

# “USO DE LA METEOROLOGIA EN EL COMBATE DE ENFERMEDADES FITOPATOGENAS

Francisco Jiménez Otárola

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)  
Turrialba

## RESUMEN

El uso de la meteorología en el combate de enfermedades fitopatógenas representa una opción importante al uso unilateral de plaguicidas ya que puede contribuir a racionalizar el uso de esos productos, a reducir los costos de producción y a mantener los cultivos en buen estado sanitario, dentro de un marco de respeto al ambiente y a la salud humana. En este trabajo se presenta, inicialmente, la influencia de algunas variables meteorológicas (agua, temperatura, viento, radiación y humedad del suelo) sobre las enfermedades de las plantas. Luego se analiza a nivel general y para el caso particular de Costa Rica, el papel de la meteorología en el combate de las enfermedades por medio del manejo del microclima (aéreo, edáfico, en invernaderos y durante el transporte y almacenamiento de productos agrícolas), la evitación, la termoterapia y de los sistemas meteorológicos y biometeorológicos de preaviso. Sobre este último método se presenta el ejemplo de algunos sistemas de pronóstico conocidos o de uso potencial en Costa Rica. Se hace énfasis a la utilidad permanente de esos procedimientos agrometeorológicos en el manejo integrado de las enfermedades fitopatógenas y en la necesidad de dedicar más esfuerzos a su investigación, mejoramiento y uso más intensivo.

## INTRODUCCION

Desde tiempos remotos se sabe que el clima tiene una gran influencia en el desarrollo de las enfermedades de las plantas, pero es principalmente durante el siglo XX que se han hecho estudios cuantitativos. Como consecuencia, el conocimiento de la biología de las enfermedades ha mejorado y la influencia del clima sobre el ciclo biológico y la actividad de los patógenos ha llegado a ser mejor conocida.

El interés práctico del conocimiento de esas interrelaciones cuantitativas se fundamenta en determinar cuáles medidas deben o pueden tomarse contra los organis-

mos fitopatógenos, de manera que solamente los tratamientos que son estrictamente necesarios sean aplicados y se efectúen además en el momento oportuno.

Por otra parte, las dimensiones de los problemas planteados por el deterioro ecológico y la destrucción de los recursos naturales requieren de métodos más adecuados y eficaces de plantearse el combate de las enfermedades. La contaminación ambiental producida en buena parte por el uso indiscriminado de agroquímicos sintéticos representa una amenaza de proporciones mundiales, que no conoce fronteras naturales, políticas, sociales ni económicas.

La consideración de las condiciones meteorológicas en la prevención y el combate de las enfermedades, así como el uso de sistemas de pronósticos meteorológicos y biometeorológicos son herramientas muy importantes en racionalizar el uso de agroquímicos, reducir los costos de producción y también mantener los cultivos en buenas condiciones fitosanitarias.

Este trabajo contiene tres partes principales. Un resumen del efecto de los elementos meteorológicos sobre las enfermedades fitopatógenas. Este es importante para una mejor comprensión de la segunda parte que se refiere específicamente al uso de la meteorología en el combate de las enfermedades. En la tercera se presentan las conclusiones y las recomendaciones.

## PRINCIPALES EFECTOS DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS SOBRE LAS ENFERMEDADES DE LAS PLANTAS

Los efectos de las condiciones meteorológicas y climáticas sobre las enfermedades de las plantas son complejos debido a que son consecuencia de acciones sobre la planta y el patógeno, y de su interrelación. Así, un agente fitopatógeno no puede ser considerado aisladamente; pertenece a un agroecosistema que puede esquematizarse con la ayuda de un triángulo (Fig. 1a), en el cual los vértices son el clima, la población hospedante y el agente patógeno (Zadoks y Schein, 1979). Este esquema es demasiado simplificado a menos que se considere el microclima o fitoclima y el suelo, ya que ahí se localizan también muchos organismos fitopatógenos (Fig. 1b).

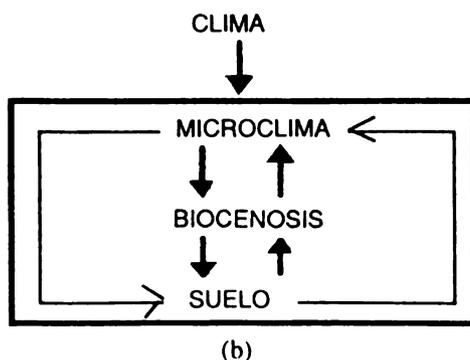
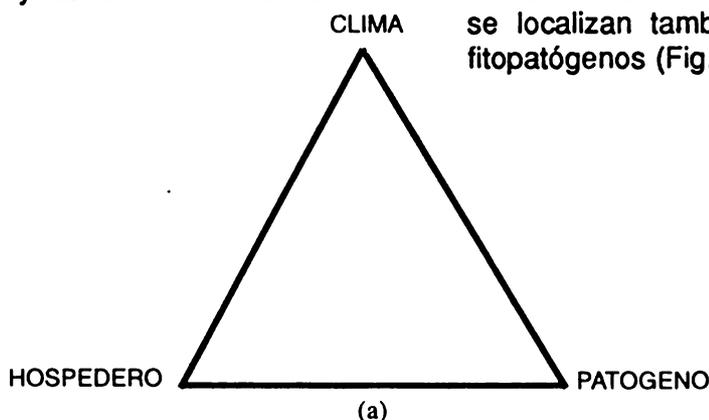


Figura 1. Interrelaciones entre clima-hospedero-patógeno.

De los tres componentes que deben coincidir para que se desarrolle una enfermedad (Fig. 1a), el clima es el más variable. La planta puede permanecer constantemente susceptible por semanas o meses, y la población del patógeno puede igualmente mantenerse elevada, pero la variación de las condiciones ambientales, la cual puede ocurrir en muy poco tiempo, es lo que hace que el desarrollo de las enfermedades sea con frecuencia muy variable.

Resulta difícil encontrar alguna fase del ciclo de una enfermedad que no sea afectada por las condiciones meteorológicas. Así, la cantidad de inóculo primario, la esporulación, la liberación, la diseminación de los patógenos, la retención por las superficies vegetales, la germinación, el crecimiento del tubo germinativo, la penetración al hospedante, la infección y la colonización son afectadas de una u otra manera. Algunos componentes climáticos juegan un papel importante como medios directos de combate de las enfermedades. Además, estos afectan la oportunidad y efectividad, principalmente del combate químico.

Los factores meteorológicos más importantes para organismos fitopatógenos de la parte aérea de las plantas son: el agua (lluvia, humedad relativa, rocío, riego, neblina, humectación), la temperatura (aire, follaje), el viento (velocidad y dirección) y la radiación solar (ultravioleta, visible, infrarroja). Para los patógenos del suelo los factores más importantes son la temperatura y la humedad. A continuación se menciona de manera general la importancia de cada variable meteorológica en el desarrollo y manejo de las enfermedades.

#### \* El agua

La influencia del agua se basa principalmente en dos estados: el estado gaseoso ligado a la humedad relativa del aire y el

estado líquido, relacionado con las precipitaciones de tipo lluvia, rocío, neblina y riego. Las variables más frecuentemente consideradas son la duración de humectación o "mojadura", la humedad relativa y la lluvia.

El agua libre y la humedad relativa juegan papeles claves durante muchos episodios epidemiológicos y afectan los procesos de esporulación, diseminación e infección. Dependiendo del parásito, la colonización puede ser también afectada por estas variables meteorológicas (Huber y Gillespie, 1992). No hay que olvidar el papel determinante que tiene la duración de la humectación y la lluvia en la oportunidad y efectividad del combate químico de las enfermedades.

Rapilly (1991) sugirió una clasificación en cinco grupos de varios patógenos fungosos que muestran diferente comportamiento, dependiendo de las fuentes de agua y las secuencias epidemiológicas: a) hongos que son extremadamente dependientes de la disponibilidad de agua (Chytridiales, Oomicetes); b) tres grupos de hongos con dependencia intermedia del factor hídrico; y c) los mildius polvosos, para los cuales los requerimientos de agua son muy bajos. En este último grupo el agua puede incluso tener efectos negativos sobre el desarrollo de la enfermedad.

#### \* La temperatura

Los efectos de la temperatura sobre las enfermedades son bien conocidos, y ambos, medición de la temperatura y su modelación, son procedimientos comunes en la fitopatología (Campbell y Madden, 1990; Friesland y Schrodter, 1988). La temperatura afecta la velocidad de realización de diferentes fases del ciclo de un hongo, aunque los requerimientos en cada fase pueden ser diferentes. Además de la actividad del patógeno, la temperatura afecta la reacción del hospede-

dante. González (1979) indica que, en general, las enfermedades virales son las más afectadas por la temperatura.

Las temperaturas desfavorables inhiben temporalmente una epidemia, pero no la erradican a menos que esas temperaturas persistan durante un largo período (de Weille, 1965; Rotem, 1978). Además hay que considerar las diferencias importantes de temperatura que con frecuencia ocurren entre las hojas o el dosel y el aire.

#### \* El viento

El papel del viento sobre las enfermedades se basa en dos aspectos: la liberación y diseminación de esporas a diversas distancias y su acción indirecta sobre el microclima (Shaw, 1982). Además hay que considerar que el viento puede tener una gran influencia en la dispersión de los plaguicidas asperjados (Thompson, 1983).

