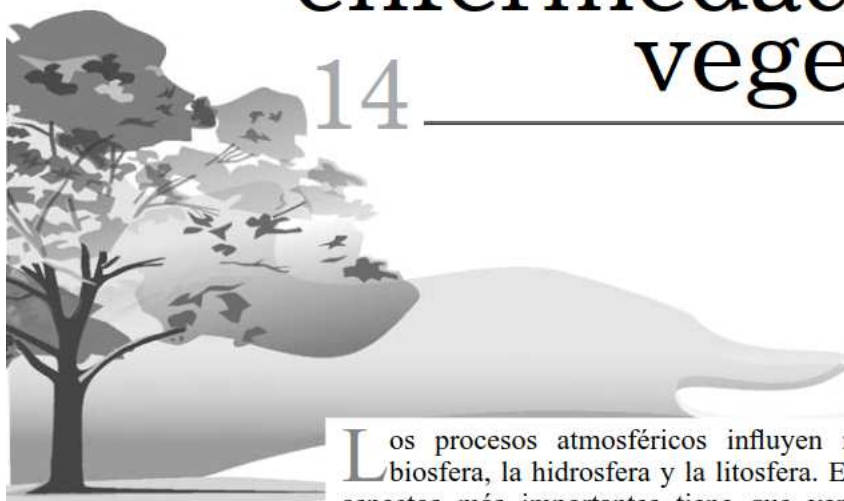


# El clima y las enfermedades vegetales

14



Los procesos atmosféricos influyen notablemente sobre la biosfera, la hidrosfera y la litosfera. En particular, uno de los aspectos más importantes tiene que ver con el efecto de los elementos del clima sobre el comportamiento de los fitopatógenos.

Para el estudio sistemático de la relación entre los elementos del clima y las enfermedades de las plantas, se requiere la integración de los siguientes elementos:

- a) *Una red básica de estaciones climáticas*, cuyo funcionamiento debe seguir las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en la cual se realicen observaciones durante un gran número de años.
- b) *Un equipo de especialistas* en los diferentes campos de la producción agrícola: fisiología vegetal, entomología, fitopatología, edafología y otras disciplinas afines a la agroclimatología.

De acuerdo con lo anterior, es deseable que las asociaciones de agricultores puedan contar con el apoyo de un equipo de investigación que estudie la interacción de la agroclimatología con las disciplinas mencionadas arriba, para dar solución a los problemas que con frecuencia se plantean en la producción agrícola.

## La agroclimatología y el manejo de las enfermedades de las plantas

La agroclimatología puede ser utilizada como herramienta para el manejo integrado de las enfermedades en los cultivos, en los siguientes aspectos (Bourke, 1970; Cloakley, 1988; Pennypacker y Stevenson, 1982; Zadocks y Schein, 1979; Zentmyer y Bald, 1977):

- Delimitación de regiones con diferente grado de incidencia de las enfermedades.
- Caracterización de las condiciones de topoclima y microclima para orientar el manejo de las enfermedades.
- Establecimiento de sistemas de preaviso climático para definir las épocas de control adecuadas.
- Determinación de las condiciones atmosféricas favorables para las aplicaciones de los diversos métodos de control.

## Delimitación de regiones con diferente grado de incidencia de las enfermedades

La delimitación de las áreas climáticas requiere de una red climática confiable y representativa de las áreas de cultivo. El método más sencillo para un manejo adecuado de las enfermedades en un cultivo, puede ser la división geográfica de acuerdo con su presencia en las regiones (ausencia, presencia y marginalidad).

Como ejemplo se puede citar la zonificación agroclimática para el cultivo del caucho *Hevea brasiliensis* en la zona cafetera colombiana (Jaramillo, 1985b). Esta regionalización se basa en la identificación de las *zonas de escape* a la enfermedad denominada Mal Suramericano de las Hojas (MSH) producida por el hongo *Microcyclus ulei*.

El caucho es originario de la cuenca del río Amazonas (temperatura media del aire superior a los 28°C y humedad relativa superior al 80%). En su ecosistema natural existe una gran diversidad de especies vegetales y la densidad de árboles de caucho por hectárea no es superior a 5.

