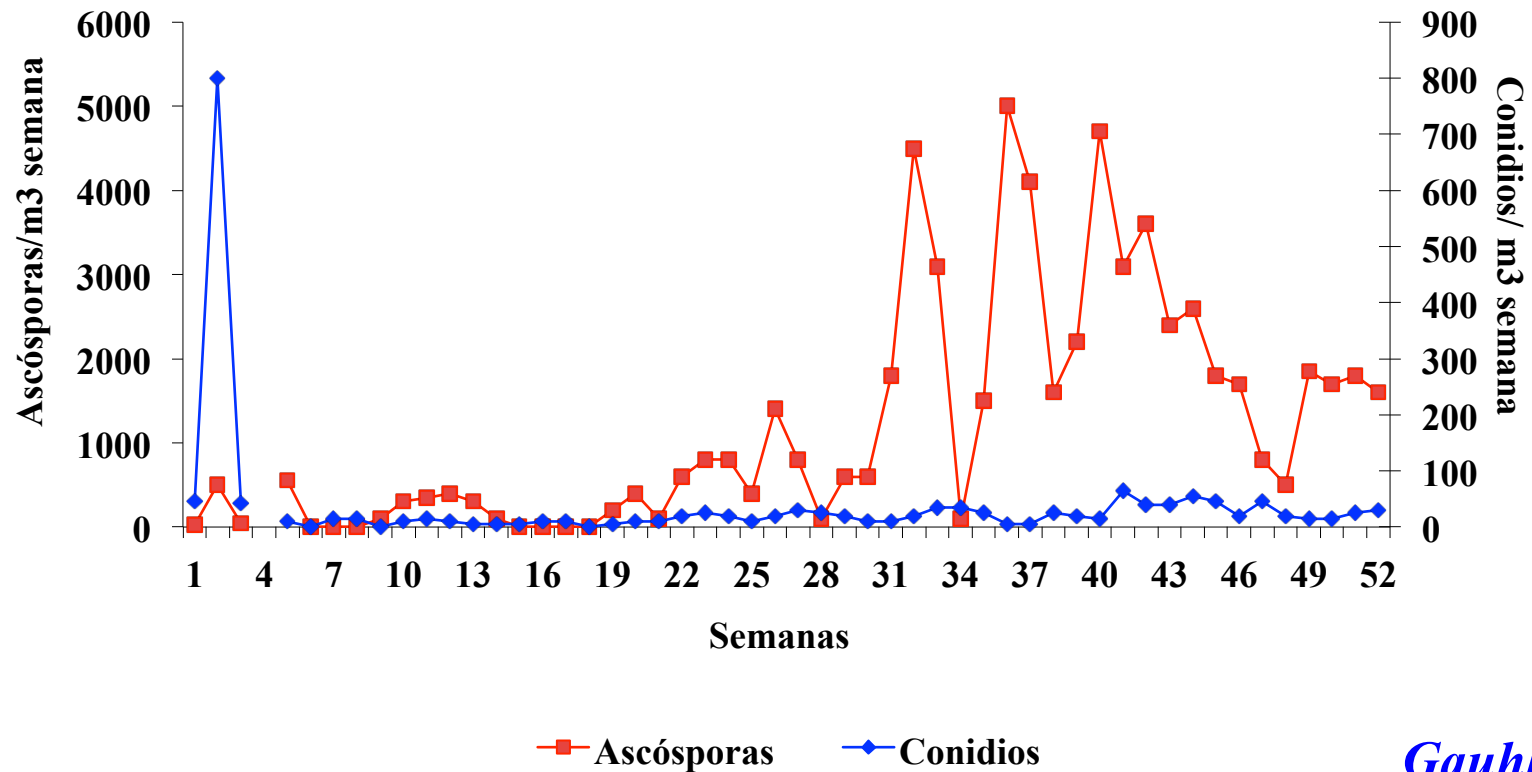


Densidad de propágulos

- ▶ Componente importante en el desarrollo de la epidemia
- ▶ Disponibilidad
- ▶ Viabilidad
- ▶ Dispersabilidad
- ▶ Contribuyen a la tasa de desarrollo, la duración y distribución geográfica
- ▶ No se usa comercialmente en Sigatoka negra



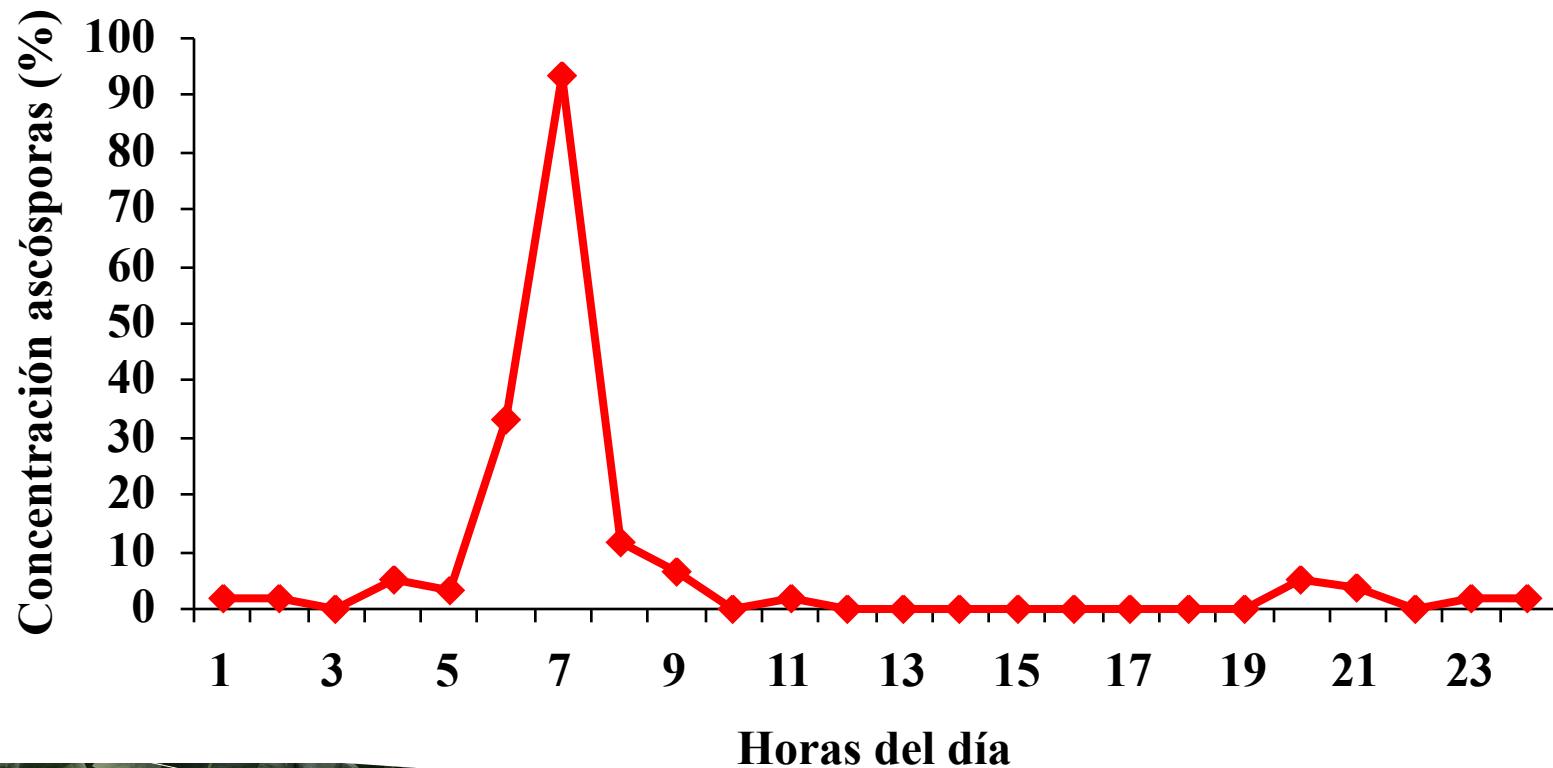
Liberación semanal de esporas por M. fijiensis en plátano



