

MANEJO DE ENFERMEDADES

en cultivos perennes tropicales

DISEASE MANAGEMENT

in Tropical Perennial Crops

AUTOR



Randy C. Ploetz

Universidad de Florida
Departamento de Fitopatología
Centro Tropical de
Investigación y Educación
18905 SW 280th Street
Homestead, FL 33031-3314
EE.UU.

Palabras CLAVE

Palma de aceite, manejo integrado de enfermedades, fitomejoramiento.

Oil palm, integrated disease management, plant breeding.

Traducido por Fedepalma.
Versión original en inglés disponible en el Centro de Documentación de Fedepalma.

RESUMEN



Los ecosistemas más antiguos del mundo se encuentran en los trópicos. Estos son muy diversos, altamente evolucionados, pero poco comprendidos. Las enfermedades que afectan a los cultivos en estas regiones pueden convertirse en factores limitantes de la producción, especialmente cuando se presentan en ambientes de tierras bajas con alta precipitación y temperaturas cálidas y uniformes; es poco frecuente que la presión de la enfermedad brinde un respiro. Las dificultades en el manejo de las enfermedades en los trópicos húmedos se multiplican cuando se trata de cultivos perennes. Las condiciones favorables para el desarrollo de las enfermedades que se presentan en los trópicos, y la presencia en los cultivos perennes de tejido hospedero susceptible durante períodos largos de tiempo, son factores que se combinan para dar mayor importancia a estos retos. Un medio para el manejo de estas enfermedades de alto impacto es la resistencia del hospedero, que incluye la co-evolución y nuevos patosistemas. Aunque los patógenos en estos sistemas tienen un rango relativamente estrecho de hospederos, con frecuencia son un problema serio. A menudo la resistencia es la herramienta más efectiva para el manejo de estas enfermedades. Generalmente, la resistencia está disponible en hospederos co-evolucionados, especialmente en los centros de origen, pero no son muy comunes en otras situaciones. Una inadecuada resistencia del hospedero representa una barrera significativa en la lucha contra las nuevas enfermedades. Más adelante se presentan escenarios que influyen en los tipos y grados de desarrollo de las diferentes enfermedades en los cultivos tropicales perennes. Debido a la naturaleza policíclica de estas enfermedades y al correspondiente interés en el desarrollo de la enfermedad, se precisa contar con opciones duraderas y efectivas. El manejo exitoso de la enfermedad contempla varios principios lógicos. En las áreas de propagación y producción se utilizan el escape, exclusión y erradicación de los patógenos. Las plantas hospedero están protegidas de los patógenos y del desarrollo de la enfermedad, principalmente por medios químicos y físicos. Cuando sea posible, se utiliza la resistencia del hospedero a la enfermedad a través de varios medios genéticos o químicos.



SUMMARY

The world's oldest ecosystems are found in the tropics. They are diverse, highly evolved, but barely understood. Diseases that impact crops in these regions can be significant obstacles to production, especially when they occur in lowland environments with high rainfall and uniform, warm temperatures; respites from disease pressure are infrequent. Difficulties in managing diseases in the humid tropics are multiplied when the affected crops are perennial. The favorable conditions for disease development that occur in the tropics and the presence of susceptible host tissue over long periods on perennial crops combine to make these serious challenges. Since they impact a preferred means for managing these diseases, host resistance, none is made of coevolved and new encounter pathosystems. Although the pathogens in these systems have relatively narrow host ranges, they are often serious problems. Resistance is often the most effective tool with which these diseases can be managed. Resistance is usually available in coevolved hosts, especially in their centers of origin, but it may be uncommon in new encounter situations. Inadequate host resistance represents a significant barrier to combating many new encounter diseases. Below, scenarios are described that influence the types of and extent to which different diseases develop on tropical perennial crops. Due to the polycyclic nature of these diseases and the corresponding compound interest increase in disease that develops over time, effective and durable management options are needed. Successful disease management recognizes several logical principles. Avoidance, exclusion and eradication of pathogens occur in propagation and production areas. Host plants are protected from pathogens and disease development by mainly chemical and physical means. And host resistance to disease that is developed via various genetic or chemical means is utilized whenever possible.