En la diseminación de esporas es importante tener en cuenta no solo el promedio sino también las fluctuaciones de la velocidad del viento. En efecto, no es raro encontrar velocidades instantáneas cinco o seis veces mayores que la media, y muchas veces la liberación de las esporas, su depósito y su transporte, son más función de la distribución de velocidades extremas que de la media. En el transporte de esporas a grandes distancias hay que tener presente que pueden ser necesarios perfiles de velocidad y dirección a una altura hasta más de 3 km para una mejor comprensión de sus patrones de dispersión (WMO, 1988).

También hay que considerar que entre un nivel de referencia sobre la cubierta vegetal o sobre el suelo, la velocidad del viento varía mucho. Las transferencias de masa y de energía son acopladas con las transferencias de cantidad de movimiento y ellas son función de los coeficientes de intercambio, ligados a la velocidad del viento. La

gran gama de variación de la velocidad del viento en el interior de la cubierta y en función de la altura y densidad de esta, hacen compleja la utilización de esta variable en un sistema de previsión. Sin embargo, esto no prejuzga en nada su importancia real en la dinámica espacio-temporal de las epidemias.

#### \* La radiación

La radiación solar puede afectar directa o indirectamente las enfermedades. Muchos de los organismos patógenos no pueden tolerar exposiciones prolongadas a la radiación. Ellos pueden morir por desecación o ser afectados por los componentes ultravioleta o infrarrojo cercano de la luz solar (Leach, 1967). Los efectos indirectos de la radiación están relacionados con su influencia sobre la temperatura del cultivo y los flujos de calor latente (WMO, 1988).

En general, los resultados conocidos de la influencia de la radiación sobre las enfermedades de las plantas han sido obtenidos en laboratorio o invernaderos. En condiciones naturales existen interacciones con los otros factores físicos por lo que es importante que las investigaciones futuras se orienten hacia modelos más pluridisciplinarios que permitan conocer mejor la complejidad de las interacciones.

Campbell y Madden (1990) indican que la falta de instrumentación para mediciones de radiación en estudios epidemiológicos limitará posiblemente nuestra comprensión de su acción por algún tiempo.

Leach y Anderson (1982) indican que para hongos de las partes aéreas de las plantas, las fases del ciclo de vida que son afectadas por la radiación son: la producción de inóculo primario y secundario, la liberación y dispersión de esporas, la germinación, viabilidad y desarrollo de las esporas, la infección del hospedante y la persistencia y formas de resistencia. También comentan la

importancia de la radiación en la descomposición de los fungicidas.

#### \* La humedad del suelo ✓

La humedad del suelo, en conjunto con la temperatura, afecta directamente la actividad fitopatógena de muchos hongos y bacterias que habitan en él. Hay enfermedades cuya intensidad es muy afectada por la humedad del suelo. Un ejemplo muy común es el mal del talluelo, causado por diversos hongos del suelo sobre plántulas de muchos cultivos y que generalmente está asociado con el exceso de humedad. Lo mismo sucede con otras enfermedades como la marchitez bacteriana causada por *Pseudomonas solanacearum* y las pudriciones suaves causadas por *Erwinia*; estas bacterias requieren abundante humedad del suelo para movilizarse en grandes cantidades (González, 1979).

En algunos casos ocurre lo contrario; por ejemplo, la sarna de la papa aumenta su severidad a medida que disminuye la humedad del suelo. Para otras enfermedades como las marchiteces vasculares causadas por *Fusarium* y *Verticillium*, la humedad del suelo no tiene mucho efecto (González, 1979).

### APLICACION DE LA METEOROLOGIA EN EL COMBATE DE ENFERMEDADES

A través de la historia el ser humano ha utilizado diversas prácticas agrícolas que pueden resultar desfavorables para el desarrollo de las enfermedades al modificar las condiciones microclimáticas del cultivo, del suelo o de los medios de transporte y almacenamiento de los productos cosechados (Agrios, 1978; Fry, 1982; Rotem y Palti, 1969; Stevens, 1960; Zentmyer y Bald, 1977).

Otros medios que también han sido utilizados con éxito durante mucho tiempo en el combate integrado de enfermedades son la evitación (Roberts y Boothroyd, 1984; Zentmyer y Bald, 1977), la termoterapia (de la I. de Bauer, 1984; Raychaudhuri y Verma, 1977; Roberts y Boothroyd, 1984) y los sistemas de preaviso biometeorológicos y meteorológicos de enfermedades (Bourke, 1970; Fry, 1982; Fry y Fohner, 1985; Krause y Massie, 1975; Miller, 1959; Miller y O'Brien, 1957; Shrum, 1978; Wallin, 1967).

Estas labores y medios de combate pueden interferir directamente en la sobrevivencia de las fuentes de inóculo, o para hacer el cultivo menos susceptible a su ataque. Varias de estas formas de combate son de naturaleza preventiva antes que curativa y su amplio uso a través de la historia y en la actualidad es evidencia de su utilidad, aunque con frecuencia no se reconoce la ubicuidad de estas prácticas, ya que se han convertido en actividades perfectamente aceptadas e integradas a los sistemas de producción.

#### \* Manejo del microclima aéreo

Varias prácticas agrícolas son de gran importancia en la definición de las condiciones microclimáticas dentro del follaje de las plantas y pueden tener gran repercusión en el combate mismo de las enfermedades o en el éxito de otras medidas de combate. Entre ellas están: densidades de siembra apropiadas, deshojas, podas, raleos, manejo de la sombra y el combate de malezas.

Todas ellas influyen directamente sobre las variables meteorológicas de mayor importancia para los organismos patógenos de las partes aéreas de las plantas, como temperatura, humedad relativa, duración de la mojadura, velocidad del viento y radiación solar. De hecho, también afectan las características meteorológicas más importantes

para los patógenos del suelo, como humedad y temperatura.

En general las densidades de siembra excesivas o la ausencia de las labores agrícolas antes mencionadas tienden a favorecer un microambiente de alta humedad relativa, disminuye o cesa la circulación del aire (viento), se reduce la disponibilidad de radiación entre y bajo el follaje, aumenta la duración de la mojadura en los componentes del dosel y como consecuencia de esa alta humedad, la temperatura del aire es mucho más estable.

Un espaciamiento apropiado de las plantas en el campo o en el invernadero evita la creación de condiciones de humedad relativa alta sobre las superficies de las plantas e inhibe la infección de ciertos patógenos como *Botrytis* (Agrios, 1978).

En los cultivos de plátano y banano todas las labores dirigidas a disminuir la humedad excesiva dentro de la plantación, especialmente la mojadura foliar, tales como la deshoja frecuente, evitar el riego por aspersión, la construcción de drenajes, el control de malezas y el regulamiento del número de plantas por unidad de superficie mediante el espaciado correcto y la deshija, forman un componente indispensable en la lucha contra la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) y la sigatoka amarilla (*Mycosphaerella musicola*) que ataca estos cultivos (Belalcázar, 1991).

Varios cultivos tropicales perennes se siembran bajo sombra y la manipulación de esa cobertura puede ser clave para el manejo de ciertas enfermedades. Por ejemplo, en el combate del ojo de gallo (*Mycena citricolor*) y de la roya (*Hemileia vastatrix*) en café, esta práctica es de gran importancia para evitar la alta humedad dentro de la plantación, la cual favorece a estos patógenos (González, 1977).

Enríquez (1985) recomienda la poda sanitaria en cacao para mantener la plantación abierta y bien ventilada, de manera que no se favorezca la germinación de esporas de *Phytophthora* sp. causante de la mazorca negra en este cultivo.

#### \* Manejo del microclima edáfico

El manejo del microclima del suelo, principalmente las modificaciones en la temperatura y la humedad, es una herramienta de gran utilidad en el combate de las enfermedades. Las principales labores que afectan esas variables meteorológicas son el tipo y manejo del riego, el drenaje, el uso de coberturas y la forma de preparar el suelo.

En áreas de agricultura bajo riego, el tipo de riego, así como el control de su duración y frecuencia tienen particular importancia. En la mayoría de los casos los niveles altos de humedad en el suelo favorecen el desarrollo de las enfermedades.

Para muchos hongos de las partes aéreas de las plantas, su diseminación, germinación y penetración, y en el caso de muchas bacterias su diseminación y penetración, es favorecida por riegos por aspersión, ya que el agua libre retenida por el follaje favorece la infección.

Rotem y Palti (1969) hicieron una revisión detallada sobre la relación entre la irrigación y las enfermedades de las plantas. Asimismo, Cook y Papendick (1972) revisaron la relación entre el potencial hídrico del suelo y la planta con las enfermedades radicadas. En estos trabajos se pueden encontrar múltiples ejemplos de como el manejo adecuado del riego y la humedad del suelo pueden ayudar al combate de las enfermedades.

Un buen drenaje del suelo también contribuye al combate de las enfermedades. Este reduce la humedad y con ello el

número y actividad de ciertos hongos patógenos como *Pythium* (Agris, 1978). Esta práctica también es útil en la lucha contra algunas enfermedades como el pie negro de la papa y el tallo hueco del tomate causadas por *Erwinia* sp. (González, 1977). Lo mismo sucede con la marchitez bacteriana causada por *Pseudomonas solanacearum*. Todas estas bacterias requieren abundante humedad del suelo para poder movilizarse en grandes cantidades.