Gauhl, 1989



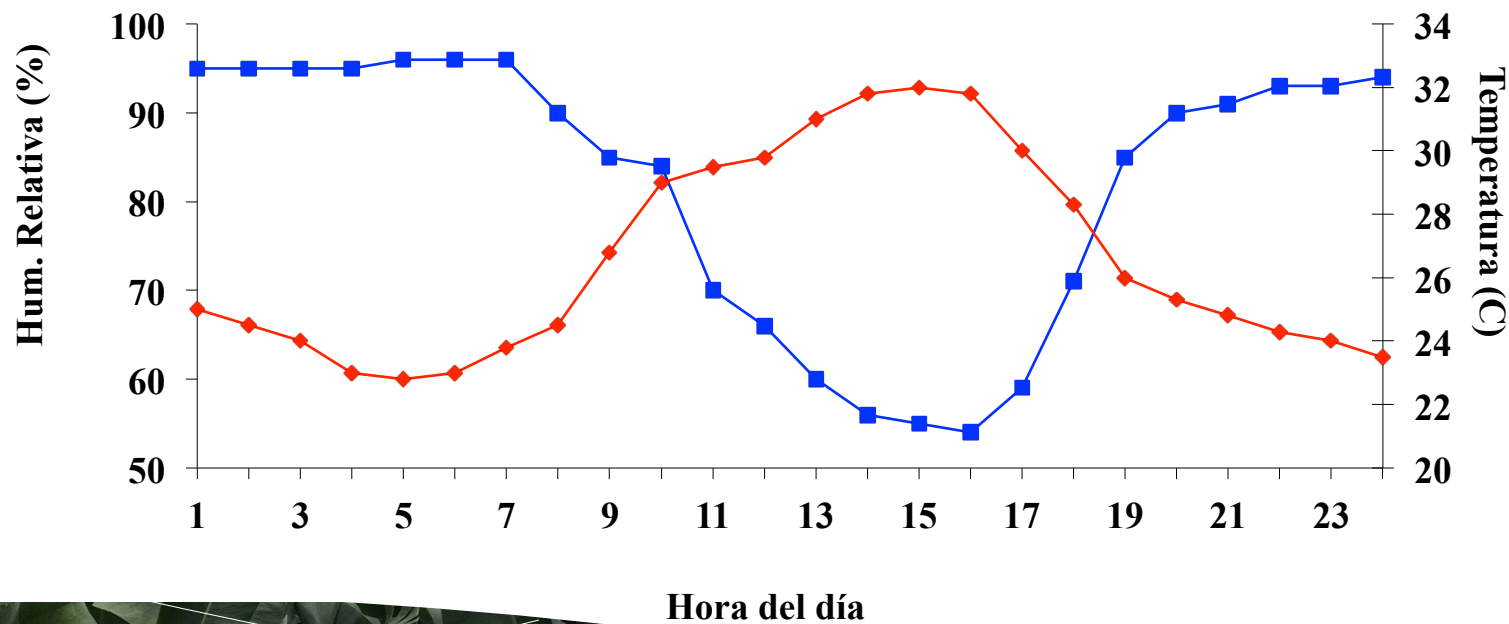
Liberación diaria de ascósporas por M. fijiensis en plátano



Gauhl, 1989



Temperatura y Humedad Relativa horaria en Siquirres, Costa Rica



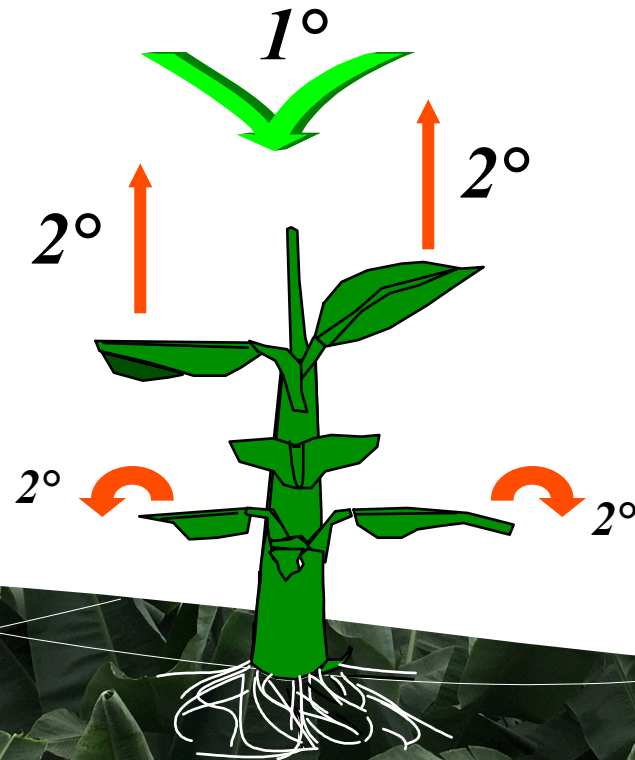
Dispersión de propágulos

- ▶ Movimiento de los propágulos del lugar donde fueron formados
- ▶ Dispersión aérea:
 - ✦ **Liberación:** esporas son expulsadas al aire
 - ✦ **Transporte:** movimiento de los propágulos
 - ✦ **Deposición:** llegada del propágulo a una superficie, por sedimentación o impactación

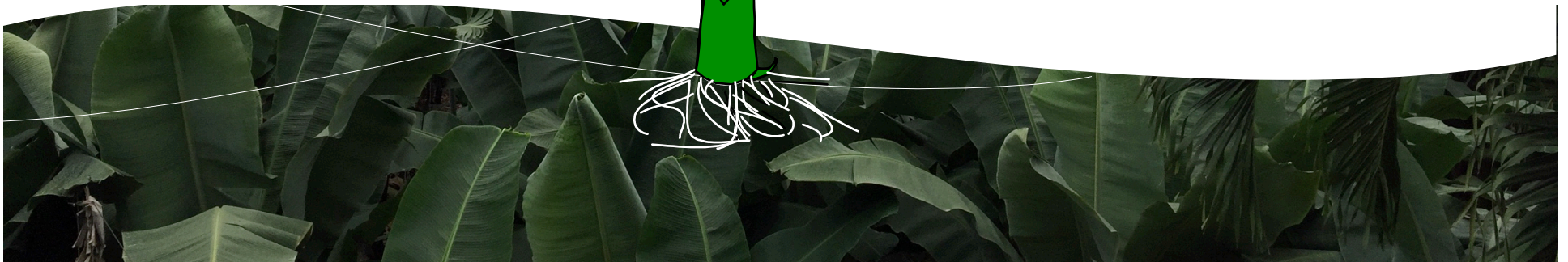


Disponibilidad de inóculo en una plantación de banano/plátano

Movimiento lateral por viento



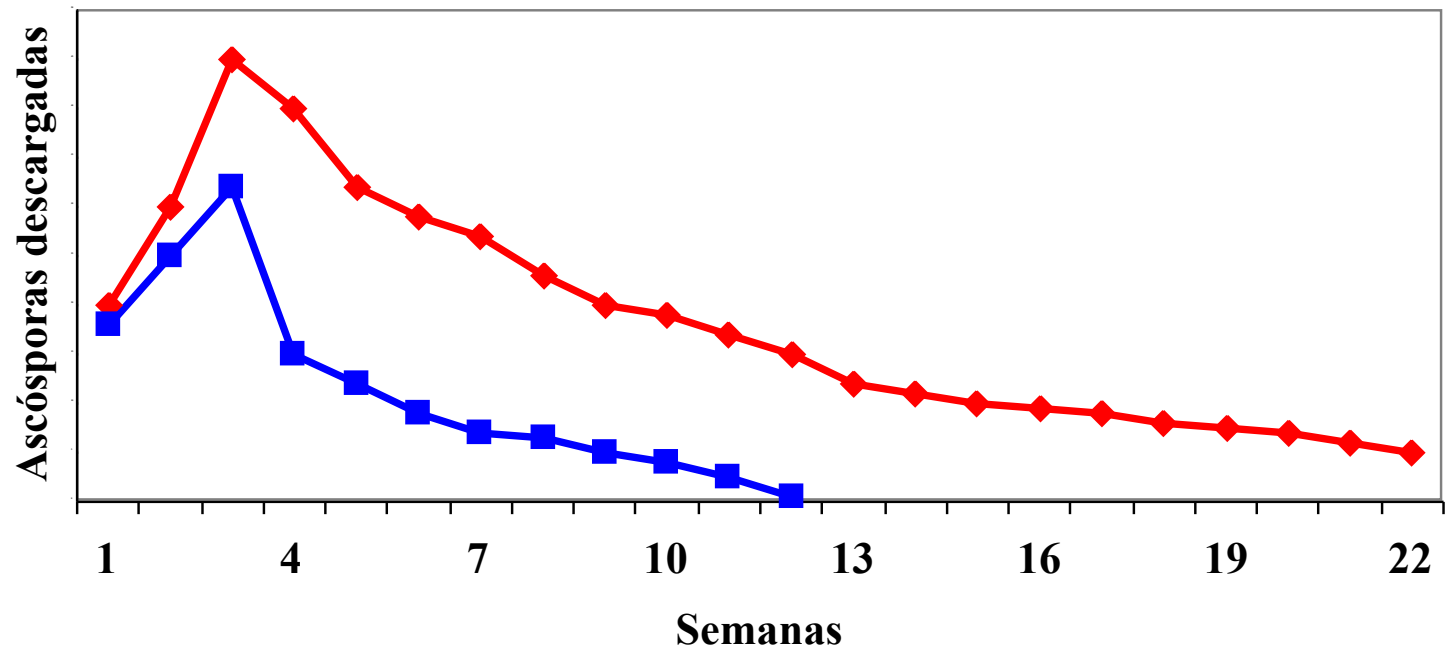
Salpique



Deshoja Sanitaria (Manejo de inóculo)



Ascósporas descargadas desde tejido necrótico



—◆— Planta —■— Suelo

*Marín y Romero, 1988
Datos sin publicar*

Criterios para la Deshoja Sanitaria

- ***Planta joven:*** deshoja total o parcial, suficientes hojas por producir
- ***Planta próxima o parida:*** despunte y cirugía, concepto más conservador