INTRODUCCIÓN

En una situación ideal, la producción de un cultivo comprende un enfoque holístico de salud y productividad. El manejo de la enfermedad, que es el tema de esta breve revisión, puede ser una preocupación significativa para la producción de un cultivo específico, pero la producción óptima debe considerar un enfoque integral que, además, incluya la nutrición, agua y necesidades ambientales del cultivo. El manejo integrado del cultivo es una frase actual que resume esta filosofía.

En este documento los comentarios se limitan a un aspecto importante de este enfoque holístico: el manejo integrado de las enfermedades. Desde el enfoque aquí utilizado, el manejo exitoso de las enfermedades de las plantas utiliza varios principios y prácticas, que incluyen el escape, exclusión y erradicación del agente causal y la protección y desarrollo en la planta hospedera (Palti, 1981; van der Plank, 1963; Zadoks y Schein, 1979).

Aunque una sola herramienta, tal como la resistencia a la enfermedad, podría ser efectiva contra una

enfermedad dada, en general, el manejo óptimo de la enfermedad se basa en la adopción de una o más tácticas.

AGENTES PATÓGENOS Y CATEGORÍAS

Las enfermedades de las plantas son causadas por diversos agentes, que incluyen hongos, estramenopilos, bacterias, fitoplasmas, nematodos, virus, y viroides. Los hongos (eumycota) son los más importantes, causan enfermedades en todos los órganos de las plantas y son responsables de aproximadamente el 70% de todas las enfermedades de las plantas. Los estramenopilos, que anteriormente se clasificaron como hongos, son los patógenos más importantes de las plantas y producen el piojo harinoso y enfermedades de la raíz, hojas, tronco y frutos (especialmente especies de *Phytophthora* y *Pythium*). Diversas bacterias gram negativas y positivas causan enfermedades aisladas, en algunos casos importantes, al igual que los fitoplasmas (anteriormente conocidos como organismos similares al micoplasma, OSM). Los nematodos son problemas importantes por sí mismos, como vectores de virus y

cuando interactúan con el marchitamiento por fusarium, se aumenta el daño. Los virus y viroides afectan a todo tipo de producción, pero pueden ser importantes en cultivos de propagación vegetativa.

En la discusión sobre el fitomejoramiento para resistencia a las enfermedades, Simmonds y Smartt (1999) clasificaron las enfermedades según sus principales características epidemiológicas y su importancia en los esfuerzos de fitomejoramiento. Además, estas categorías reflejan la importancia general de las diferentes enfermedades, en orden tanto de su importancia relativa como de los agentes causales:

- 1) Hongos transmitidos por el aire, que son responsables del daño general más grave y evidente;
- 2) hongos transmitidos por el suelo, que generalmente están más localizados y se mueven más lentamente que los hongos transmitidos por el aire (para discusión, tanto 1 como 2 incluyen los hongos similares a *estrampenopilos*);
- 3) virus, que son especialmente importantes en los cultivos de propagación vegetativa;
- 4) bacterias; y
- 5) nematodos.

Los números y tipos de ejemplos que se citan a continuación reconocen esta importancia; es decir, las categorías 1 y 2 son las que se examinan con mayor frecuencia.

Enfermedades de hospederos perennes

Las plantas perennes viven más de dos años (Anónimo, 1979). El manejo de las enfermedades en las plantas perennes, debido a su larga vida, es crítico para la persona encargada de la salud de las plantas. En lugar de proteger los tejidos hospederos por unas pocas semanas o meses, es preciso que el personal a cargo establezca medidas a largo plazo.