Varios autores recomiendan el adecuado drenaje y sembrar en lomillos altos, de modo que el agua llegue por capilaridad hasta las raíces. Por ejemplo, Becerra (1975) obtuvo en la zona de Alajuela una reducción de 25% en la pudrición basal del tallo de chile dulce por *Phytophthora capsici*, al aumentar la altura del lomillo de 20 a 40 cm, lo cual se debió a la disminución en la humedad en la parte más susceptible de la planta al patógeno.

Algunas coberturas también han sido utilizadas con éxito en el combate de enfermedades (Katan, 1987; Stapleton y Devay, 1986; Devay, 1991). La solarización es un proceso hidrotérmico que ocurre en suelos húmedos que son cubiertos por una película de plástico transparente y expuestos a la luz solar. Durante este proceso, las temperaturas alcanzadas por el suelo son letales para muchos patógenos vegetales y plagas.

A partir del informe de Katan *et al.* (1976) sobre el uso del calor solar para desinfectar el suelo de patógenos y otras plagas, esta técnica está siendo ampliamente aceptada y usada (Katan *et al.*, 1987). Ella representa una excelente alternativa de combate no químico. La FAO (1991) en apoyo a esta metodología ha publicado una extensa monografía sobre la solarización del suelo. En la misma se

presentan resultados de múltiples experimentos donde se ha utilizado esta técnica de combate de hongos y bacterias fitopatógenas del suelo.

\* **Manejo del microclima en invernaderos y durante el transporte y almacenamiento de productos agrícolas**

Según de la I. de Bauer (1984), la regulación de la temperatura y la humedad son medidas de protección que tienden a evitar la infección del hospedante y han sido utilizadas con mucho éxito en el manejo poscosecha de los productos agrícolas. Las temperaturas bajas, del orden de 4 a 5 °C, al inhibir el desarrollo de los microorganismos patógenos, son la base de los sistemas de protección de productos agrícolas mediante la refrigeración en cámaras, bodegas, vehículos, barcos de transporte y otros medios de almacenaje. Aún en el caso de algunos patógenos que logran desarrollarse a temperaturas tan bajas, su crecimiento es tan lento que el progreso de las enfermedades que ellos causan se retrasa considerablemente.

También en muchos invernaderos y laboratorios dedicados, ya sea a la producción comercial de productos agrícolas tales como ornamentales y legumbres o a la producción de plantas (biotecnología) basan buena parte de la estrategia de manejo de las enfermedades en mantener condiciones de humedad y temperatura lo menos favorables posible a los patógenos y lo más favorable posible al cultivo. De manera similar ocurre con el manejo de plantas para la investigación en estos sitios, en los cuales se mantiene un estricto control de las condiciones ambientales.

\* **Evitación**

Desde el punto de vista meteorológico la evitación consiste básicamente en sembrar

o cosechar en épocas o en áreas en que las condiciones climáticas son desfavorables a los patógenos, lo que permite que el nivel de inóculo sea escaso, o bien que el patógeno esté inactivo, de manera que el cultivo susceptible o su fase susceptible, no coincida con una producción de inóculo potencialmente peligrosa. Esto se logra mediante una selección cuidadosa del momento de la siembra, la cosecha o el área de siembra, donde las condiciones meteorológicas limiten el buen desarrollo de los organismos fitopatógenos o sus transmisores. Así, por ejemplo, puede seleccionarse una zona geográfica donde las condiciones climáticas sean desfavorables a la enfermedad. Tal es el caso del cultivo de la papa en los trópicos; esta se siembra principalmente en zonas de altura (1500 msnm o más). Aquí la temperatura limita el desarrollo de la marchitez bacteriana causada por *Pseudomonas solanacearum* (González, 1979), la cual es un problema muy serio en zonas bajas y con temperaturas altas.

También es posible sembrar los cultivos anuales en épocas menos propicias a las enfermedades. Por ejemplo, se debe evitar sembrar tomate y papa en la época seca y cálida, debido a que las condiciones meteorológicas de esos períodos favorecen un incremento significativo de la población de áfidos vectores de virus (Meneses y Amador, 1990).

La oportunidad del momento de la cosecha también es un factor muy dependiente de las condiciones meteorológicas y que tiene gran repercusión en la sanidad del producto cosechado. Así, por ejemplo, la cosecha de productos agrícolas en condiciones de alta humedad crea condiciones favorables al desarrollo de infecciones por *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Diplodia* sp., *Fusarium moniliforme* y otros hongos que se favorecen con esas condicio-

nes. Aquí la cosecha en condiciones de humedad relativa baja y en ausencia de una película de agua en la parte cosechada es una medida de combate preventivo muy importante en muchos casos.

#### \* Termoterapia

El calor es un importante agente terapéutico para el tratamiento de enfermedades en las plantas (Agríos, 1978). Su acción está dirigida a curar la planta enferma mediante la destrucción del patógeno apenas establecido, o a reducir la severidad de la enfermedad una vez iniciada la infección.

Los tratamientos térmicos se utilizan en la práctica para destruir hongos y bacterias en semillas y tubérculos y otros materiales de siembra de algunos cultivos. Por ejemplo, la exposición de esquejes de caña de azúcar al agua o al aire caliente puede eliminar los agentes causales del raquitismo del retoño y de la raya clorótica (González, 1979).

Los hongos y bacterias en semillas de algunas plantas como repollo, chile y tomate también pueden ser destruidos mediante temperaturas altas. De igual manera, algunos frutales y ornamentales pueden exponerse a temperaturas elevadas, lográndose así que los meristemos crezcan libres de algunos virus y pueden luego separarse y propagarse por aparte (de la I. de Bauer, 1984).

De interés primordial es el uso de la termoterapia en el tratamiento de material infestado por virus. Nyland y Goheen (1969) citan más de 120 casos exitosos de inactivación de virus mediante el uso de calor, sobre diferentes plantas hospedantes, tales como papa, cítricos, caña de azúcar, tomate, camote, fresa, rosas y crisantemos.

El calor es aplicado mediante agua caliente en tanques con temperatura controlada o mediante aire caliente (vapor) en cámaras con temperaturas controladas.

Generalmente se usan temperaturas entre 35 y 40 °C por unos días o semanas (Nyland y Goheen, 1969).

**\* Sistemas meteorológicos y biometeorológicos de pronóstico de las enfermedades de las plantas**

El aumento en el conocimiento de las interrelaciones entre ambiente, planta y enfermedad, las mejoras en los sistemas de adquisición de datos biológicos y meteorológicos,

la aparición frecuente de sistemas de procesamiento y los avances en las técnicas de modelación permiten hoy día el empleo de pronósticos de enfermedades de plantas, facilitando su manejo y alcanzando no solamente mejor control, sino también una reducción en el uso de productos químicos y con ello un menor deterioro del ambiente.

Existen gran cantidad de modelos y sistemas de pronóstico basados en información meteorológica o biometeorológica. Una lista no exhaustiva se presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. Algunos sistemas de pronóstico meteorológico de enfermedades mencionados en la literatura.

CULTIVO	ENFERMEDAD	PATOGENO	REFERENCIA
Apio	Tizón temprano	<i>Cercospora apii</i>	Berger, 1969.
Banano	Sigatoka amarilla	<i>Mycosphaerella musicola</i>	Ganry y Meyer, 1972.
"Bluegrass"	Antracnosis	<i>Colletotricum graminicola</i>	Dannenberger <i>et al.</i> , 1984.
Cereza	"Leaf spot"	<i>Coccomyces heimalis</i>	Eisensmith y Jones, 1981.
Cebada	Mildiu polvoso	<i>Erysiphe graminis</i>	Channon, 1981; Polley y Smith, 1973.
Frijol lima	Mildiu veloso	<i>Phytophthora phaseoli</i>	Hyre, 1957.
Girasol	Esclerotinia	<i>Sclerotinia sclerotium</i>	Lamarque y Rapilly, 1981.
Maíz	Marchitez	<i>Erwinia stewartii</i>	Stevens, 1934.
Maíz	Tizón	<i>Helminthosporium turcicum</i>	Berger, 1970.
Maíz	Pudrición	<i>Erwinia chrisanthemi</i>	Saxena y Lal, 1983.
Maní	Cercospora	<i>Cercospora sp.</i>	Jensen y Boyle, 1966; Johnson, 1989; Parvin <i>et al.</i> , 1974.
Manzana	Sarna	<i>Venturia inaequalis</i>	Jones <i>et al.</i> , 1980; Mills, 1944; Proctor <i>et al.</i> , 1983.
Papa	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Beaumont, 1947; Bourke, 1955; Divoux, 1964; Forsund, 1983; Fry <i>et al.</i> , 1983; Hyre, 1954; Krause <i>et al.</i> , 1975; Wallin, 1962.
Pera	"Fireblight"	<i>Erwinia amilovora</i>	Thomson <i>et al.</i> , 1982.
Remolacha	Amarillamiento	Virus del amarillamiento	Watson <i>et al.</i> , 1975.
Soya	Phomopsis	<i>Phomopsis longicolla</i>	Rupe y Ferris, 1987.
Tabaco	Moho azul	<i>Perenospora tabacina</i>	Miller, 1959.
Tomate	Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	Madden <i>et al.</i> , 1978.
Trigo	Roya del tallo	<i>Puccinia graminis</i>	Eversmeyer <i>et al.</i> , 1973.
Trigo	Roya de la hoja	<i>Puccinia recondita</i>	Burleigh <i>et al.</i> , 1972; Eversmeyer y Burleigh, 1970.
Uva	Mildiu veloso	<i>Plasmopara viticola</i>	Miller y O'Brien, 1957.
Zanahoria	Tizón	<i>Alternaria dauci</i>	Gillespie y Sutton, 1979.