Criterios para la Deshoja Sanitaria



Planta joven: deshoja total/parcial



Criterios para la Deshoja Sanitaria



Planta adulta/parida:



despunte y cirugía

Efecto de fungicidas protectantes en la producción de inóculo

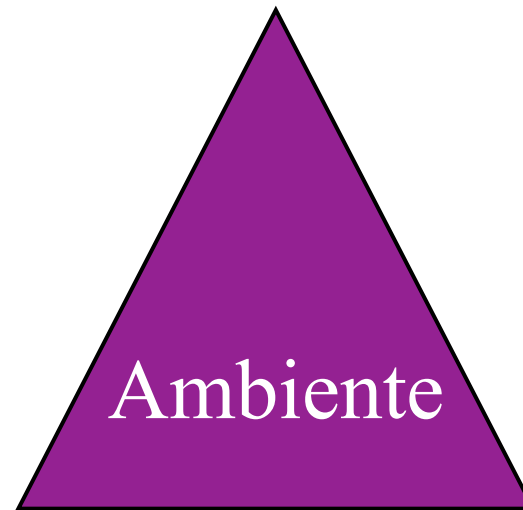
	Pseudotecios	
	Número	Reducción* (%)
Chlorotalonil	108.7	26.2
Mancozeb	117.2	20.4
Control	147.3	-

	Ascósporas	
	Número	Reducción* (%)
Chlorotalonil	56.8	42.2
Mancozeb	25.6	73.9
Control	98.2	-

Guzmán y Romero, 1998



Manejo del
Cultivo



Manejo del
Agua

Manejo del
Suelo



Ambiente

❖ Variables climáticas:

- Lluvia
- Humedad relativa
- Temperatura
- Viento, entre otras.

❖ Condiciones microclimáticas:

- Manejo del cultivo

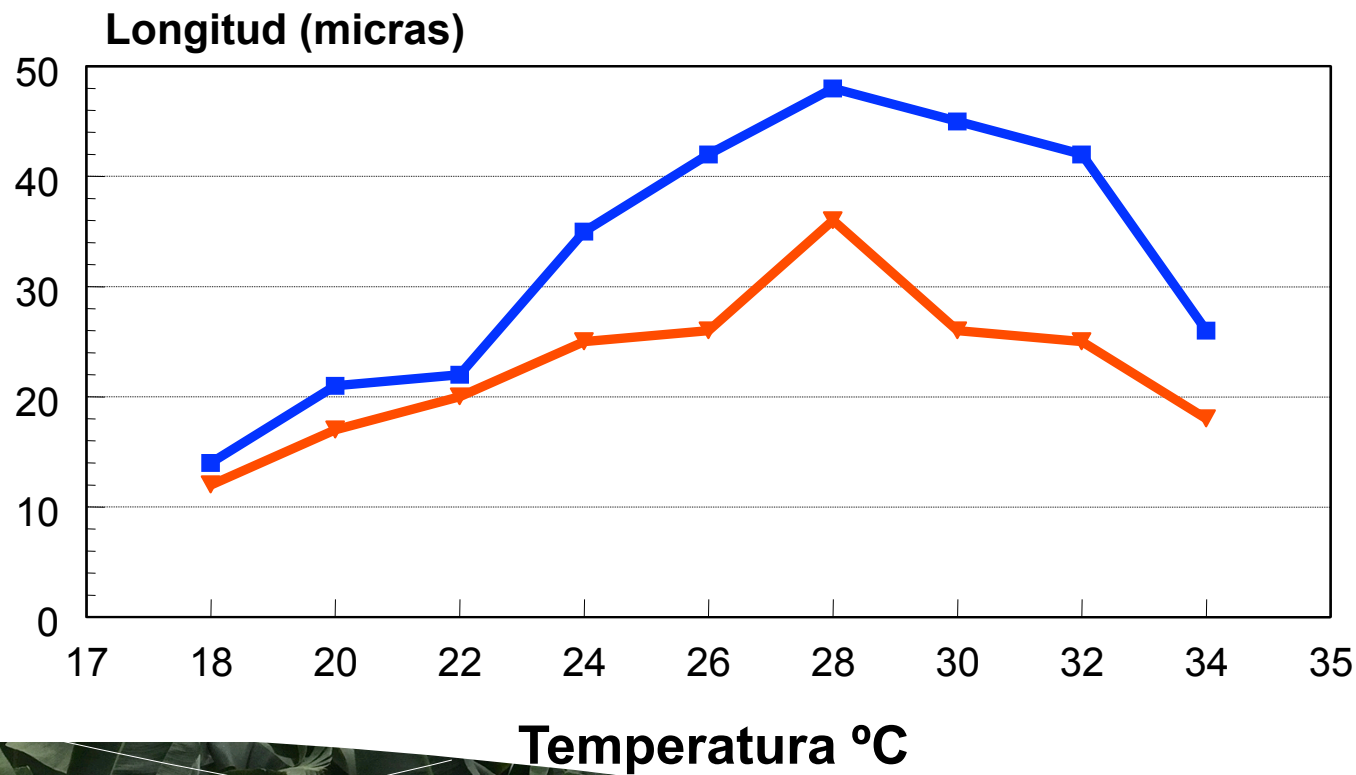


Proceso de Infección de M. fijiensis

- ▶ Germinación y penetración ➡ 48 - 96 hr
- ▶ Período de crecimiento epifítico antes de penetrar la hoja ➡ hasta 6 días
- ▶ Penetración por estomas
- ▶ Favorecida por alta temperatura y humedad relativa, en especial agua libre
- ▶ Posterior a penetración se da un crecimiento intercelular
- ▶ Mayoría de infecciones ocurren por el envés



Efecto de la temperatura sobre el crecimiento de ascósporas



■ *M. fijiensis* ▼ *M. musicola*

Stover, 1983

Efecto de la evaporación piché sobre el desarrollo de M. musicola

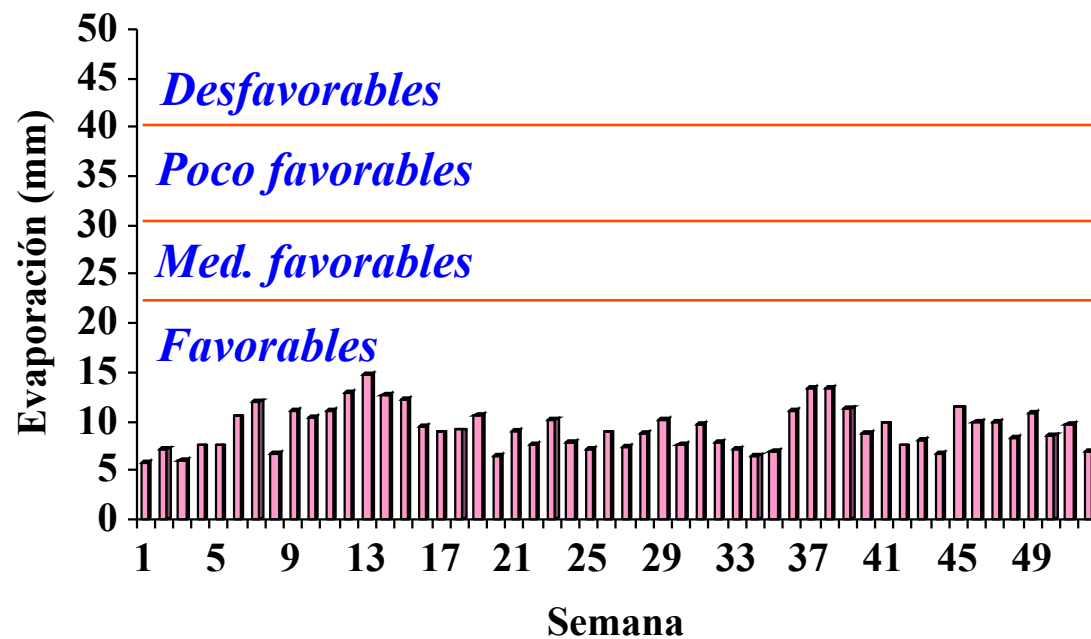
Evaporación (mm/semana)	Condiciones p/ desarrollo enfermedad
< 22	Favorables
22 – 30	Med. favorables
30 – 40	Poco favorables
> 40	Desfavorables

Ganry y Meyer, 1972



Evaporación piché semanal

Siquirres, Costa Rica



Manejo Integrado del Cultivo

- Fertilización Balanceada

- Dosis

- Fuente

- Frecuencia

Predisposic



Manejo Integrado del Cultivo

- Fertilización Balanceada
- Drenaje adecuado



Efecto de la condición de drenaje en la producción de la planta de banano

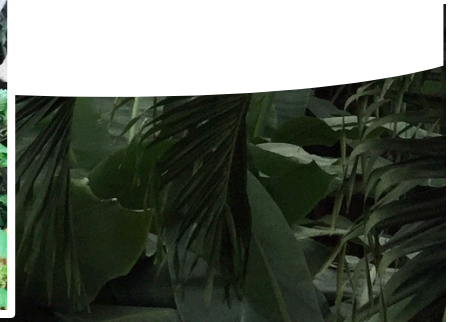
Nivel Freático (m)		Peso de Racimo (kg)
Promedio	Rango	
1.10	0.50 – 1.65	34.9
1.37	0.71 – 1.81	38.0
1.75	1.04 – >1.96	42.3