El desarrollo de epidemias y la acumulación de inóculo puede ser un problema grave en las enfermedades de las plantas perennes, particularmente cuando el hospedero se cultiva en monocultivo genéticamente uniforme. Las enfermedades son menos dañinas en producción intercalada (Thurston, 1992) y en ecosistemas naturales, heterogéneos (Burdon, 1993). La roya del café, el añublo foliar del

caucho en Suramérica y las manchas foliares de sigatoca en el banano son unos de los pocos ejemplos de enfermedades que son inocuas en sistemas naturales o mixtos, pero se convierten en problemas enormes en producción en monocultivo. Puede ser costoso el manejo de los grandes reservorios de inóculo y la alta presión de la enfermedad que se desarrolla en monocultivos perennes. Por ejemplo, se ha reportado que el manejo de la sigatoca negra, causada por *Mycosphaerella fijiensis*, alcanza hasta el 25% del costo final minorista en la exportación de banano (Ploetz, 2000).

Aunque las enfermedades foliares y del fruto son más evidentes, las transmitidas por el suelo también son problemas serios en las situaciones de cultivos perennes. Aquellos problemas que son de importancia esporádica o que se manejan con medidas a corto plazo en los cultivos anuales, pueden ser problemas devastadores en los sistemas perennes. El marchitamiento por Fusarium, producido por diferentes formas de *Fusarium oxysporum*, es un buen ejemplo de este fenómeno.

Los fumigantes biocidas son efectivos contra el marchitamiento por fusarium y desempeñan un papel integral en la producción de cultivos anuales susceptibles como el clavel, el melón cantaloupe, el crisantemo, la berenjena y el tomate. No obstante, aunque los fumigantes son efectivos, su impacto es de corta duración (no aceptable para la producción perenne), debido a la habilidad de *F. oxysporum* de recolonizar rápidamente el suelo fumigado (Marois *et al.*, 1983). Incluso cuando se tratan áreas grandes, posteriormente se presenta una re-infestación y se presentan niveles de la enfermedad anteriores al tratamiento (Herbert y Marx, 1990). El barbecho inundable, una práctica que generalmente tiene el mismo impacto y las limitaciones de la fumigación, no es tan efectivo en los cultivos perennes (Stover, 1962).

El control moderado de la resistencia del hospedero podría ser aceptable en un cultivo anual, de estación corta pero no en un cultivo perenne. La producción de banano nos brinda algunos ejemplos. Las variantes somaclonales del 'Giant Cavendish' que se han desarrollado en Taiwán son parcialmente resistentes a la raza 4 del marchitamiento por fusarium, causado *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (Hwang y Ko, 2004).



Las pérdidas anuales del 15%⁻¹ que se presentan con las mejores selecciones son aceptables cuando este cultivo se siembra anualmente, como es el caso de Taiwán, pero no cuando se produce en soca en ciclos de cultivo perenne (Ploetz, 2004). En una producción típica perenne con estos clones, las pérdidas después de cinco años podrían llegar al 56%.

Pérdidas similares o mayores se han presentado cuando se ha tratado de aplicar en el banano el control biológico para el marchitamiento por fusarium (Ploetz, 2004). En la última década se han realizado investigaciones sobre el control biológico de este importante problema; no obstante, el 18% de pérdida anual que se obtuvo en los estudios en el terreno es la mejor cifra presentada en las revistas científicas (Saravanan *et al.*, 2003). En relación con los somaclones del 'Giant Cavendish', podrían desarrollarse pérdidas importantes si estas medidas se utilizan para plantaciones perennes (en este ejemplo, el 63% después de cinco años).

Es claro que se precisan criterios de largo plazo cuando se juzga la eficacia de las estrategias de manejo de las enfermedades en hospederos perennes; aquellos que son efectivos en las situaciones anuales, o de corto plazo, podrían no ser aceptables durante varias estaciones.

Los trópicos y los cultivos tropicales

Los "trópicos" tienen diferentes significados para las diferentes personas. Generalmente se definen como regiones comprendidas entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, respectivamente, latitudes 23°27' norte y sur (Thurston, 1998).

Además, se utilizan diferentes definiciones respecto a las plantas tropicales. Wellman (1962) sugirió que los sitios donde crecen las plantas sensibles al frío podrían utilizarse para definir los trópicos; sin embargo, ese autor utilizó a la palma como un ejemplo entre ese tipo de plantas; ignoró que entre las palmas existen especies que toleran temperaturas de congelamiento (Franko, 2003).