A continuación se describen, a manera de ejemplo, algunos de los sistemas de preaviso que se utilizan con éxito en otros países y los cuales podrían ser objeto de estudio para adaptarlos a Costa Rica.

**\*\* El sistema de pronóstico "blitecast" para el tizón tardío de la papa (Krause *et al.*, 1975).**

Sin lugar a dudas la enfermedad para la cual se han propuesto más sistemas de pronóstico es para el tizón tardío de la papa causado por *Phytophthora infestans*. En la mayoría de los países de Europa y Norte América se cuenta actualmente con sistemas de pronóstico para esta enfermedad.

Cook (1949) fue uno de los primeros en proponer un sistema de pronóstico para el tizón tardío de la papa. Luego, entre muchos otros investigadores, hay que destacar los trabajos de Hyre (1951, 1954, 1955, 1956), Wallin (1951, 1960, 1962) y Wallin y Hoyman (1954). Sus sistemas se han usado ampliamente en Estados Unidos y sirvieron de base para el sistema de pronóstico "blitecast" elaborado por Krause *et al.* (1975).

El sistema de Hyre está basado en los registros diarios de lluvia y las temperaturas máximas y mínimas. De acuerdo a este sistema, la aparición inicial del tizón tardío ocurre de 7 a 14 días después de la ocurrencia de 10 días consecutivos favorables a la enfermedad. Un día es considerado favorable a la enfermedad cuando la temperatura promedio de los últimos cinco días es menor de 25,5°C y el total de lluvia para los últimos 10 días es mayor de 30 mm. Los días en los cuales la temperatura mínima desciende de 7,2°C son considerados desfavorables al desarrollo de la enfermedad.

El sistema de Wallin pronostica la aparición y la subsecuente dispersión de la enfermedad basado en la humedad relativa y la temperatura. Se basa en la acumulación de índices de severidad (I.S.); estos son números arbitrarios asignados a relaciones específicas entre períodos con duración de humedad relativa mayor o igual a 90% y la temperatura promedio durante esos mismos períodos (Cuadro 2). De acuerdo a este sistema, la primera ocurrencia de la enfermedad tiene lugar de 7 a 14 días después que se han acumulado valores de severidad entre 18 y 20, contabilizados a partir del momento de emergencia de las plantas.

**Cuadro 2.** Relación entre humedad relativa, temperatura e índices de severidad utilizadas en el sistema de pronóstico de Wallin.

Temperatura promedio (°C)*	Número de horas con humedad relativa mayor o igual a 90%				
	0-15	16-18	19-21	22-24	> 24
7,2-11,6	0-12	13-15	16-18	19-21	> 21
11,7-15,0	0-9	10-12	13-15	16-18	> 19
15,1-26,6	0	1	2	3	4
I.S.	0	1	2	3	4

\* Temperatura promedio del período cuando la humedad relativa es mayor o igual a 90%.



\*\* El sistema de pronóstico FAST para *Alternaria solani* en tomate (Madden *et al.*, 1978).

El sistema de pronóstico FAST utiliza dos modelos empíricos para determinar los períodos cuando las condiciones ambientales son favorables al desarrollo de la *Alternaria*. Estos fueron derivados de la síntesis de trabajos previos mediante la combinación arbitraria de parámetros ambientales seleccionados según las relaciones observadas entre la enfermedad y las condiciones micrometeorológicas.

En el primer modelo se combina las horas de humectación de las hojas y la temperatura media del aire durante el período de humectación (Cuadro 4), derivando un índice de severidad diaria (S). La escala de valores de S varía de 0 (condiciones muy desfavorables para la formación de esporas de *Alternaria solani*) a 4 (condiciones altamente favorables).

Cuadro 4. Valores de severidad de *A. solani* en tomate como una función de la duración de humectación de las hojas y la temperatura media del aire durante el período de humectación.

Temperatura media (°C)	Duración de humectación (h) requerida para producir valores de severidad diaria (S)				
	0	1	2	3	4
13-17	0-6	7-15	16-20	21- +	
18-20	0-3	4-8	9-15	16-22	23- +
21-25	0-2	3-5	6-12	13-20	21- +
26-29	0-3	4-8	9-15	16-22	23- +

El segundo modelo permite obtener valores de nivel de severidad (N) a partir de las mediciones de tres parámetros ambientales (Cuadro 5). Estos valores de N están basados en la temperatura media del aire durante los últimos cinco días, las horas con humedad relativa (H.R.) mayor de 90% durante los últimos cinco días y la cantidad total de lluvia durante los últimos siete días. Este modelo sintetiza cuantitativamente las observaciones que indican que la severi-

dad de la enfermedad aumenta con el aumento de la temperatura, la humedad relativa y la cantidad de lluvia.

La aplicación del sistema requiere mantener el registro de:

1. El total de todos los valores de S (ST) desde el inicio del ciclo de cultivo (siembra).
2. El valor acumulado de S (SA) durante los últimos siete días.
3. El valor acumulado de N (NA) durante los últimos cinco días.

**Cuadro 5.** Valores de nivel de severidad (N) como una función de la temperatura media del aire, las horas con humedad relativa mayor de 90% y el total de lluvia.

Temperatura media (°C) <sup>a</sup>	No. horas con H.R. > 90% <sup>b</sup>	LLuvia (cm) <sup>c</sup>	Valor de N <sup>d</sup>
< 22	< 60	< 2,5	0
> 22	< 60	< 2,5	0
< 22	> 60	< 2,5	1
< 22	< 60	> 2,5	1
< 22	> 60	> 2,5	1
> 22	> 60	< 2,5	2
> 22	< 60	> 2,5	2
> 22	> 60	> 2,5	3

<sup>a</sup> Temperatura promedio de los últimos cinco días.

<sup>b</sup> Horas con H.R. mayor de 90% durante los últimos cinco días.

<sup>c</sup> Cantidad total de lluvia durante los últimos siete días (cm).

<sup>d</sup> Niveles de severidad: 0 indica condiciones desfavorables para la formación de esporas e infección del tomate; 3 indica que las condiciones son altamente favorables.

La primera aplicación de fungicida se recomienda cuando el ST alcanza un nivel crítico de 35 y las plantas han estado en el campo por lo menos durante cinco semanas. Las aplicaciones subsecuentes son programadas de acuerdo a las siguientes reglas (Fry y Fohner, 1985): cuando SA es igual o mayor de 13 o si el valor de NA es mayor de 8 el productor debe aplicar fungicida cada siete días. Si el valor de SA es mayor de 12 y el valor de NA es mayor de 8, el productor debe aplicar cada cinco días.

**\*\* El sistema de pronóstico para la mancha de la hoja causada por *Cercospora* sp. en maní** (Jensen y Boyle, 1966; Johnson, 1989).

Jensen y Boyle (1966) desarrollaron una técnica para pronosticar la mancha de la hoja causada por *Cercospora* en maní. Este método utiliza como predictores de la infección las horas de humedad relativa mayores de 95% y la tempe-

ratura mínima durante esos períodos de alta humedad. A partir de esos datos construyeron un gráfico para estimar la interacción entre temperatura, humedad relativa y desarrollo de la enfermedad. Este gráfico fue ligeramente modificado por Johnson (1989) (Figura 2).

Mediante el uso de esa figura y las mediciones antes indicadas se obtienen valores índices de tasa de infección para los dos períodos de 24 h más recientes (Cuadro 6), de manera que si la suma de ellos es mayor o igual a 3,5, los productores son alertados de que existen condiciones favorables al desarrollo de la enfermedad y si el productor no ha aplicado fungicida contra la enfermedad durante los últimos 10 días o más, debe hacerlo ahora. Si la suma es menor de 3,5, las condiciones establecidas son desfavorables para la enfermedad y no es necesario aplicar.

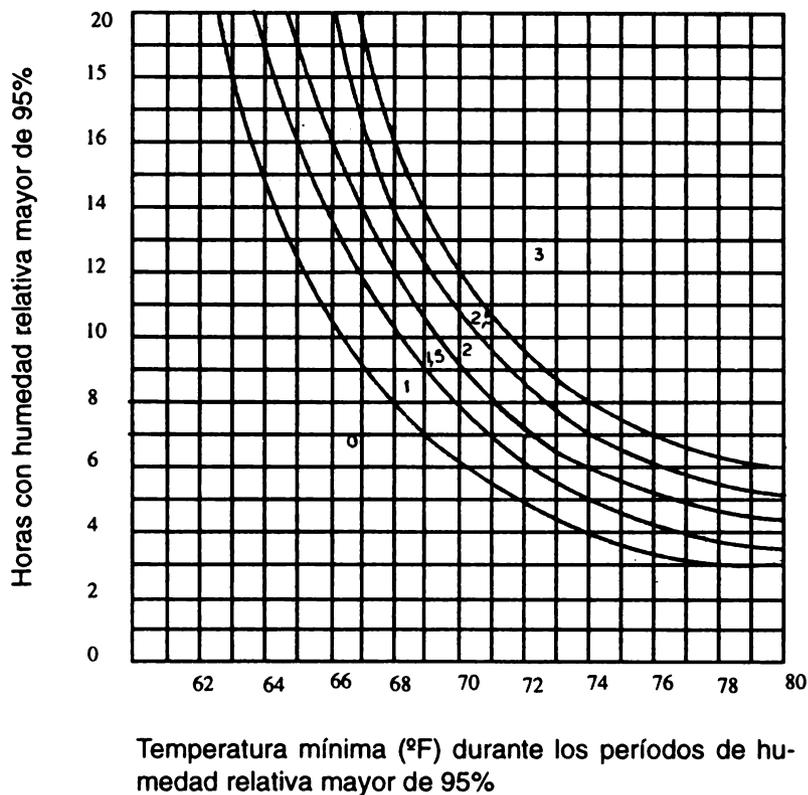


Figura 2. Gráfico para determinar la tasa de índice de infección para cada período de 24 horas (Johnson, 1989).