Sancho, 1993



Manejo Integrado del Cultivo

- Fertilización Balanceada
- Drenaje adecuado
- Manejo de Nemátodos
(Sanidad Radical)



Manejo Integrado del Cultivo

- Fertilización Balanceada
- Drenaje adecuado
- Manejo de Nemátodos
- Manejo de Malezas/Coberturas

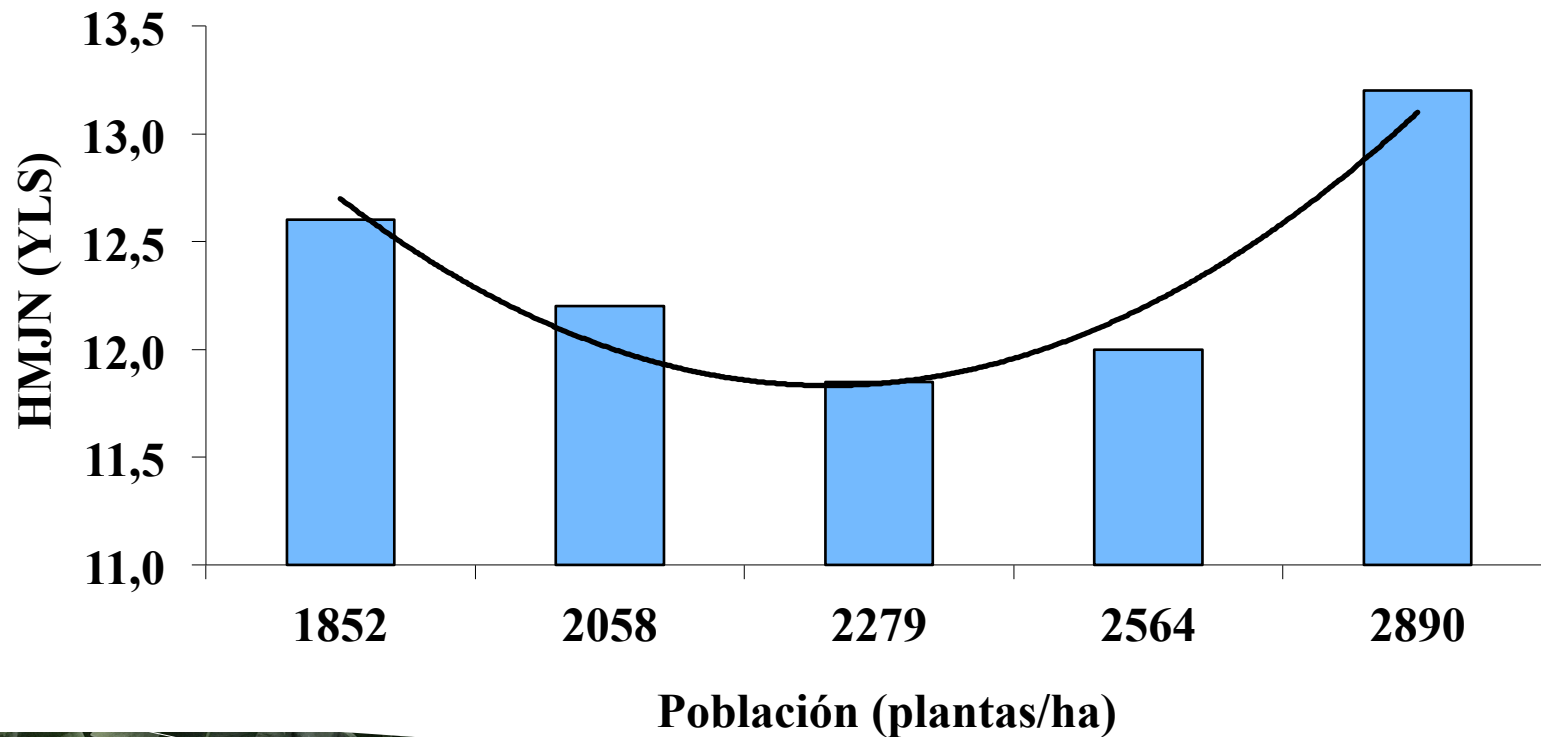


Manejo Integrado del Cultivo

- Fertilización Balanceada
- Drenaje adecuado
- Manejo de Nemátodos
- Manejo de Malezas/Coberturas
- Densidad de plantas



Hoja más joven con necrosis en diferentes poblaciones de banano



Manejo Integrado del Cultivo

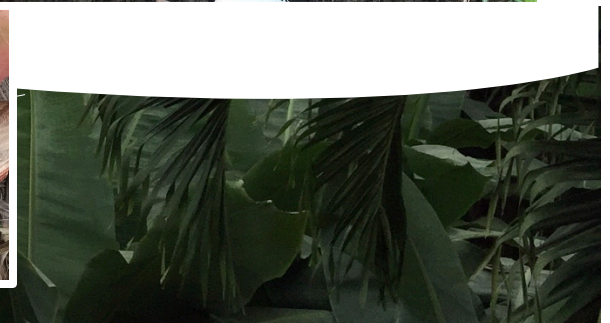
- Fertilización Balanceada
- Drenaje adecuado
- Manejo de Nemátodos
- Manejo de Malezas/Coberturas
- Densidad de plantas
- Otras plagas y enfermedades
 - Virosis (“Mosaico”)
 - “Falso Mal de Panamá”



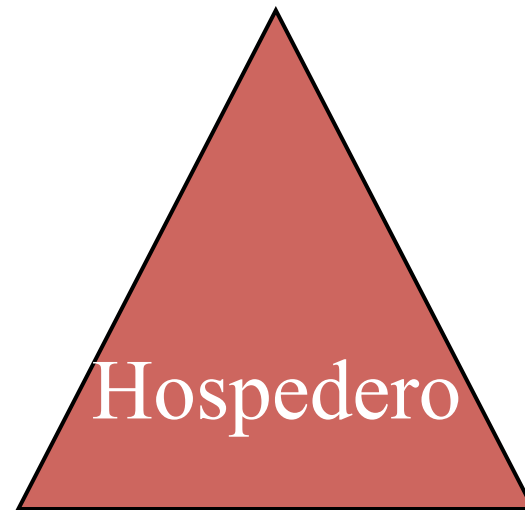
Virosis (“Mosaico”)



“Falso Mal de Panamá”



Resistencia



Nutrición

Protección



Hospedero

- ▶ Cultivares del género *Musa*
- ▶ Susceptibilidad variable
- ▶ ***Bananos de exportación:*** subgrupo Cavendish (Valery, Grande Naine, Williams) ➡ **Susceptibles !!**
- ▶ ***Plátanos:*** Curraré o Falso Cuerno, Dominico (French), Dominico Harton ➡ **Susceptibles !!**