"Los cultivos tropicales" varían en su respuesta tanto a la altura como a la latitud y no existe un solo conjunto de condiciones bajo las cuales todos los cultivos prosperen (Thurston, 1998; Wellman, 1962). Para algunos como el cacao, una sensibilidad a las bajas

temperaturas limita su producción a las zonas bajas, cercanas al Ecuador. Otros, como algunas especies de *Annona* y el maracuyá, *Passiflora* spp., deben cultivarse a alturas mayores en los trópicos porque no toleran altas temperaturas en la noche (Nakasone y Paull, 1998). Varios cultivos templados crecen en los trópicos, en zonas elevadas (por ejemplo, las manzanas y las peras), mientras que otros de origen templado se producen a bajas elevaciones; especialmente, cabe mencionar algunas crucíferas y leguminosas (Purseglove, 1972).

Generalmente los problemas de enfermedades en los cultivos perennes son más graves en los trópicos húmedos. Se considera que las pérdidas son 50% mayores en las regiones tropicales que en las templadas y representan entre 15 y 30% de toda la producción (Hill y Waller, 1983). Las razones que se citan con mayor frecuencia para explicar estas diferencias son la presencia de condiciones que conducen a mayores enfermedades en los trópicos y la existencia de menores insumos para el manejo de las enfermedades en la mayoría de los cultivos tropicales, aunque este último aspecto no aplica para la generalidad de los cultivos de plantaciones, como es el caso del banano.

Patosistemas co-evolucionados

Los hospederos y patógenos con nichos e historias geográficas comunes presentan una co-evolución. En estas situaciones, los patógenos se adaptan a la resistencia del hospedero y el hospedero se adapta a la virulencia que se desarrolla en el patógeno. En este proceso co-adaptativo, con el transcurso del tiempo se desarrolla un equilibrio entre el hospedero y el patógeno. En esta adaptación está implícita la susceptibilidad de muchos genotipos hospederos, por lo menos a algunos patotipos del patógeno.

Para muchos cultivos la producción más significativa se presenta por fuera de su área de distribución. En general, se considera que las mejores condiciones físicas de las plantas que se observan en las áreas no endémicas son resultado de una menor presencia de patógenos co-evolucionados; esta idea se conoce como la "hipótesis de liberación del enemigo." En un análisis detallado de la hipótesis, Mitchell y Power (2003) reportaron que se encontró un promedio de 24% menos virus y 84% menos hongos de roya,

carbón y piojo harinoso en 473 especies de plantas naturalizadas (no endémicas) en Estados Unidos, en comparación con su hábitat nativo en Europa. Las especies de malezas invasivas (aquellas que eran más sanas) se encontraban más libres de sus patógenos co-evolucionados (presentaban menos) que las no endémicas que no eran malezas.

Existen muchos ejemplos de cultivos tropicales que son más productivos en los hábitats no nativos (Purseglove, 1972; Simmonds, 1976). Para algunos de estos cultivos, la ausencia de un solo patógeno co-evolucionado es una razón central de esta productividad. La producción continua de estos cultivos en nuevas áreas depende de la exclusión continua de los patógenos centrales co-evolucionados (más peligrosos) y el resultado puede ser catastrófico, si no se alcanza el objetivo. Un buen ejemplo de esta regla general fue la grave destrucción que causó la raza 1 de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* en las primeras exportaciones de banano 'Gros Michel' (Ploetz, 2006).

Entre los cultivos perennes tropicales que se han librado de importantes patógenos co-evolucionados en áreas de producción no endémicas se encuentran los siguientes:

- 1) el caucho, cuya producción predomina en el sudeste asiático en ausencia del añublo foliar suramericano, causado por *Microcyclus ulei* (Evans, 2002);
- 2) la piña que predomina donde no se encuentra la enfermedad de fusariosis co-evolucionada, causada por un patotipo de *Fusarium guttiforme* (Ploetz, 2006);
- 3) el café, *Coffea arabica* y *C. robusta*, poco del cual se produce en África donde se encuentra la enfermedad del marchitamiento del café (aka tracheomyces), causada por *Gibberella xylarioides* (anamorfo: *Fusarium xylarioides*) (Rutherford, 2006); y
- 4) el cacao, 85% que se produce donde no se presenta el patógeno co-evolucionado de la escoba de bruja, *Moniliophthora* (syn. *Crinipellis*) *perniciosa*, (Ploetz, 2007).