Cuadro 6. Indices de tasa de infección para el preaviso de *Cercospora* en maní.

Condición	Preaviso
1. Suma de los valores índices de tasa de infección mayor o igual a 3,5	favorable
2. Suma de los valores índices de tasa de infección menor de 3,5	desfavorable

\* El sistema de pronóstico climático de la sigatoka amarilla del banano.

Ganry y Meyer (1972) desarrollaron un método de combate de la sigatoka amarilla en las Antillas Francesas. Es posible que un sistema similar podría adaptarse al combate de la sigatoka negra, pero hace falta mayor investigación.

Este método está basado en observaciones semanales de dos parámetros meteorológicos: la evaporación del piché y la temperatura. La evaporación se registra dentro de un abrigo meteorológico simplificado. Se ha demostrado que este parámetro da una buena medida de la humedad del ambiente y permite explicar el desarrollo de la enfermedad (Ganry y Meyer, 1972).

El sistema establece diferentes niveles de evaporación que corresponden a condiciones más o menos favorables al desarrollo de la enfermedad cuando la temperatura no es limitante (Cuadro 7).

La temperatura se mide en un abrigo meteorológico estandarizado. Considerando la ley de acción de la temperatura sobre las ascosporas (Brun, 1963), se calcula la suma de velocidad de desarrollo semanal (SVDS). A fin de evitar cálculos fastidiosos, se determinaron ecuaciones que permiten calcular rápidamente las SVDS a partir de las temperaturas máxima y mínima diarias. Se establecieron diferentes clases de SVDS que corresponden a temperaturas más o menos favorables al desarrollo del patógeno (Cuadro 8).

Cuadro 7. Categorías de evaporación semanal en el preaviso climático de la sigatoka amarilla en banano.

Condiciones de evaporación	Evaporación semanal
Favorables (F)	< 22 mm
Moderadamente favorables (MF)	22-30 mm
Poco favorables (PF)	30-40 mm
Desfavorables (D)	> 40 mm

**Cuadro 8. Relación entre condiciones de temperatura y de SVDS dentro del preaviso climático para sigatoka amarilla.**

Condiciones de temperatura	SVDS
F	> 15 000
RF-PF	14 000 - 15 000
D	< 14 000

Cada situación climática está entonces caracterizada por los parámetros evaporación-temperatura. En el caso de uso de aceite solo o de fungicidas protectores (tratamientos de ciclos cortos), el preaviso consiste en definir un ritmo de aplicaciones. Por ejemplo:

Condiciones	Frecuencias
F	2 semanas
RF	3 semanas
PF	4 semanas
D	sin tratamiento

Cuando se realizan las aplicaciones con fungicidas sistémicos, el preaviso está basado sobre una estimación de la duración de eficacia del tratamiento a partir de la evaporación y la SVDS. Se calcula para cada semana el promedio ponderado de la evaporación semanal ( $E_p$ ) y luego, se determina la duración de eficacia ( $d$ ) utilizando la relación establecida, la que, por ejemplo, para las Antillas es:

$$d_i = 0,5 E_{pi}$$

Cada semana, se redetermina del mismo modo la duración prevista de eficacia, de manera tal, que por acercamientos sucesivos se podrá prever un tratamiento con varias semanas de anticipación. Este valor también es ajustado con la SVDS, de manera que si la SVDS es menor de 14 000 se prolonga la duración del ciclo de tratamiento tantas semanas como la SVDS sea menor de 14 000, siempre y cuando la evaporación de la semana haya sido menor o igual a 30 mm. Cuando la evaporación es superior a 30 mm no se toma en cuenta la temperatura.

## USO DE LA METEOROLOGIA EN EL COMBATE DE ENFERMEDADES EN COSTA RICA

### Manejo del microclima y otras prácticas agrícolas.

Al igual que otras partes del mundo, en Costa Rica las prácticas y operaciones que sirven para modificar el microclima, han sido una herramienta utilizada desde hace muchos años para el combate de las enfermedades, por agricultores, productores, transportistas, comerciantes y amas de casa. En la mayoría de los casos todas esas acciones forman parte de los "paquetes" tecnológicos

de manejo de los cultivos y de los productos vegetales, ya sea en el campo, en los invernaderos o en los laboratorios. Lo mismo se puede decir de las modificaciones del microclima en el manejo poscosecha de los productos agrícolas.

Así, por ejemplo, las recomendaciones de poda y manejo de la sombra en cultivos como el café y el cacao, la deshoja del banano y del plátano son un componente básico de un buen manejo de estos, aunque no todos los agricultores lo practican. Lo mismo puede decirse de otras prácticas como la siembra en lomillos o en eras para varios de los cultivos hortícolas.

La evitación como medida de combate meteorológica de prevención de las enfermedades también se ha usado y se usa en Costa Rica. Un caso bien conocido es la práctica de sembrar la papa en las zonas de altura. Las condiciones de temperatura en esas partes limitan el desarrollo de la marchitez bacteriana, uno de los principales problemas fitosanitarios encontrados cuando se siembra este cultivo en zonas bajas y de alta temperatura.

Uno de los campos donde debe trabajarse bastante aún es en el manejo del riego. Principalmente a nivel de pequeño agricultor es necesaria una fuerte campaña de extensión para mostrarle los beneficios que aporta un uso adecuado del agua de riego como medida preventiva y curativa de varios problemas fitosanitarios ocasionados por patógenos del suelo.

Otras prácticas como la solarización son más recientes y se han desarrollado aún poco en Costa Rica, pero tienen gran potencial como un medio de combate no químico de patógenos, tanto del suelo como de semillas y otros materiales vegetales. Las discusiones de la última reunión sobre la destrucción de la capa de ozono realizada en Copenhague en noviembre de 1992, indican

que uno de los productos que ya se debería dejar de usar es el bromuro de metilo, un desinfectante químico del suelo muy utilizado en la producción agrícola (Kirwin, 1993). La solarización parece ser una buena alternativa en este problema.

En nuestro país, los estudios sobre el uso de la solarización para el combate de hongos del suelo han sido realizados principalmente por la Facultad de Agronomía de la Universidad de Costa Rica (Madriz, 1987; Mesén, 1987; Navarro *et al.*, 1991). Estas investigaciones han mostrado que el uso de esta técnica ha permitido reducciones muy importantes en la incidencia de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* sp., lo que indica su alto potencial tanto en la agricultura orgánica como en la convencional.

### Uso de sistemas de pronóstico biometeorológicos.

Muy pocos esfuerzos han sido dedicados en Costa Rica en la búsqueda o adaptación de sistemas biometeorológicos de pronóstico de enfermedades. Sin embargo, el inicio reciente de plantaciones de uva y manzana podrían abrir la posibilidad de adaptar sistemas existentes en Europa y Norte América que ayudan a programar de manera científica las aplicaciones de plaguicidas, limitándolas a las estrictamente necesarias.

Otro cultivo donde la técnica del preaviso meteorológico está ampliamente desarrollada es la papa, especialmente para la determinación del momento más oportuno de efectuar las aplicaciones de fungicidas para el combate del tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Sin embargo, en nuestro país no han existido esfuerzos sostenidos con el fin de adaptar o establecer un sistema de preaviso para este fin.

Hord *et al.* (1993) evaluaron un sistema de pronóstico meteorológico para la antracnosis del mango en la zona de Alajuela.

Aunque con este sistema se redujo el número de aplicaciones, el combate de la antracnosis no fue eficiente. Posiblemente se requiere más investigación para modificar y adaptar el sistema y así valorar su potencialidad.

El CATIE está haciendo un esfuerzo importante en el desarrollo de un sistema biometeorológico para programar las aplicaciones de fungicidas en el cultivo del plátano, destinadas a combatir la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Esta enfermedad constituye uno de los problemas más serios que limitan la producción y productividad del cultivo. Además, en las siembras comerciales (principalmente hechas para exportación) su combate representa uno de los componentes más importantes de los costos de producción. En la producción de banano la presencia de esta enfermedad es agudizada por la aparición de resistencia a algunos de los productos otrora más eficaces, lo que hace urgente la búsqueda de métodos de combate que racionalicen el uso de los fungicidas.

Jiménez (1994) propone un sistema simple para pronosticar el desarrollo de la sigatoka negra en plátano, y sobre esa base programar las aplicaciones de fungicidas. El uso de esta herramienta podría permitir hacer un uso más racional de esos agroquímicos, mantener las plantaciones en buen estado fitosanitario, disminuir los costos de producción y proteger el ambiente y los recursos naturales del peligro de uso excesivo de plaguicidas.