Las primeras plantaciones de caucho en Suramérica se desarrollaron como monocultivo en zonas con condiciones climáticas semejantes a la región de origen, pero con densidades

de siembra muy superiores a las del ecosistema natural (aproximadamente 500 árboles/ha), lo cual originó un ambiente propicio para el desarrollo del MSH y como consecuencia, el desarrollo de epidemias devastadoras.

Considerando el criterio de *zonas de escape*, las nuevas áreas para el cultivo del caucho se deben localizar en regiones con condiciones climáticas adversas para el desarrollo del hongo.

En condiciones naturales y por ser una planta caduca, en el árbol del caucho ocurren ciclos de defoliación sincronizados con los períodos secos y con los días de fotoperíodo corto. La defoliación de los árboles se puede aprovechar para disminuir la cantidad de inóculo del hongo, situando el cultivo en zonas con períodos secos definidos y con más de media hora de variación en el fotoperíodo diario.

Las regiones recomendadas para el cultivo del caucho dentro de la zona cafetera colombiana, según el criterio agroclimático de *zonas de escape* al MSH, tienen las siguientes características climáticas:

- Temperatura media del aire superior a los 20°C.
- Evapotranspiración potencial superior a 900 mm/año.
- Deficiencias hídricas entre 100 y 300 mm/año, concentrados en dos o tres meses secos continuos.
- Variación del fotoperíodo mayor de media hora/día.mes

## Caracterización de las condiciones de mesoclima y microclima para orientar el manejo de las enfermedades

Para el manejo de las enfermedades se pueden utilizar diversos conocimientos relacionados con los mesoclimas de las regiones y microclimas de los cultivos o de los invernaderos, con los cuales pueden evaluarse alternativas como la modificación de la temperatura, la humedad del suelo y del aire, la aireación y el balance de radiación solar.

Las enfermedades de los cultivos se desarrollan bajo la influencia del microclima en el órgano afectado (raíz, tallo, hojas, frutos, etc). Las condiciones de microclima inciden notablemente sobre el crecimiento de la planta, lo cual a su vez, modifica los balances de radiación, de energía, de agua y la turbulencia dentro del cultivo.

Las mediciones de los elementos macroclimáticos que influyen sobre las enfermedades deben complementarse con las mediciones microclimáticas en las zonas de cultivo (balances de radiación, de energía, hídricos y los flujos turbulentos dentro de la plantación), con instrumentos meteorológicos instalados dentro del cultivo y con registros simultáneos de los estados fenológicos de la planta y la evolución epidemiológica de la enfermedad.

Con el balance de radiación se puede conocer la radiación solar global incidente sobre el ecosistema, las tasas de absorción de energía por el cultivo, las cantidades de radiación dentro del cultivo y la proporción de radiación utilizada en los procesos de fotosíntesis y de evapotranspiración. También se puede saber el grado de utilización de la radiación

neta en los procesos de evapotranspiración, en el calentamiento del aire y el calentamiento del suelo, y los procesos de condensación de agua o rocío que ocurren en el interior de los cultivos los cuales tienen una gran incidencia para el desarrollo de las enfermedades de las plantas.

Los balances hídricos muestran la dinámica del agua dentro de un cultivo. Una parte del agua lluvia incidente en la parte externa de los ecosistemas vegetales es interceptada por el follaje de las plantas y contribuye al desarrollo de las enfermedades al generar agua líquida sobre los órganos de la planta. Otra cantidad del agua pasa a través de las plantas e ingresa a la superficie del suelo, parte de la cual se infiltra y parte de la cual se pierde como agua de escorrentía.

El conocimiento de la circulación del aire a nivel regional y de los flujos turbulentos dentro de los cultivos es fundamental para los estudios de diseminación de los patógenos por el viento, y para describir el comportamiento de los pesticidas aplicados para el control de las enfermedades.