Las principales pérdidas de estos cultivos se presentan con la introducción de los patógenos centrales co-evolucionados a las nuevas áreas de producción.

Cabe anotar como un aspecto de importancia que más del 90% de toda la producción de palma de aceite se presenta fuera de África occidental (FAO). Hasta hace poco, el marchitamiento por fusarium, causado por *F. oxysporum* f. sp. *elaeidis*, se encontraba solamente en África occidental, con su hospedero co-evolucionado, *Elaeis guineensis* (Flood, 2006). Su detección en los años ochenta en Brasil y Ecuador debería haber sido un factor de alerta para los productores de la zona de producción diferente a África. La producción en las Américas está en peligro si el patógeno continúa desplazándose en esta zona y también se encuentra amenazada la producción en los principales centros de cultivo de palma de aceite del sudeste asiático.

Aunque las enfermedades co-evolucionadas pueden ser destructivas, generalmente los progenitores resistentes se encuentran disponibles en los programas de mejoramiento genético. Es frecuente encontrar progenitores útiles en los centros de origen co-evolucionados (Leppik, 1970). Por ejemplo, los híbridos de la palma de aceite resistentes al marchitamiento por fusarium se han producido en Costa de Marfil con progenitores africanos; estos híbridos presentan una reducción en las pérdidas del 20 al 30% y hasta menos del 3% en algunas áreas. Los híbridos resistentes al marchitamiento por fusarium cada vez serán más útiles, a medida que esta destructiva enfermedad se desplaza a otras áreas.

Patosistemas del "nuevo encuentro"

Las enfermedades del "nuevo encuentro" se desarrollan cuando un cultivo tiene que hacer frente a un patógeno, con el que no tiene una historia evolutiva fuera de su área nativa. Aunque generalmente se presentan "nuevos encuentros" a grandes distancias (diseminación transcontinental del hospedero), este no siempre es el caso y hay ciertas ocasiones en que los patógenos de "nuevos encuentros" han evolucionado en una zona relativamente cercana al hospedero del "nuevo encuentro". Por ejemplo, *Colletotrichum coffeanum*, que causa la enfermedad de la cereza del café, puede haberse originado en *Coffea eugenoides* en Kenia, a una corta distancia de Etiopía, el centro de origen de *Coffea arabica* (van der Graaff, 1992). Y en el caso de *Moniliophthora rorei*, que causa la pudrición de la mazorca del cacao,



Theobroma cacao, probablemente evolucionó de *Theobroma gileri* en el costado occidental de los Andes, que se encuentra al oeste del centro de origen del cacao (Evans, 2007).

Cuando se conoce el hospedero original para un patógeno “nuevo encuentro”, generalmente presenta una estrecha relación con el hospedero “nuevo encuentro”. En los ejemplos anteriores de la cereza del café y la mazorca del cacao, se podrían agregar: el patógeno Moko del banano, raza 2, biovar 1 de *Ralstonia solanacearum*, que evolucionó en los parientes de los bananos en las Américas, *Heliconia* spp.; el marchitamiento bacteriano producido por el patógeno del banano, *Xanthomonas musarum*, que evolucionó de otro pariente en África, *Ensete ventricosum*; y el patógeno de la pudrición basal de la palma de aceite, *Ganoderma boninense*, que se originó en la palma de coco en Asia.