El sistema propuesto se basa en el análisis de las relaciones entre el desarrollo de la enfermedad en plátano y las condiciones meteorológicas. Este análisis mostró una tendencia similar de las curvas correspondientes al nivel de infección de la hoja cuatro (NIH4) y la duración acumulada de la lluvia durante las primeras cuatro de seis semanas

anteriores a la evaluación del NIH4. Esto significa que la lluvia de las últimas dos semanas no afecta de manera importante el NIH4 que se tiene en un momento dado. Este sistema ha sido probado con éxito en parcelas experimentales y durante un año en la plantación de un agricultor en Santa Teresita de Turrialba. Actualmente este sistema está probándose en otras regiones del país: Matina, Río Frío y San Carlos, con resultados muy prometedores.

El sistema toma como base para la decisión de hacer o no una aplicación de fungicida el nivel de infección en la hoja cuatro (contada a partir de la hoja cigarro, o sea no incluye a esta) y la duración acumulada de la lluvia durante las seis semanas anteriores a la evaluación del NIH4.

El NIH4 se determina semanalmente en diez plantas de la parcela, siempre sobre las mismas plantas, desde que estas tienen de cinco a seis hojas hasta la emisión de la inflorescencia. El nivel de infección se determina sobre el tercio apical de la cuarta hoja, con base en una escala de seis síntomas o estadios de desarrollo de la enfermedad (Cuadro 9), cada uno dividido en dos subniveles (+ y -), que corresponden a la densidad del ataque, de manera que, si hay más de 50 lesiones del síntoma más desarrollado, el subnivel se denota + y si hay menos de 50 lesiones, el subnivel se denomina -.

Cada uno de los (6x2) niveles de síntomas es ponderado por un coeficiente arbitrario basado en que, entre más avanzado sea el nivel del síntoma, más grave es el estado de la enfermedad. Al nivel del síntoma más bajo (1-), el coeficiente es 20 y aumenta en 20 unidades por cada nivel. La suma del nivel de infección ponderado de las diez hojas permite obtener el NIH4 promedio de la plantación.

**Cuadro 9. Estadios de desarrollo de la sigatoka negra.**

Estadio	Descripción del síntoma
1	Pequeñas decoloraciones de menos de 1 mm, visibles únicamente en el envés de la hoja y llamadas pizcas.
2	Estrías pequeñas de 2 a 3 mm de largo, paralelas a las nervaduras, de color café rojizo y visibles sobre ambos lados de la hoja.
3	La estría aumenta de tamaño, tanto en largo como en ancho. Su color empieza a cambiar a café oscuro.
4	La estrías crecen en largo y ancho, adquieren una forma elíptica. Varias estrías pueden coalescer, dando lugar a una mancha irregular negra en el haz de la hoja y marrón o café oscuro en el envés.
5	Las manchas comienzan a secarse, ocasionando una depresión en el tejido enfermo. Con frecuencia la mancha se rodea de un halo clorótico, pero con frecuencia también las lesiones coalescen en una gran mancha negra sin mostrar estas zonas amarillentas a su alrededor.
6	Las manchas se tornan de color grisáceo, el centro de la lesión se seca, la depresión aumenta y pueden observarse puntos negros que son los peritecios.

La duración acumulada de las lluvias se obtiene sumando la duración de todos los eventos desde el día 1 al 28 (DLL 1), del 8 al 35 (DLL 2) y del 15 al 42 (DLL 3), de los 42 días (seis semanas) precedentes a la fecha que es evaluado el NIH4. Después de ese período de seis semanas, solamente es necesario calcular el valor de la DLL 3, ya que el valor de la DLL 1 es el que tenía la DLL 2 la semana precedente. De la misma manera, el valor de la DLL 2 es el que tenía la DLL 3 la semana anterior.

La DLL 2 y la DLL 3 indican si las condiciones de lluvia en esos períodos fueron favorables o no al desarrollo de la enfermedad, lo que se manifestará por un cambio en el NIH4 en las dos semanas siguientes. Esto significa que este sistema de preaviso biometeorológico tiene un carácter predictivo de dos semanas.

Las reglas de decisión que traducen el sistema descrito son las siguientes:

Debe efectuarse un tratamiento con fungicida si han transcurrido más de dos semanas desde la última aplicación y se cumple al menos una de las dos siguientes reglas:

1. El NIH4 aumenta más de 200 unidades con relación a la semana anterior.
2. La DLL 2 aumenta más de cinco horas con relación a la DLL 1 y la DLL 3 aumenta más de cinco horas con relación a la DLL 2.

La aplicación razonada de fungicidas para el combate de la sigatoka negra en plátano, de acuerdo al sistema descrito, es parte de un sistema de lucha integrada que debe considerar de manera conjunta la reali-

zación de prácticas culturales que ayuden a reducir el nivel de inóculo (principalmente la deshoja oportuna) y la alternancia de fungicidas sistémicos de diferente modo de acción, para evitar la aparición de cepas resistentes del hongo a esos plaguicidas.

## CONCLUSIONES

La meteorología tiene un papel determinante en el desarrollo y combate de las enfermedades fitopatógenas. Varios procedimientos como la modificación del microclima, la evitación, la termoterapia y el uso de sistemas de pronóstico biometeorológicos son opciones válidas a las que se puede recurrir con el fin de crear un agroecosistema menos favorable al desarrollo y sobrevivencia de las enfermedades, para hacer al cultivo menos susceptible a su ataque o para intervenir en el momento más oportuno.

Buena parte del papel de la meteorología en el combate de las enfermedades es de naturaleza preventiva antes que curativa. Muchos de los procedimientos utilizados implican poco o ningún aumento en los costos normales de producción. Es frecuente que el agricultor, aún sin entender los detalles, considere automáticamente todas esas labores como parte del manejo normal de los cultivos y de los productos cosechados. Casualmente por ser elementos integrados indispensables del sistema de producción, con frecuencia su utilidad no es completamente reconocida.

Los diferentes procedimientos agrometeorológicos de combate de las enfermedades forman parte, de hecho, del manejo integrado de plagas, contribuyendo así a que los agricultores protejan sus cultivos y cosechas de una manera eficiente, efectiva y rápida y dentro de un marco de respeto ecológico; elementos todos indispensables

hoy día para la producción agrícola sostenible.

Algunos métodos meteorológicos, como el manejo del microclima, son de gran valor e importancia porque no causan contaminación ambiental, son técnicas compatibles con otras estrategias de combate de las enfermedades y pueden tener propósitos múltiples.

En Costa Rica, el uso de la meteorología en el combate de enfermedades ha estado centrado hasta ahora en el manejo del microclima, ya sea en los cultivos, en el suelo, en los invernaderos o en los medios de almacenamiento y transporte de productos agrícolas, y en menor proporción en el uso de algunos métodos físicos como la termoterapia y la solarización. A pesar de su importancia, ha habido poco desarrollo del uso de sistemas de pronóstico meteorológico de enfermedades como medios para racionalizar el uso de plaguicidas.

## RECOMENDACIONES

Dada la elevada cantidad de fungicidas utilizados en Costa Rica en la prevención y combate de enfermedades y la necesidad de evitar el deterioro ecológico, se hace urgente dedicar más esfuerzos y recursos a la investigación y adaptación de sistemas de pronóstico meteorológico y biometeorológico, que permitan racionalizar el uso de esos productos.

Las restricciones internacionales al uso de ciertos plaguicidas, como el bromuro de metilo (Kirwin, 1993), demandan también una urgente investigación de la potencialidad de prácticas como la solarización, como un medio de combate no químico que podría contribuir al desarrollo de la agricultura orgánica.

Es necesario favorecer la capacitación

de los técnicos y los productores sobre la importancia y uso de algunos medios físicos, así como de prácticas de manejo del microclima, como métodos eficaces en la prevención y el combate de las enfermedades. Pa-

ralelamente, deben hacerse estudios cuidadosos de los sistemas tradicionales a fin de mejorarlos y buscar nuevos procedimientos a partir de la investigación científica y las continuas innovaciones realizadas por agricultores progresistas.

## BIBLIOGRAFIA

AGRIOS, G. 1978. Plant pathology. Academic Press: New York. p. 104-144.

BARROS, O. 1966. Valor de las prácticas culturales como método para reducir la incidencia de monilia en plantaciones de cacao. Agricultura Tropical (Colombia) 22: 605-612.

BEAUMONT, A. 1947. The dependence of the weather of the dates of outbreak of potato blight epidemics. Transactions of the British Mycological Society 31: 45-53.

BECERRA, J.E. 1975. Control cultural y químico de la pudrición basal del tallo de chile dulce (*Capsicum annuum* L.) causado por *Phytophthora capsici*. San José, Costa Rica, Tesis Ing. Agr. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 34 p.

BELALCAZAR, S.L. 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Cali, Colombia, ICA, INIBAP, CIID, FENACAFE. 376 p.

BERGER, R.D. 1969. A celery early blight spray program based on disease forecasting. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 82: 107-111.

BERGER, R.D. 1970. Forecasting *Helminthosporium turcicum* attacks in Florida sweetcorn. Phytopathology 60: 1284 (Abstract).

BOURKE, P.M.A. 1955. The forecasting from weather data of potato blight and other plant disease and pest. World Meteorological Organization, Technical Note No.10, Geneva, 48 p.

BOURKE, P.M.A. 1970. Use of weather information in the prediction of plant disease epiphytotics. Annual Review of Phytopathology 8: 345-370.

BRUN, J. 1963. La cercosporiose du bananier en Guinée. Etude de la phase ascosporee du *Mycosphaerella musicola*. Paris, Thèses Université de Paris. 187 p.