## Establecimiento de sistemas de preaviso de las enfermedades basados en el clima

El preaviso se basa en un análisis de descriptores *climáticos o biológicos* para realizar tratamientos de los cultivos en el momento oportuno. Con la utilización del preaviso climático se puede lograr la disminución en el número de aplicaciones y de tratamientos, la reducción de costos y la reducción de la presión de los agroquímicos sobre los microorganismos, con lo cual se reduce el riesgo de inducir resistencia a los productos.

La utilización del preaviso de enfermedades de las plantas con base en la información meteorológica debe reunir las siguientes condiciones (Bourke, 1978):

- a) La enfermedad produce impacto sobre la cantidad o calidad de la producción.
- b) El momento de aparición, la velocidad del ataque y el grado de daño final varían con el tiempo atmosférico. Una parte apreciable de tal variación debe atribuirse a elementos climáticos que actúan de manera directa o indirecta.
- c) Las medidas de control de tipo preventivo o curativo deben estar dentro de una estructura de costos que genere rentabilidad.
- d) Debe disponerse de información sobre la enfermedad y sobre las condiciones climáticas que la favorecen. Debe haber dependencia entre el tiempo atmosférico y el desarrollo de la enfermedad.

Como un ejemplo de *preaviso climático*, dentro del manejo integrado de una enfermedad se puede citar el desarrollado para el control de la sigatoka amarilla en el banano producida por el hongo *Mycosphaerella musicola* (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983).

Estos investigadores franceses desarrollaron un sistema de preaviso climático para el control de la sigatoka amarilla en algunos países de Centroamérica y del Caribe.

El método propuesto tiene en cuenta dos descriptores, a saber:

*La evaporación*, medida con un *evaporímetro de Piche*. Esta variable integra los elementos climáticos que influyen en el nivel hídrico de la hoja (el viento, el déficit de saturación del vapor de agua en el aire y la temperatura del aire).

*Temperatura del aire* (temperatura máxima y mínima diaria), registrada en la estación climática próxima al cultivo.

En una primera fase del método se evalúan los niveles de evaporación favorables o desfavorables para el desarrollo de la sigatoka amarilla en el banano, según los valores que se detallan en la Tabla 14.1.

Luego se utiliza un nomograma y con base en las temperaturas máxima y mínima diarias medidas en la estación climática próxima al cultivo se calculan las sumas de las velocidades de desarrollo diario de la sigatoka. Estas velocidades se acumulan semanalmente para obtener una Suma de Velocidades de Desarrollo Semanal (SVDS), según el coeficiente de Brun expresado como porcentaje de la velocidad máxima de desarrollo de la Sigatoka.

En la Tabla 14.2, se registran las condiciones favorables o desfavorables para el desarrollo de la sigatoka amarilla en el banano, de acuerdo con las SVDS de la enfermedad.

**Tabla 14.1.** Niveles de evaporación favorables y desfavorables para el desarrollo de la sigatoka amarilla *M. musicola* (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983).

Condición de acción	Evaporación semanal, mm
Muy favorable (F)	Menos de 22
Bastante favorable (BF)	22 a 30
Poco favorable (PF)	30 a 40
Desfavorable (D)	Mayor de 40

**Tabla 14.2.** Condiciones que favorecen o desfavorecen el desarrollo de la Sigatoka amarilla, *M. Musicola*, según las SVDS (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983).

Condición de acción	Suma de velocidad de desarrollo semanal
Muy favorable (F)	Mayor de 15.000
Bastante a Poco favorable ( BF a PF)	14.000 a 15.000
Desfavorable (D)	Menos de 14.000

Cuando se integran los valores de la evaporación con las sumas de desarrollo acumulados para la semana se obtienen las condiciones favorables o desfavorables para el desarrollo de la enfermedad, que pueden constituirse en criterios de decisión para el control químico (Tabla 14.3).

El ritmo de los tratamientos a seguir después de la aplicación de un producto fungicida sistémico cuya efectividad en la planta se estima en tres o cuatro semanas (por ejemplo los triazoles), se registra en la Tabla 14.4. Cuando las condiciones climáticas son favorables para la enfermedad las aplicaciones se realizan dos semanas después de que pase el período de efectividad del producto. Si las condiciones son poco favorables, las aplicaciones de control deben realizarse cuatro semanas después y, si las condiciones son desfavorables, no se realizan aplicaciones. Los tratamientos químicos se reinician cuando nuevamente se presenten las condiciones climáticas favorables.