Las enfermedades “nuevo encuentro” pueden ser tan devastadoras como las enfermedades co-evolucionadas, pero pueden ser más difíciles de controlar. En general, la resistencia puede estar ausente o baja respecto a algunos de los más importantes problemas del “nuevo encuentro”. Ejemplos de problemas graves del “nuevo encuentro” para los que se conoce poca resistencia tradicional, incluyen: la enfermedad Moko y el marchitamiento bacteriano del banano y la pudrición radicular phytophthora del aguacate, causada por *P. cinnamomi* (Ploetz, 2003). A continuación se examinan dos graves enfermedades “nuevo encuentro” de la palma de aceite.

1) La pudrición basal del tallo, causada por *Ganoderma boninense*, es la amenaza más seria para la producción de la palma de aceite en Indonesia y Malasia (Durand-Gasselin *et al.* 2005; Pilotti, 2005). *Ganoderma boninense* también ocasiona una pudrición de la plántula y del tallo superior en la palma de aceite y presenta un rango hospedero que está restringido a las palmas. Se piensa que ha evolucionado en la palma de coco y colonizó los residuos/tocones del coco, que son una fuente importante de inóculo en las plantaciones de palma de aceite.

Al final de un ciclo de siembra, *G. boninense* puede matar entre 30 y 70% de las palmas en una plantación (Pilotti, 2005). Aunque las medidas sanita-

rias en una plantación y otras medidas culturales pueden tener algo de éxito, aún no existen medidas altamente efectivas y económicas para el control de la enfermedad. Existen varias razones de estas deficiencias. Como la epidemiología de la enfermedad no se comprende totalmente, no ha sido posible establecer estrategias que puedan abordar los puntos débiles en el ciclo de la enfermedad. Además, ha sido difícil establecer estrategias de control porque no se ha desarrollado un método para inducir artificialmente la enfermedad.

Los resultados de Sumatra sugieren que existe resistencia entre algunas cruces de *E. guineensis* x *E. oleifera* al igual que entre cruces de algunas accesiones africanas y Deli (esta última es susceptible) (Durand-Gasselin *et al.*, 2005). Infortunadamente, incluso los mejores híbridos aún presentan pérdidas significativas. Las metas establecidas para los híbridos futuros son aquellas que indican una pérdida máxima de 15 – 20% para finales de un ciclo.

2) En contraposición, es desconocida la pudrición basal del tallo, que causa una enfermedad “nuevo encuentro” en Latinoamérica, la pudrición del cogollo (de Franqueville, 2003). La enfermedad se conoce como “amarelecimiento fatal” en Brasil, pudrición del cogollo en Colombia, Ecuador y Panamá y pudrición de la flecha en Surinam. Formas letales de la enfermedad se conocen en la zona amazónica brasileña y ecuatoriana y en partes de Colombia y Surinam, mientras que una forma no fatal, en que se recuperan los árboles, se encuentra en los Llanos de Colombia. No es claro si las formas letales y no letales de la enfermedad o las enfermedades de pudrición del cogollo que se encuentran en diferentes áreas son la misma enfermedad.

Se han ensayado varios factores, sin éxito, para determinar si la enfermedad tiene una causa biótica o una asociación, que incluye: vectores como insectos y nematodos; virus, viroides y fitoplasmas; y *Thielaviopsis paradoxa*, y diferentes especies de *Fusarium*, *Phytophthora* y *Erwinia* (de Franqueville, 2003). El trabajo epidemiológico sobre la diseminación y desarrollo de la enfermedad sugiere que las entidades biológicas no están

comprometidas, pero no se ha reportado evidencia sobre un factor(es) abiótico específico.

La pudrición del cogollo es un problema importante de manejo. Hasta la fecha, no han tenido efectos significativos los diversos ensayos de fertilidad, las prácticas culturales y la eliminación de las plantas afectadas (medidas sanitarias) en el avance de la enfermedad, y la ausencia de un método para inducir la enfermedad ha dificultado el desarrollo de estrategias de manejo (de Franqueville, 2003). No obstante, se ha evidenciado resistencia en *E. oleifera* y sus híbridos interespecíficos con *E. guineensis* (la reacción de *E. oleifera* sugiere una relación co-evolucionada con la enfermedad). Aunque los problemas de una menor producción de aceite y de polinización en los monocultivos de estos materiales (los híbridos son altamente femeninos), hacen de su uso una solución menos que satisfactoria, actualmente es la principal medida para el manejo de esta enfermedad.