BURLEIGH, J.R.; EVERSMEYER, M.G.; ROELFS, A.P. 1972. Development of linear equations for predicting wheat leaf rust. Phytopathology 62: 947-953.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. 1990. Monitoring epidemics: Environment. In: Introduction to plant disease epidemiology. Wiley: London. p. 43-73.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) 1990. Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate. Serie Técnica. Informe Técnico No. 151. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 138 p.

CHANNON, A.G. 1981. Forecasting barley mildew development in West Scotland. Annals of Applied Biology 97: 45-53.

COOK, H.T. 1949. Forecasting late blight epiphytotics of potatoes and tomatoes. Journal of Agricultural Research 78: 545-563

COOK, R.; PAPENDICK, R.I. 1972. Influence of water potential of soils and plant on root diseases. Annual Review of Phytopathology 10: 349-368.

DANNEBERGER, T.K.; VARGAS, J.M.; JONES, A.L. 1984. A model for weather band forecasting of anthracnose on annual bluegrass. Phytopathology 74: 448-451.

DE LA I. DE BAUER, M.L. 1984. Fitopatología. Futura: México. p. 317.

DEVAY, J. 1991. Effect of soil solarization on fungi and bacteria. In: Soil solarization. FAO, Rome. Plant Production and Protection Paper No. 109. p. 79-93.

- DIVOUX, M.R. 1964. Le mildiou de la pomme de terre et les avis de traitement. Paris, Institut Technique de la Pomme de Terre. Document No. 15.
- EISENSMITH, S.P.; JONES, A.L. 1981. Infection model for timing fungicide applications to control cherry leaf spot. *Plant Disease* 65: 955-958.
- ENRIQUEZ, G. 1985. Curso sobre el cultivo del cacao. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. p. 157-160.
- EVERSMEYER, M.G.; BURLEIGH, J.R. 1970. A method of predicting epidemic development of wheat leaf rust. *Phytopathology* 60: 805-811.
- EVERSMEYER, M.G.; BURLEIGH, J.R.; ROELFS, A.P. 1973. Equations for predicting wheat stem rust development. *Phytopathology* 63: 348-351.
- FAO (Food and Agriculture Organization) 1991. Soil solarization. Rome, FAO, Plant Production and Protection Paper 109. 395 p.
- FORSUND, E. 1983. Late blight forecasting in Norway 1957-1980. *EPPO Bulletin* 13: 255-258.
- FRIESLAND, H.; SCHRODTER, H. 1988. The analysis of weather factors in epidemiology. In: Kranz, J.; Rotem, J. (eds.). *Experimental techniques in plant disease epidemiology*. Springer: Berlin. p. 115-134.
- FRY, W. 1982. Principles of plant disease management. Academic Press: New York. p. 105-126, 235-244.
- FRY, W.E.; FOHNER, G.R. 1985. Construction of predictive models: I. Forecasting disease development. *Advances in Plant Pathology* 3: 161-177.
- FRY, W.E.; APPLE, A.; BRUHN, J.A. 1983. Evaluation of potato late blight forecast modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. *Phytopathology* 73: 1054-1059.
- GANRY, J.; MEYER, J.P. 1972. La lutte contrôlée contre la Cercosporiose aux Antilles. Bases climatiques de l'avertissement. Techniques d'observation et numération de la maladie. *Fruits* 27: 767-774.
- GILLESPIE, T.J.; SUTTON, J.C. 1979. A predictive scheme for timing fungicide applications to control alternaria leaf blight in carrots. *Canadian Journal of Plant Pathology* 1: 95-99.
- GONZALEZ, L.C. 1979. Introducción a la fitopatología. IICA: San José, Costa Rica. p. 110-124.
- GONZALEZ, L.C. 1977. Principales enfermedades de los cultivos de Costa Rica. Universidad de Costa Rica: San José, Costa Rica. 129 p.
- HORD, M.J.; ARAUZ, L.F.; RODRIGUEZ, W. 1993. Evaluación del un sistema de pronóstico para la antracnosis del mango en condiciones de Costa Rica. In: Memoria del II Congreso Nacional de Fitopatología, San José, Costa Rica. Asociación Costarricense de Fitopatología. Resúmenes. p. 17.
- HUBER, L.; GILLESPIE, T.J. 1992. Modeling leaf wetness in relation to plant diseases epidemiology. *Annual Review of Phytopathology* 30: 553-577.
- HYRE, R.A. 1957. The development of a method for forecasting downy mildew of lima bean. *Plant Disease Reporter*, Suppl. 41: 7-9.
- HYRE, R.A. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reporter* 38: 245-253.
- HYRE, R.A.; BONDE, R. 1956. Forecasting late blight of potatoes in Aroostook County, Maine, in 1956. *Plant Disease Reporter* 40: 1087-1090.
- HYRE, R.A.; BONDE, R. 1955. Forecasting late blight of potato in Northern Maine. *American Potato Journal* 22: 119-125.
- HYRE, R.A.; HORSFALL, J. 1951. Forecasting late blight of potato in Connecticut. *Plant Disease Reporter* 35: 423-431.
- JENSEN, R.E.; BOYLE, L.W. 1966. A technique for forecasting leafspot on peanuts. *Plant Disease Reporter* 50: 810-814.
- JIMENEZ, F. 1994. Etudes agrométéorologiques appliquées a la lutte contre la sigatoka noire *Mycosphaerella fijiensis* du bananier plantain (*Musa AAB*). Thèse Docteur. Institut National Agronomique PG. Paris, France. 126 p.
- JOHNSON, G. 1989. An operational system for predic-

- tion of peanut leafspot disease. *In: 9th Conference Agricultural and Forest Meteorology. South Carolina, USA, 7-10 march 1989. American Meteorology Society, Boston. p. 67-69.*
- JONES, A.L.; LILLEVIK, S.L.; FISHER, P.D.; STEBBINS, T.C. 1980. A microcomputer based instrument to predict apple scab infection periods. *Plant Disease* 64: 69-72.
- KATAN, J. 1987. Soil solarization. *In: Innovative approaches to plant disease control. Wiley & Sons: New York. p. 77-105.*
- KATAN, J.; GRINSTEIN, A.; GREENBERGER, A.; YARDEN, O.; DEVAY, J.E. 1987. The first decade (1976-1986) of soil solarization (solar heating): a chronological bibliography. *Phytoparasitica* 15: 229-255.
- KATAN, J.; GREENBERGUER, A.; ALON, H.; GRINSTEIN, A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soil-borne pathogens. *Phytopathology* 66: 683-688.
- KIRWIN, J. 1993. El ozono en la actualidad. *Nuestro Planeta (PNUMA)* 5: 14-18.
- KRAUSE, R.A.; MASSIE, L.B. 1975. Predictive systems. *Modern approaches to disease control. Annual Review of Phytopathology* 13: 31-47.
- KRAUSE, R.A.; MASSIE, L.B.; HYRE, R.A. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59: 95-98.
- LAMARQUE, C.; RAPILLY, F. 1981. Conditions nécessaires a la contamination du tournesol par les ascospores de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. Application a la prevision des epidemies locales. *In: La prevision des epidemies de Sclerotinia sur le turnesol. Approche agrométéorologique. CETION, INRA, MN. París. p. 4-6.*
- LEACH, C.M. 1967. Interaction of near-UV light and temperature on sporulation of *Alternaria*, *Cercospora*, *Fusarium*, *Helminthosporium* y *Stemphylium*. *Canadian Journal of Botany* 45: 1999-2015.
- LEACH, C.M.; ANDERSON, A.J. 1982. Radiation quality and plant diseases. *In: Hatfield, J.L.; Thomason, I.J. (eds.). Biometeorology and integrated pest management. Academic Press: New York. p. 267-306.*
- MADDEN, L.; PENNYPACKER, S.P.; MACNAB, A.A. 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68: 1354-1358.
- MADRIZ, M. 1987. Combate integrado del mal del talluelo causado por *Fusarium* y *Rhizoctonia* en semilleros de café mediante el calentamiento solar del suelo y el antagonista *Trichoderma harzianum*. Tesis Ing. Agr. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 82 p.
- MARIN, D.; ROMERO, R. 1992. El combate de la sigatoka negra. *CORBANA, Boletín No. 4. 22 p.*
- MENESES, R.; AMADOR, R. 1990. Los áfidos de la papa y su fluctuación poblacional en Costa Rica. *In: Resúmenes de la XXXVI Reunión Anual de la PCCMCA. Vol. II: 227.*
- MEREDITH, D.S. 1970. Banana leaf spot (sigatoka) caused by *Mycosphaerella musicola* Leach. *Commonwealth Mycological Institute, England. Phytopathological Papers No. 11: 22.*
- MESEN, R. 1987. Combate de *Rhizoctonia solani* con calentamiento solar del suelo y el antagonista *Trichoderma harzianum* en coliflor (*Brassica oleracea* var. *botritis*). Tesis Ing. Agr. Escuela de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. 47 p.
- MILLER, P.R. 1959. Plant disease forecasting. *In: Plant pathology: problems and progress 1908-1958. American Phytopathological Society. University of Wisconsin Press: Madison. p. 557-565.*
- MILLER, P.R.; O'BRIEN, M.J. 1957. Prediction of plant diseases epidemics. *Annual Review of Microbiology* 11: 77-110.
- MILLS, W.D. 1944. Efficient use of sulfur dusts an sprays during rain to control apple scab. *New York Agricultural Experiment Station. Ithaca Ext. Bulletin p. 18-21.*
- NAVARRO, J.R.; MORA, D.; DIAZ, J.; VILCHEZ H.; CORRALES, E. 1991. Efecto de la solarización del suelo sobre la población de malezas y del hongo *Rhizoctonia solani*, durante la estación lluviosa en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 15: 93-98.
- NYLAND, G.; GOHEEN, A.C. 1969. Heat therapy of

virus diseases of perennial plants. *Annual Review of Phytopathology* 7: 331-354.