El criterio de preaviso climático sustituye el criterio tradicional de calendario fijo, normalmente utilizados para el tratamiento de las enfermedades en muchos cultivos. La ventaja de su uso consiste en la reducción en el número y costo de las aplicaciones. La utilización del criterio de preaviso para el control de la sigatoka amarilla en Guadalupe ha dado como resultado la disminución de aplicaciones desde 18 al año, utilizando el criterio de calendario fijo en 1970, a 6 aplicaciones por año en 1980 (Tabla 14.5).

**Tabla 14.3.** Caracterización de las condiciones favorables o desfavorables para el desarrollo de la sigatoka amarilla, *M. musicola*, de acuerdo con la acción combinada de la evaporación y la SVDS (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983)

Evaporación mm/semana	Suma de velocidades de desarrollo semanal		
	Menos 14.000	14.000 a 15.000	mayor de 15.000
Menos de 22	D	BF – PF	F
22 a 30	D	BF – PF	BF
30 a 40	D	PF	PF
Mayor de 40	D	D	D

**Tabla 14.4.** Ritmo de los tratamientos para el control de la sigatoka amarilla (*M. musicola*) según la condición climática observada (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983).

Condición climática	Ritmo de tratamiento, semanas
Favorable a la enfermedad	2
Bastante favorable	3
Poco favorable	4
Desfavorable	No hay tratamiento

**Tabla 14.5.** Evolución en el número medio de las aplicaciones para el control de la sigatoka amarilla (*M. musicola*) en el cultivo del banano en Guadalupe (Ganry y Meyer, 1972; Ganry y Laville, 1983).

Año	1970	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Nº Aplicaciones	18	15	9	6	7	6	6	6	6	7	6	8*
	Aceite			Aceite más fungicida sistémico								

\* Presencia de razas del patógeno resistentes a los benzimidazoles

## Determinación de las condiciones atmosféricas para las aplicaciones (Grisales y Jaramillo, 1993, Mattwes, 1988)

Aunque los agricultores reconocen que existe algún grado de importancia de los elementos meteorológicos en el desarrollo y control de las enfermedades de sus cultivos, su nivel de comprensión acerca de tal influencia es, en general, muy bajo. Este hecho es de particular importancia en la región tropical debido a la magnitud de los ataques fitosanitarios que requieren intensos programas de control. La FAO estima que en estas regiones la eficiencia de los controles es muy baja, como consecuencia, en gran medida, del desconocimiento y el manejo inapropiado de las condiciones meteorológicas durante las aplicaciones (viento, temperatura, humedad relativa, lluvia y agua líquida sobre las hojas).

### **El viento**

La dirección y la velocidad del viento se modifican por las condiciones topográficas del terreno, por el tipo de cultivo y por la disposición de las plantas en el terreno.

Dentro del cultivo la velocidad del viento es muy baja debido a la fricción del aire y su dirección es muy variable, típicamente turbulenta, esto es, se mueve en forma de torbellinos o remolinos. El aire transporta calor, dióxido de carbono, vapor de agua y partículas en suspensión entre las cuales se encuentran las estructuras reproductivas de los hongos y las bacterias.

El papel del viento en las aspersiones es múltiple. Cuando desplaza horizontalmente un conjunto numeroso de partículas se produce el fenómeno conocido como *deriva*. También puede redistribuir las partículas verticalmente dentro del follaje cuando es mayor la turbulencia.

### **La temperatura**

El movimiento del aire es función de la temperatura ya que modifica su densidad, lo cual trae como consecuencia el desplazamiento de las masas de aire desde sitios con alta densidad a sitios con baja densidad. Para las aplicaciones de productos en el campo se debe tener en cuenta el gradiente térmico y las corrientes convectivas sobre el cultivo, además de la modificación de la viscosidad de los líquidos.