MANEJO DE LAS ENFERMEDADES EN LOS CULTIVOS TROPICALES PERENNES

Los administradores de los cultivos perennes en los trópicos tienen que hacer frente a diversas enfermedades. La importancia y magnitud en que se usan las diferentes medidas para manejar una enfermedad dada dependen del impacto de la enfermedad; las enfermedades que matan las plantas deben tomarse más en serio que aquellas que no lo hacen.

En general, el manejo efectivo de una enfermedad depende de un retraso o reducción de la enfermedad inicial (x_0) o una reducción en la tasa de desarrollo de la enfermedad a través del tiempo (r) (van der Plank, 1963; Zadoks y Schein, 1979). A continuación se presentan unos principios epidemiológicos y su relación con las tácticas mencionadas al comienzo del documento: el escape, exclusión y erradicación de los agentes causales y la protección o desarrollo de la resistencia en la planta hospedera.

El escape

Varios enfoques se encuentran disponibles para evitar la enfermedad en los cultivos perennes tropicales. La selección del sitio de siembra debe tomar en cuenta las condiciones que favorecen la aparición de

enfermedades importantes o la predisposición de los hospederos al desarrollo de la enfermedad. El uso de material vegetal libre de enfermedades es de gran importancia cuando se inicia la producción, especialmente en nuevas áreas donde anteriormente no se han producido los hospederos.

La selección del sitio de siembra es un primer paso importante en el establecimiento de un área de producción (Palti, 1981; Zadoks y Schein, 1979). En relación con la enfermedad, debe evitarse la selección de áreas favorables para su desarrollo. Por ejemplo, la mancha del pantano del banano, ocasionada por *Deightoniella torulosa*, se exacerba en situaciones de tierras bajas con mal drenaje, al igual que otras varias pudriciones radiculares causadas por eustramonopilos, por ejemplo, *Phytophthora* y *Pythium* spp. Al evitar los sitios que permanecen húmedos, es posible reducir x_0 estas enfermedades, pero especialmente r .

Así mismo, no deberán utilizarse las áreas de producción donde los hospederos pueden estar predispuestos al desarrollo de enfermedades. Los factores que predisponen producen diversas enfermedades y generalmente son físicos pero tienen un impacto indirecto (Schoeneweiss, 1975). Cabe mencionar las condiciones extremas de agua y temperatura como factores de riesgo, aunque aun las temperaturas óptimas para el hospedero pueden llevar a una mayor enfermedad, si ésta favorece el patógeno (Palti, 1981). Por ejemplo, la pudrición radicular phytophthora del aguacate es más severa entre temperaturas de 15 y 27°C, que también son óptimas para el hospedero. El daño físico al hospedero también puede predisponer al desarrollo de la enfermedad y éste puede ser abiótico, como es el caso del daño por viento y el desarrollo de la mancha bacteriana negra del mango, causada por *Xanthomonas* sp. pv. *mangiferaeindicae*, o biótico, al igual que el incremento en el desarrollo del chancro de los cítricos, causado por *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*, en las hojas dañadas por el enrollador foliar de los cítricos (Ploetz, 2003). Siempre es útil poder mejorar o controlar los factores extremos que pueden predisponer a la enfermedad.

Nunca se debe subestimar la importancia de utilizar material vegetal libre de enfermedades. En una situación ideal, cuando $x_0 = 0$, se excluye al patógeno de un área de producción (ver Exclusión). Esto es de



gran importancia para las enfermedades sistémicas de los cultivos que se propagan por los materiales vegetativos y para las enfermedades que se transmiten a través de semilla verdadera. Los propágulos vegetativos pueden albergar bacterias, hongos, nematodos, virus y viroides y con estos se desplazan y establecen muchos patógenos de importancia económica. La semilla verdadera es menos apta para portar patógenos; sin embargo, es un riesgo en algunas enfermedades. La clave con los materiales tanto vegetativos como la semilla verdadera es saber cuáles son las enfermedades que pueden transmitirse de esta forma en un cultivo dado.