PARVIN, D.W. Jr.; SMITH, D.H.; CROSBY, F.L. 1974. Development and evaluation of a computerized forecasting method for *Cercospora* leaf spot of peanuts. *Phytopathology* 64: 385-388.

POLLEY, R.; SMITH, L.P. 1973. Barley mildew forecasting. *In: Proceedings of the 7th British Insecticide and Fungicide Conference*. p. 373-378.

PROCTOR, J.T.A.; BLACKBURN, W.J.; GILLESPIE, T.J.; MACNEILL B.H. 1983. Prediction of apple scab. *Highlights of Agricultural Research in Ontario* 6: 7-9.

RAPILLY, F. 1991. L'épidémiologie en pathologie végétale. *Mycoses Aériennes*. INRA: Paris. 318 p.

RAYCHAUDHURI, S.P.; VERMA, J.P. 1977. Therapy by heat, radiation, and meristem culture. *In: Horsfall, J.; Cowling, E. (eds.). Plant disease: An advanced treatise*. Academic Press: New York. Vol. 1: 177-189.

ROBERTS, D.A.; BOOTHROYD, C.W. 1984. Fundamentals of plant pathology. 2nd ed. Freeman and Co.: New York. p. 175-205.

ROTEM, J. 1978. Climatic and weather influences on epidemics. *In: Horsfall, J.; Cowling, E. (eds.). Plant disease: An advanced treatise*. Academic Press: New York. Vol. II: 317-337.

ROTEM, J.; PALTI, J. 1969. Irrigation and plant diseases. *Annual Review of Phytopathology* 7: 267-288.

RUPE, J.C.; FERRIS, R.S. 1987. A model for predicting the effects of microclimate on infection of soybean by *Phomopsis longicolla*. *Phytopathology* 77: 1162-1166.

SAXENA, S.C.; LAL, S. 1983. Use of meteorological factors in prediction of *Erwinia* rot of maize. *Tropical Pest Management* 30: 82-85.

SHAW, R.H. 1982. Wind movement within canopies. *In: Hatfield, J.L.; Thomason, I.J. (eds.). Biometeorology in integrated pest management*. Academic Press: New York. p. 17-41.

SHRUM, R.D. 1978. Forecasting of epidemics. *In: Horsfall, J.; Cowling, E. (eds.). Plant disease: An ad-*

*vanced treatise*. Academic Press: New York. Vol. 2: 223-238.

STAPLETON, J.J.; DEVAY, J.E. 1986. Soil solarization: a non chemical approach for management of plant pathogens and pests. *Crop Protection* 5: 190-198.

STEVENS, N.E. 1934. Stewart's disease in relation to winter temperature. *Plant Disease Reporter* 12: 141-149.

STEVENS, R.B. 1960. Cultural practices in disease control. *In: Horsfall, J.; Dimond, A. (eds.). Plant pathology. An advanced treatise*. Academic Press: New York. Vol. 3: 357-429.

THOMPSON, N. 1983. Meteorology and crop spraying. *Meteorological Magazine* 110: 1-12.

THOMSON, S.V.; SCHROTH, M.N.; MOLLER, W.J.; REIL, W.O. 1982. A forecasting model for fireblight of pear. *Plant Disease* 66: 576-579.

WALLIN, J.R. 1967. Ground level climate in relation to forecasting plant diseases. *In: Shaw, R. (ed.). Ground level climatology*. American Association for Advancement of Science, Washington. Publication No. 86. p. 149-163.

WALLIN, J.R. 1962. Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in United States and Canada. *American Potato Journal* 39: 306-312.

WALLIN, J.R. 1960. Weather map analysis and aid forecasting potato late blight. *Plant Disease Reporter* 44: 227-234.

WALLIN, J.R. 1951. Forecasting tomato and potato late blight of potato in the north-central region. *Phytopathology* 41: 37 (Abstract).

WALLIN, J.R.; HOYNAN, W.G. 1954. Forecasting potato late blight in North Dakota. *North Dakota Agricultural Experimental Station. Bimonthly Bulletin* 16: 226-231.

WATSON, A.; HEATHCOTE, G.D.; LAUCKNER, F.B.; SOWRAY, P.A. 1975. The use of weather data and counts of aphids in the field to predict the incidence of yellowing viruses of sugar beet crop in England in relation to use of insecticides. *Annals of Applied Biology* 81: 181-198.

WMO (World Meteorological Organization) 1988. Agrometeorological aspects of operational crop protection. Geneva, WMO. Technical Note No. 192. 115 p.

ZADOKS, J.C.; SCHEIN, R.D. 1979. Epidemiology and plant diseases management. Oxford University Press: New York. 427 p.

ZENTMYER, G.A.; BALD, J.G. 1977. Management of the environment. *In*: Horsfall, J.; Cowling, E. (eds.). Plant disease: An advanced treatise. Academic Press: New York. Vol. 1: 121-144.

## CUADRO SINOPTICO

ESTADO DEL DESARROLLO DE ALGUNAS OPCIONES METEOROLOGICAS PARA EL COMBATE DE ENFERMEDADES						
CULTIVO	PATOGENO	METODO	TIPO*	GRADO DE DESARR.**	REFERENCIA	
Algodón	<i>Rhizoctonia solani</i>	Solarización	MM	3	Navarro <i>et al.</i> , 1991	
Apio	<i>Cercospora apii</i>	Preaviso	SP	4	Berger, 1969	
Banano	<i>Mycosphaerella musicola</i>	Preaviso	SP	1	Ganry y Meyer, 1972	
Banano	<i>Mycosphaerella fijjensis</i>	Deshoja	MM	4	Marín y Romero, 1992	
Banano	<i>Mycosphaerella musicola</i>	Deshoja	MM	4	Meredith, 1970	
Cacao	<i>Phytophthora</i> sp.	Manejo sombra	MM	4	Enriquez, 1985	
Cacao	<i>Monilia roleri</i>	Manejo sombra	MM	4	Barros, 1966	
Café	<i>Mycena citricolor</i>	Manejo sombra	MM	4	González, 1977	
Café	<i>Hemileia vastatrix</i>	Manejo sombra	MM	4	González, 1977	
Café	<i>Fusarium</i> sp.	Solarización	MM	3	Madriz, 1987	
Chile dulce	<i>Phytophthora capsici</i>	Manejo humedad suelo	MM	3	Becerra, 1975	
Maní	<i>Cercospora</i> sp.	Preaviso	SP	1	Jensen y Boyle, 1966	
Manzana	<i>Venturia inaequalis</i>	Preaviso	SP	1	Jones <i>et al.</i> , 1980	
Papa	<i>Phytophthora infestans</i>	Preaviso	SP	1	Krause <i>et al.</i> , 1975	
Papa	<i>Erwinia</i> sp.	Manejo humedad suelo	MM	4	González, 1977	
Papa	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Siembra zonas altura	E	4	González, 1979	
Papa	Virus	Siembra época lluviosa	E	3	Meneses y Amador, 1990	
Plátano	<i>Mycosphaerella fijjensis</i>	Preaviso	SP	3	Jiménez, 1994	

ESTADO DEL DESARROLLO DE ALGUNAS OPCIONES METEOROLOGICAS PARA EL COMBATE DE ENFERMEDADES

CULTIVO	PATOGENO	METODO	TIPO	GRADO DE DESARR.	REFERENCIA
Plátano	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	Deshoja	MM	4	Belalcazar, 1991
Soya	<i>Phomopsis longicolla</i>	Preaviso	SP	1	Rupe y Ferris, 1987
Tomate	<i>Alternaria solani</i>	Preaviso	SP	1	Madden <i>et al.</i> , 1978
Tomate	<i>Erwinia carotovora</i>	Drenaje adecuado	MM	4	González, 1977; CATIE, 1990
Tomate	<i>Rhizoctonia spp.</i>	Manejo humedad suelo	MM	4	CATIE, 1990
Tomate	<i>Pythium spp.</i>	Manejo humedad suelo	MM	4	CATIE, 1990
Tomate	<i>Erwinia sp.</i>	Almac. a baja temper.	MM	4	CATIE, 1990
Zanahoria	<i>Alternaria dauci</i>	Preaviso	SP	1	Gillespie y Sutton, 1979
Varios	Varios, aéreos y del suelo	Manejo de riego	MM	1	Rotem y Palti, 1969
Varios, v.g. fresa	virus	Termoterapia	MM	1	Nyland y Goheen, 1969
<p>* Tipo= MM: modificación microclimática</p> <p>SP: sistema de preaviso</p> <p>E : evitación</p> <p>** Escala=</p> <p>1: Nulo en el país, pero de acuerdo con la experiencia en otras regiones y la opinión del autor podría ser promisorio para empezar a evaluarse en el país.</p> <p>2: Incipiente o en experimentación a nivel de laboratorio o invernadero.</p> <p>3: Intermedio (experimentación a nivel de campo en parcelas de prueba).</p> <p>4: Exitoso a nivel de campo.</p>					