Hospederos Susceptibles



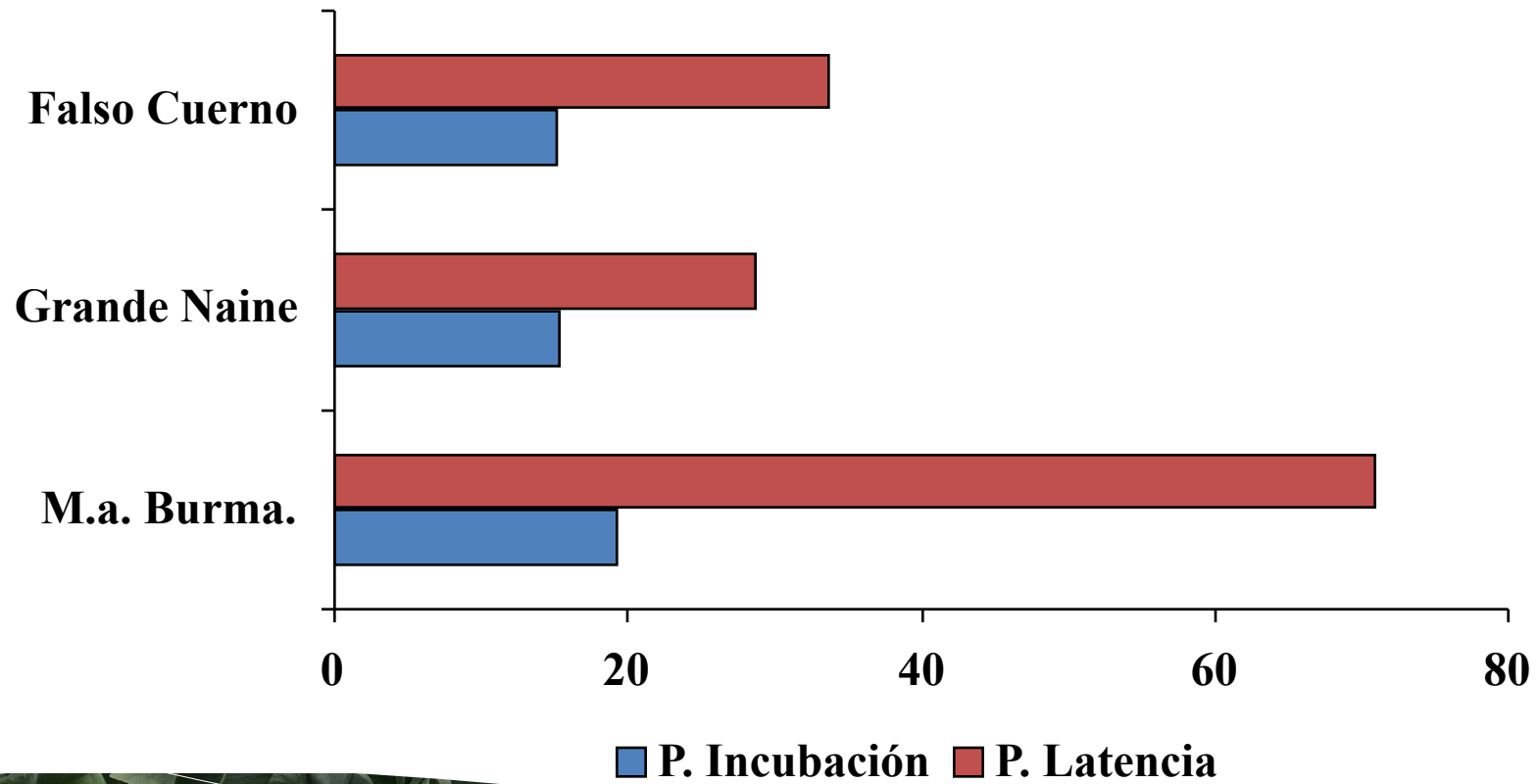
Grande Naine



Falso Cuerno



Período de Incubación y Latencia



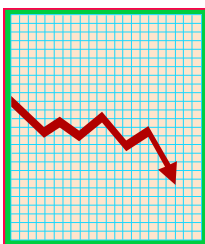
Manejo de la Sigatoka negra

- Manejo integrado del cultivo
- Manejo de inóculo (Deshoja, despunte y cirugía)
- Rotación de fungicidas de modo de acción diferente
- Equipo de aplicación



Muestreos para determinar niveles de infección

Estrategia de control



Equipo e instalaciones



Sigatoka negra

Investigación



Condiciones climáticas

Hojas a la cosecha y producción



Muestreos de campo



FINCA: _____

SEMANA: ____

Parámetro	Anterior	Actual
HMJE		↑
HMJN		↓
Hojas Cosecha		↑
Ind. Severidad		↓

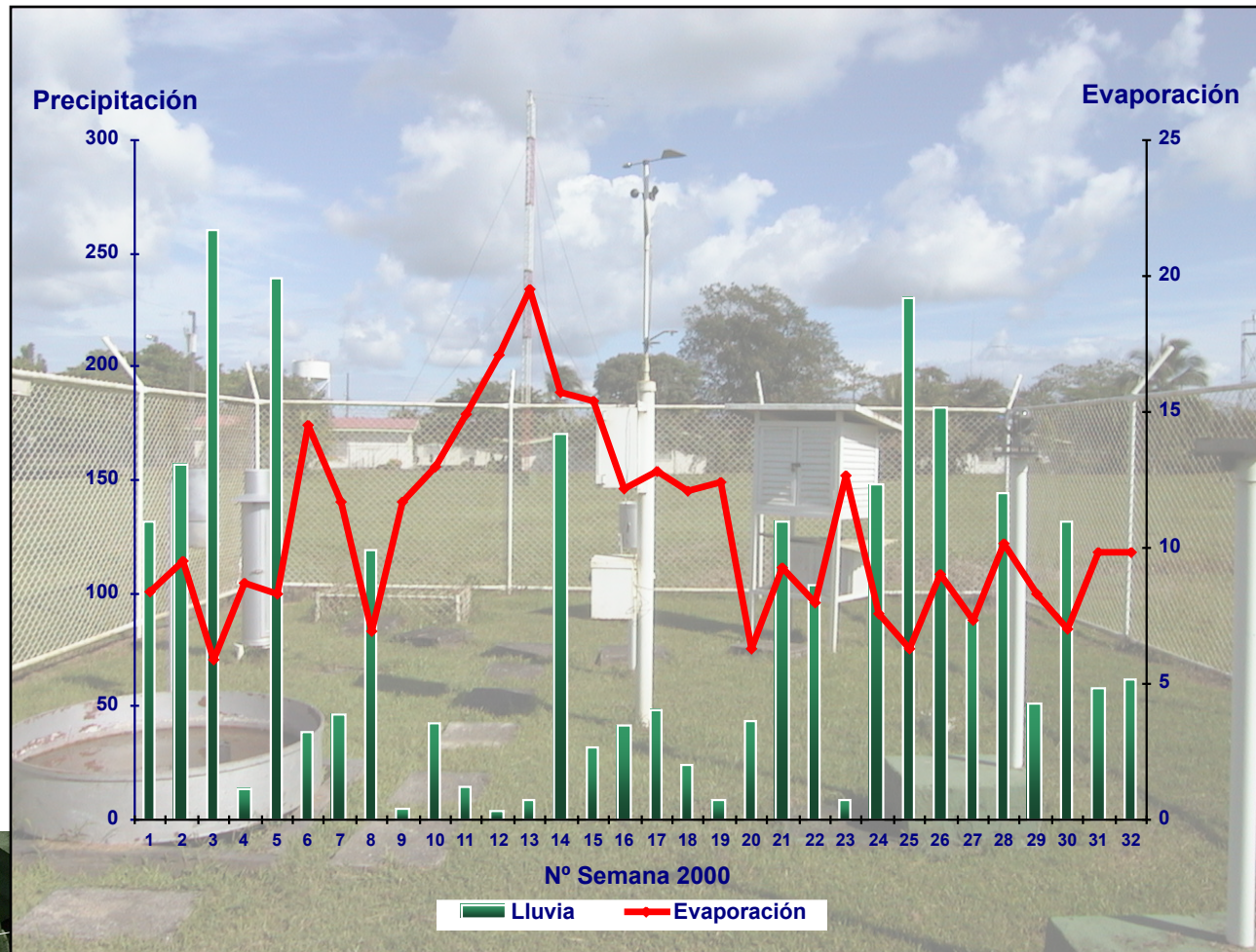
Datos de campo para determinar el nivel de infección y ubicación de la enfermedad.

Sistemas de Evaluación

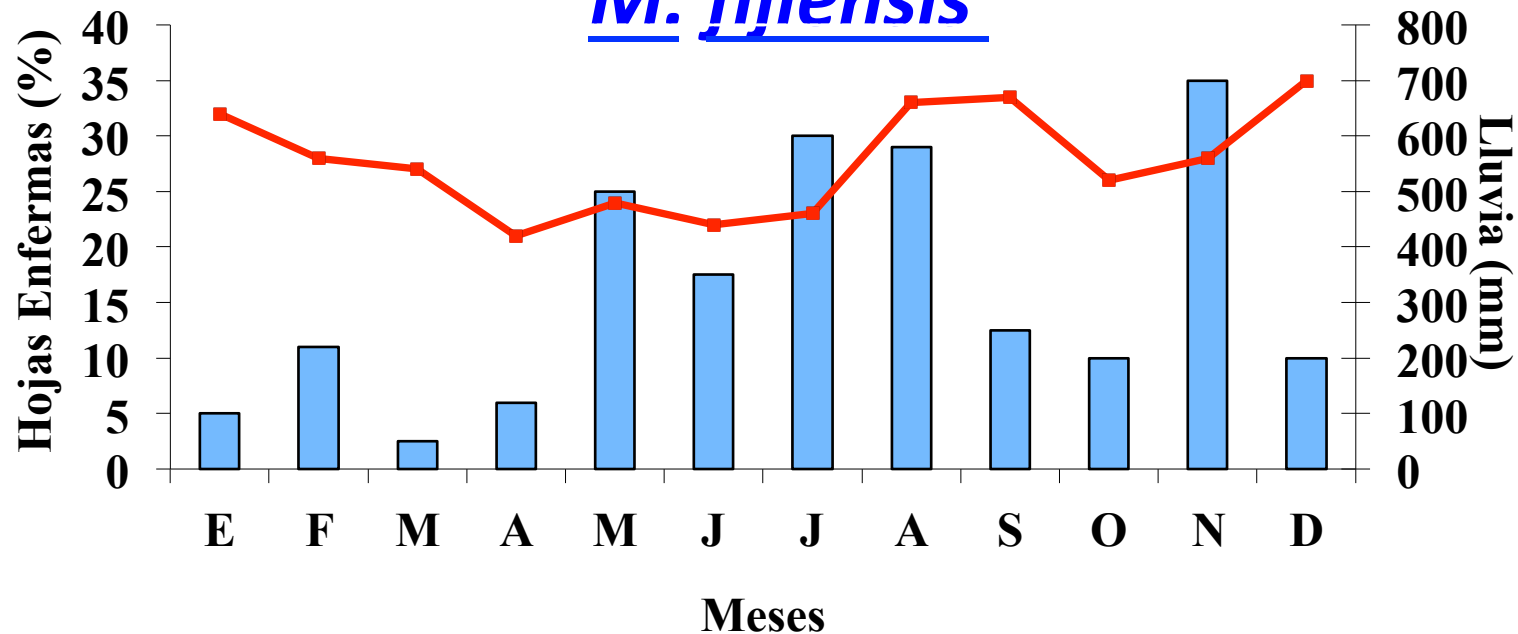
- ***Intensidad de la Enfermedad:***
 - ***Incidencia: cantidad de plantas enfermas***
 - ***Severidad: cantidad de tejido enfermo***
 - ***Escala de Stover modificado por Gauhl (1989)***
- ***Desarrollo de la Enfermedad (Síntomas):***
 - ***Evolución de Síntomas***
 - ***Estadios de Fouré (1985)***