El gradiente térmico se define como la variación de la temperatura con la altura. Las masas de aire dentro de un cultivo pueden exhibir varias condiciones:

- Neutras: La temperatura disminuye con la altura a razón de  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ .
- Inestables: La temperatura disminuye con la altura a más de  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ . Esta situación ocurre durante el día, cuando el aire próximo al cultivo es muy caliente y más liviano, por lo cual tiende a elevarse.
- Estables: La temperatura disminuye con la altura a una tasa menor de  $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  o en ciertos casos aumenta con la altura, condición ésta conocida como inversión térmica. Se presenta cuando las masas de aire próximas al cultivo son muy frías, especialmente durante la noche. Bajo estas condiciones el movimiento vertical del aire puede suprimirse completamente.

En días de alta radiación se observa una estrecha relación entre la temperatura y la estabilidad del aire: las condiciones neutras o estables se presentan durante la noche o en las primeras horas del día o en las últimas horas de la tarde. Las condiciones de mayor inestabilidad atmosférica ocurren en las horas de máxima radiación y temperatura.

Los mayores depósitos de productos aplicados sobre los cultivos se logran en condiciones de neutralidad o de estabilidad, mientras que en condiciones de inestabilidad, disminuye la cantidad de producto que llega a la superficie del cultivo.

Los cambios en la viscosidad de los aceites, originados por la variación de la temperatura afectan indirectamente las aplicaciones ya que cambian los flujos de aplicación. Por ejemplo, un cambio en la temperatura de  $20^{\circ}$  a  $30^{\circ}\text{C}$  incrementa el flujo entre 20 y 30% por disminución de la viscosidad de los aceites.

La temperatura del aire ocasiona la marchitez temporal de las hojas debido a la alta transpiración del cultivo en las horas de alta radiación solar y alta temperatura del aire circundante.

### **La convección del aire**

La convección es un ascenso turbulento del aire próximo al cultivo o al suelo debido al calentamiento. Éste aire desplazado es sustituido por aire más frío. Las corrientes ascendentes impiden la caída de las gotas más pequeñas, lo cual puede observarse cuando en condiciones de inestabilidad se dispersan las gotas menores de  $100\ \mu\text{m}$ , las cuales en una gran proporción se elevan y flotan sin depositarse sobre el cultivo.

### **La humedad relativa**

La humedad relativa es una medida de la cantidad de vapor de agua en el aire. Cuando el aire es más seco las gotas de agua se evaporan con mayor facilidad.

La tasa de evaporación se duplica si la humedad relativa disminuye en 10%, lo cual puede ocurrir rápidamente en días soleados. El efecto de la humedad relativa es más crítico



cuando las aplicaciones se hacen con gotas pequeñas. Por ejemplo, gotas de 100  $\mu\text{m}$ , se evaporan en 2,2 metros de descenso si la humedad relativa es del 50%.

En la Tabla 14.6, se presentan algunos criterios sobre las condiciones meteorológicas ha tener en cuenta durante las aplicaciones de productos sobre los cultivos. Si las condiciones en el cultivo superan estos límites las aspersiones deben suspenderse.

En resumen, la agroclimatología como herramienta de apoyo para el manejo integrado de las enfermedades puede intervenir en muchos aspectos como la delimitación de regiones con diferente grado de ataque del patógeno, la caracterización de las condiciones topoclimáticas y microclimáticas para orientar el manejo de una enfermedad, el establecimiento de sistemas de preaviso climático para definir el momento oportuno del control y la determinación de las condiciones atmosféricas más adecuadas para lograr mayor eficiencia en las aplicaciones.

**Tabla 14.6.** Criterios generales sobre los límites superiores críticos de los elementos meteorológicos a tener en cuenta durante las aplicaciones de productos sobre los cultivos.

Volumen(litros/ ha)	Tamaño de gota ( $\mu\text{m}$ )	Tipo de aspersión	
		Dirigida	No dirigida
Alto (>100)	> 400	Alta humedad foliar	Alta humedad foliar Vv > 8 m s-1
Medio a bajo (10-100)	150-250	T > 30 °C HR < 60%	Vv > 5 m s-1 T > 27 °C HR < 70%
UBV (<10)	80-150	T > 27°C HR < 60%	HR < 60% Vv > 3 m s-1 T > 26 °C