Variables de Clima



Variación estacional de la infección de M. fijiensis



■ Lluvia — Hojas enfermas

Mejorar conocimiento de la enfermedad

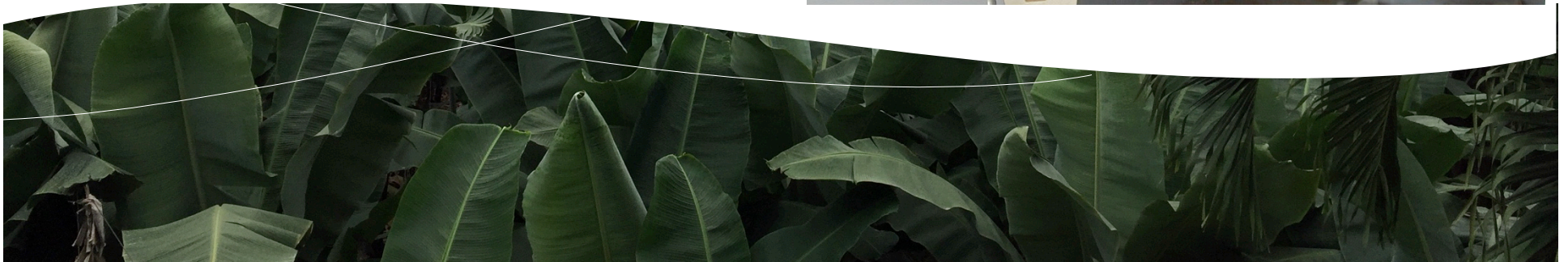
Equipos de aplicación eficientes



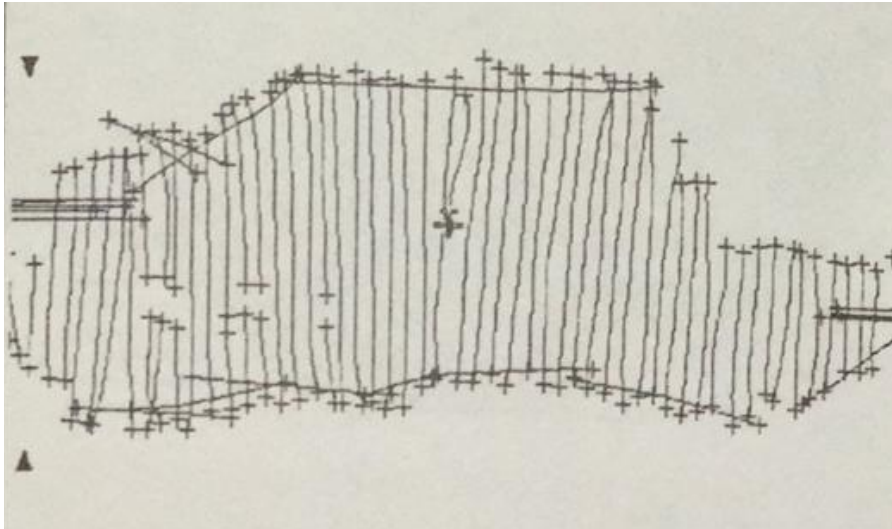
Equipados con sistemas de GPS



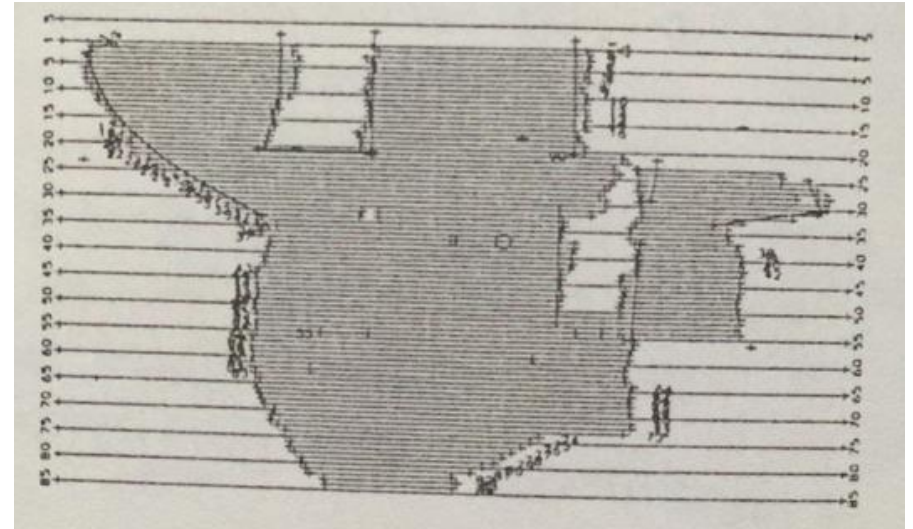
Bandereo Electrónico



Cobertura de aplicación



Bandereo Manual



Bandereo Electrónico



Resumen de Trabajo (Sumaria de líneas)

FileTrac 2005 - [Target Flow/GSI Special] [F050A_02.B19 - Field(s) Summary]

File Edit Display Tools Window Help

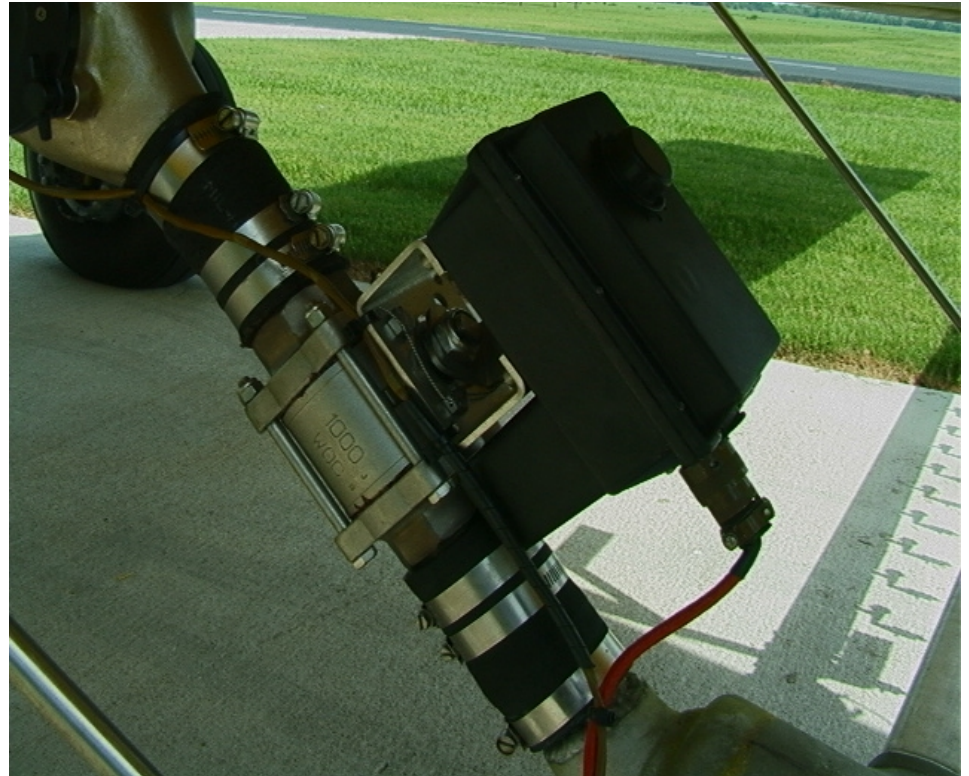
Filename	F050A_02.B19	Date	20/01/2004	Crop	NA
Field	NA	Aircraft ID	TG-DIF	Chemical	NA
Offset	Left	Pilot	V-TREX	Altitude	84.00 m
Swath	24.40 m	Supervisor		Wind H	0.00 Mph
Avg Trk Err	0.51 m	Avg Speed	145.67 Mph	Avg Turn	25.75 sec
Spray Time	0h 47m 29s	Total Area	452.71 ha	Avg Temp	NA
Turn Time	0h 37m 31s	Total Vol	8894.70 Lts	Diff Temp	NA
Ferry Time	0h 21m 31s	Volume/area	19.02 L/ha	Total OTOE	9.22 ha
Flight Time	1h 46m 33s	Volume/time	124.11 lpm	Total Length	185.537 Km
% OTE >	2.93 %	Time OTE >	0h 3m 7s	Area OTE >	13.28 ha
% Speed <	1.72 %	Time Speed <	0h 1m 49s	Area Speed <	7.79 ha
% Speed >	7.35 %	Time Speed >	0h 7m 53s	Area Speed >	33.44 ha

Field	Line	Start Time	Flight	Len (m)	Speed (..)	Area (..)	OTOE	Vol (L/..)	AvgErr (..)	Turn (..)	Tempe..	Rel/Humi	Skip	% Tr	% Sp	% Sp	% R	% R	% Te	% Te	% H	% H
50	93 L	08:48:41.63	63.4	4036.7	142.5	9.85	0.279	13.3	0.7	0	0.0	0.0		4	0	0	0	93	0	0	0	100
50	93 L	08:50:07.23	8.1	526.0	144.6	1.28	0.023	12.9	0.4	17	0.0	0.0		0	0	0	0	80	0	0	0	100
50	117 L	08:51:25.79	57.0	3677.3	144.4	8.97	0.177	13.0	0.5	70	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	94 L	08:53:13.22	61.7	4070.4	147.6	9.93	0.141	13.0	0.3	50	0.0	0.0		2	0	28	0	94	0	0	0	100
50	94 L	08:54:35.85	6.5	436.1	150.3	1.06	0.028	13.2	0.6	18	0.0	0.0		0	0	88	0	75	0	0	0	100
50	118 L	08:55:34.29	56.0	3672.3	146.7	8.96	0.128	13.0	0.3	52	0.0	0.0		0	0	0	0	96	0	0	0	100
50	95 L	08:57:10.38	65.2	4250.8	145.8	10.37	0.161	13.0	0.4	40	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	95 L	08:58:33.58	6.3	414.5	148.1	1.01	0.024	13.1	0.6	18	0.0	0.0		0	0	25	0	75	0	0	0	100
50	119 L	08:59:29.79	56.3	3695.7	146.9	9.02	0.124	13.0	0.3	50	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	96 L	09:01:02.67	64.5	4215.5	146.1	10.29	0.174	13.0	0.4	37	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	96 L	09:02:25.23	4.6	303.4	148.8	0.74	0.032	13.0	1.1	18	0.0	0.0		17	0	67	0	67	0	0	0	100
50	120 L	09:03:15.85	56.5	3698.8	146.4	9.03	0.180	13.0	0.5	46	0.0	0.0		5	0	0	0	97	0	0	0	100
50	97 L	09:04:49.24	64.0	4190.9	146.5	10.23	0.146	13.0	0.3	37	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	97 L	09:06:11.64	4.3	283.8	149.0	0.69	0.016	13.2	0.6	18	0.0	0.0		0	0	50	0	67	0	0	0	100
50	121 L	09:07:01.04	56.4	3720.4	147.7	9.08	0.138	13.0	0.4	45	0.0	0.0		0	0	19	0	97	0	0	0	100
50	98 L	09:08:35.51	60.2	3930.0	146.1	9.59	0.228	13.1	0.6	38	0.0	0.0		0	0	0	0	92	0	0	0	100
50	98 L	09:09:57.96	2.7	177.3	149.1	0.43	0.002	13.7	0.1	20	0.0	0.0		0	0	75	0	50	0	0	0	100
50	122 L	09:10:44.90	56.4	3717.8	147.5	9.07	0.111	13.0	0.3	44	0.0	0.0		0	0	0	0	98	0	0	0	100
50	99 L	09:12:20.02	58.1	3849.5	148.3	9.39	0.207	13.0	0.5	39	0.0	0.0		0	0	10	0	92	0	0	0	100
50	99 L	09:13:41.18	2.5	165.1	150.7	0.40	0.004	13.4	0.2	21	0.0	0.0		0	0	100	0	50	0	0	0	100
50	123 L	09:14:27.99	57.6	3774.7	146.6	9.21	0.198	13.0	0.5	44	0.0	0.0		0	0	0	0	97	0	0	0	100
50	124 L	09:16:39.52	57.0	3787.1	148.7	9.24	0.214	13.0	0.6	74	0.0	0.0		7	0	40	0	97	0	0	0	100
50	100 L	09:18:10.27	36.7	2403.1	146.4	5.86	0.157	12.9	0.7	34	0.0	0.0		2	0	10	0	88	0	0	0	100
50	100 L	09:29:50.77	23.7	1539.7	145.2	3.76	0.062	13.0	0.4	661	0.0	0.0		0	0	0	0	92	0	0	0	100
50	125 L	09:31:48.89	56.9	3697.7	145.4	9.02	0.325	13.0	0.9	94	0.0	0.0		17	0	0	0	97	0	0	0	100
50	101 L	09:33:26.46	61.9	3972.3	143.5	9.69	0.434	13.0	1.1	41	0.0	0.0		24	0	0	0	97	0	0	0	100
40	126 L	09:34:42.44	42.1	3677.4	147.8	8.73	0.210	13.0	0.6	24	0.0	0.0		7	0	30	0	96	0	0	0	100

Boquillas de presión constante (CP Nozzles)



Medidores de flujo



Control Químico

- Pérdida de sensibilidad a la mayoría de los fungicidas sistémicos
- Disminución en las “armas químicas” en contra de la enfermedad
- Aumento en la presión de uso de fungicidas sistémicos ➡ mayor presión de selección ➡ futuro incierto ?



Fungicidas Protectantes

- ❖ Multi-sitio
- ❖ Bajo riesgo de resistencia
- ❖ Alta cantidad de aplicaciones (intervalos cortos)
- ❖ Uso en períodos de baja precipitación
- ❖ Ayudan a reducir la cantidad de aceite
- ❖ Estrategia anti-resistencia



Fungicidas Protectantes

- ◆ Mancozeb (*Mancozin, Flonex*)
- ◆ Chlorothalonil (*Bravonil, Odeon, Echo 720*)
- ◆ Thiram (*BanaShield, Fungithrow*)
- ◆ Metiram (*Polyram*)
- ◆ *Bacillus subtilis* (*Serenade*)
- ◆ Timorex (Extracto árbol de té)
- ◆ Fosfito de potasio + Sulfato de cobre (*MusaCare CP*)



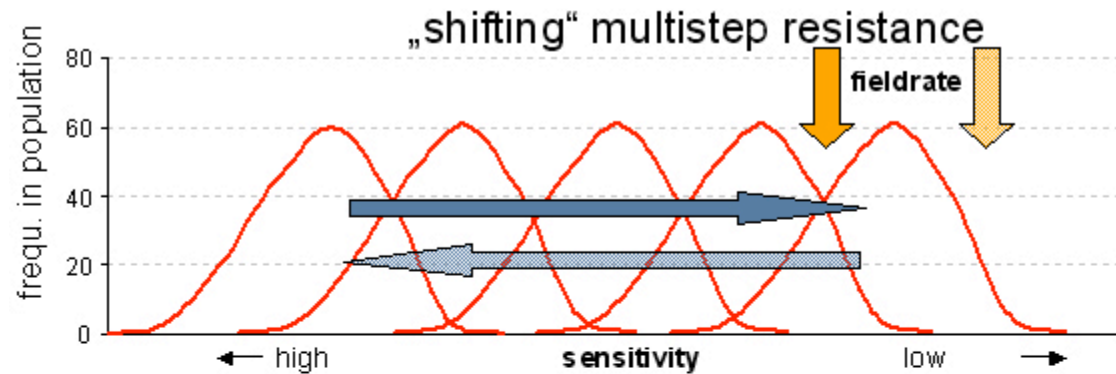
Fungicidas Sistémicos

- ❖ Sitio-específico
- ❖ Alto riesgo de resistencia
- ❖ Pocas moléculas disponibles
- ❖ Rotación de moléculas del mismo modo de acción
- ❖ Períodos libres de aplicación
- ❖ Mezcla con protectantes
- ❖ Alto costo

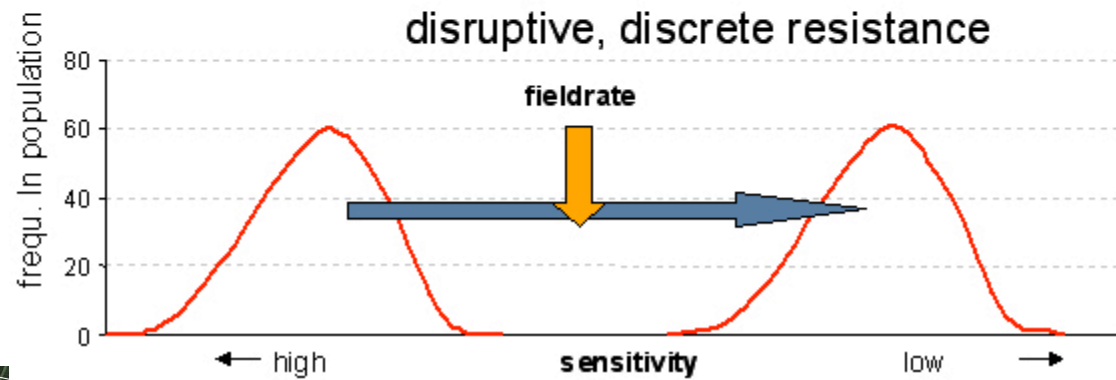


Tipos de resistencia

Continua



Disruptiva



Fungicidas Sistémicos

- ◆ Triazoles o DMI's (*Tilt, Defender, Bucaner*)
- ◆ Estrobilurinas o Qol's (*Priori, Abacus*)
- ◆ Aminas (*Calimorph, Bantrix, Volley*)
- ◆ Anilinopyrimidinas (Siganex)
- ◆ Carboxamidas o SDHI (Cumora, Reflect)
- ◆ Guadinidas (Syllit)
- ◆ Benzimidazoles (Benlate, Carbendazim)



Uso de fungicidas en banano

Recomendaciones de FRAC (2018)

Fungicida	Ciclos Máximo	Proporción (%)	Aplicación
Triazoles (T)	8	<50	Mezcla
Aminas (A)	15	<50	Solo, mezcla (2)
Estrobilurinas (E)	3	<33	Mezcla, NB (3 m)
Benzimidazoles (B)	3	<33	Mezcla, NB (3 m)
Anilopirimidinas (AP)	8	<50	Mezcla, NB
Carboxamidas (C)	3	<33	Mezcla, NB (3 m)
Guanidinas (G)	6	<33	Mezcla, NB
Protectantes (P)	No hay	-	Sólo, mezcla, bloque

Nuevos grupos: *toluamidas, fenilcarbamatos, inhibidores Qi.*

Aceite Agrícola

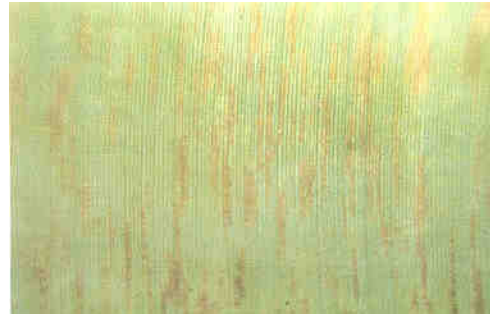
- ❖ Efecto fungistático
- ❖ Mejora la distribución de los fungicidas
- ❖ Mejora la penetración de los fungicidas sistémicos
- ❖ Mejora la tenacidad de los fungicidas
- ❖ Efecto fitotóxico (“mal necesario”)



Estadios de Desarrollo de la Sigatoka negra



Estadio 2



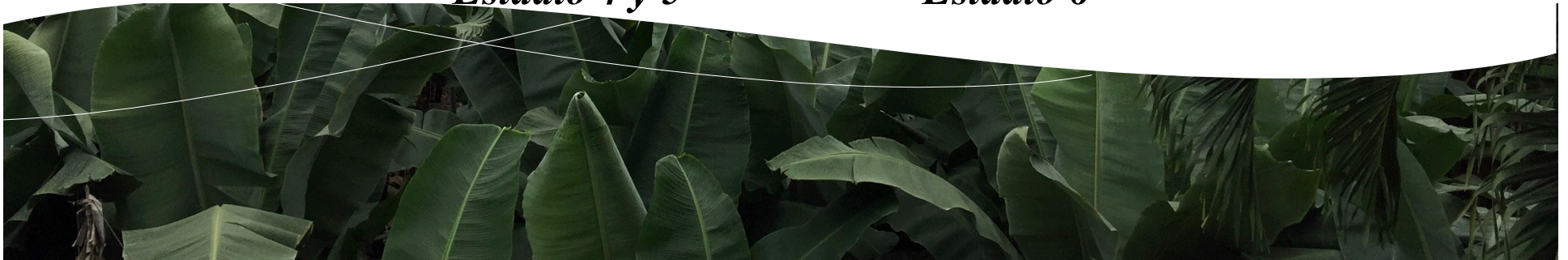
Estadio 3



Estadio 4 y 5



Estadio 6



Desarrollo de síntomas causados por M. fijiensis en banano

	Testigo	Aceite
Candela	10.24	10.47
0	15.81	17.93
1	5.24	6.32
2	4.68	9.31
3	3.30	5.32
4	2.70	4.03
5	3.24	4.25
Per. Incubación	26.05	28.30
Per. Latencia	45.21	55.48



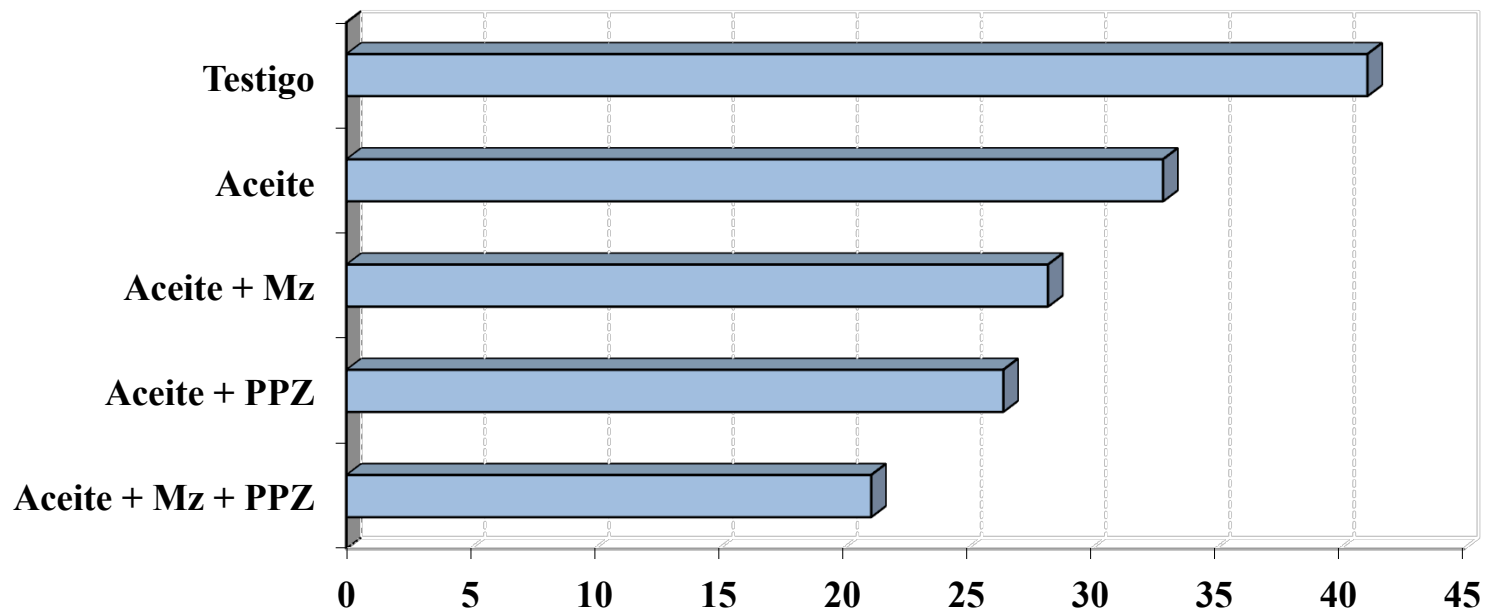
Marín y Romero, 1991

Coadyuvantes

- ❖ Emulsificantes: mezclas agua + aceite
- ❖ Pegantes (“Stickers”): fungicidas base agua
- ❖ Reguladores de pH (aguas duras): mejoran la “vida media” de los fungicidas



Efecto de diferentes componentes en la mezcla fungicida



*Área bajo la curva de progreso de enfermedad.
Testigo sin control; Mz: mancozeb; PPZ: propiconazole

Severidad*

Guzmán y Romero, 1996



Información mínima requerida para la evaluación del programa de control Sigatoka

- ☐ *Programa de aplicaciones (producto, dosis, frecuencia)*
- ☐ *Niveles de infección*
- ☐ *Información climática*
- ☐ *Información de sensibilidad a fungicidas*
- ☐ *Disponibilidad de productos (fungicidas, aceites, emulsificantes, etc)*



Información mínima requerida para la evaluación del programa de control Sigatoka



Futuro del control de Sigatoka negra y el manejo de la sensibilidad

- Mayor dependencia en fungicidas protectantes
- Menor uso de fungicidas sistémicos
- Estrategias basadas en mecanismos anti-resistencia (FRAC)
 - Rotación de fungicidas de modo de acción distinto
 - Mezcla de fungicidas de modo de acción distinto (protectantes, sistémicos)



Futuro del control de Sigatoka negra y el manejo de la sensibilidad

- Mejorar manejo de las prácticas culturales incluyendo “el inóculo”
- Mantener programas de monitoreo de sensibilidad
- **RECORDAR:** *“El manejo de la Sigatoka negra debe ser integral, regional y sostenible (en el tiempo y el espacio).”*





Gracias!

Río Celeste, Costa Rica