Mientras sea posible, deberán utilizarse las plántulas de cultivo de tejidos, ya que se encuentran libres de patógenos como hongos, bacterias y nemátodos ($x_0 = 0$). Así mismo, están libres de patógenos de virus y viroides cuando se producen de plantas madre seleccionadas (ver Exclusión). Solamente en situaciones excepcionales, las plántulas de cultivo de tejidos no son seguras (los badnavirus, como *el virus de la raya del banano*, causan problemas extraordinarios; ver Lockhart, 2001).

Muchas enfermedades de los cultivos arbóreos perennes tienen su origen en los viveros de propagación. Las enfermedades transmitidas por el suelo y cuyos síntomas podrían no ser aparentes en forma inmediata, podrían ser un problema. La pudrición radicular phytophthora del aguacate es un buen ejemplo. *P. cinnamomi* se originó en Papua Nueva Guinea, pero se ha extendido en todo el mundo y ha contaminado el material vegetal (Zentmyer, 1980). Generalmente se presenta en nuevos huertos de aguacates, y se relaciona con la siembra de árboles infectados del vivero.

Exclusión

Existen tácticas diversas para la exclusión de los patógenos de las plantas (IPGRI). Aunque es simple la idea según la cual “no hay enfermedad sin patógeno”, la exclusión de los patógenos de las áreas de producción ($x_0 = 0$) puede ser un objetivo difícil. La semilla y el material vegetal pueden tratarse para matar a los patógenos. Es posible inspeccionar y certificar que las plantas están libres de enfermedades, o pueden ponerse en cuarentena hasta que se verifique su situación libre de enfermedad/patógeno. La

eliminación de los vectores del patógeno también puede utilizarse para excluir los patógenos de interés.

El tratamiento con calor (termoterapia) de los materiales de propagación vegetativa, es un método útil contra los patógenos de las bacterias, hongos, nematodos y virus. No obstante, debe haber una diferencia significativa entre las temperaturas en las que muere el patógeno y las que afectan en forma adversa el hospedero. Esta puede ser una diferencia menor, y es posible que las plantas sensibles al calor sufran daños, si no se dispone de un estricto control de la temperatura. Solamente unas pocas enfermedades se prestan para este enfoque; la mayoría de los ejemplos exitosos que se encuentran disponibles se refieren a los cultivos anuales y/o templados (Palti, 1981). No obstante, el tratamiento térmico es efectivo para algunos cultivos perennes tropicales. Por ejemplo, el tratamiento térmico puede eliminar el patógeno del enanismo de la zoca, *Clavibacter xyli* subsp. *xyli*, de las estacas de la caña de azúcar (Gillaspie y Davis, 1992), y las plagas de nematodos de los retoños del banano (Ploetz, 2003).

Algunos patógenos pueden eliminarse de la semilla verdadera, especialmente si la contaminación se limita al hilio o al exterior de la semilla. Aunque el tratamiento térmico se usa con este fin (Klotz *et al.*, 1960), es frecuente la desinfección de la superficie con cloro o diferentes fungicidas. Para el caso de las enfermedades transmitidas por la semilla, como el marchitamiento por fusarium de la palma de aceite, es preciso tomar precauciones adicionales para garantizar la muerte o intercepción de todo el inóculo transmitido por la semilla. Este ha sido un tema de preocupación cuando se disemina la semilla que proviene de África (Flood, 2006). En estos casos, la semilla se infiltra al vacío con fungicidas, y las plántulas resultantes se colocan en cuarentena intermedia (RU) y en cuarentena posterior a la entrada (Malasia) antes de su liberación a los programas de mejoramiento.

Erradicación

Las plantaciones que están infestadas con patógenos deben manejarse con un conjunto diferente de estrategias. Los hospederos alternos (es decir, los hospederos heterocios de la roya) y los alternativos (todos los otros de los que se sospecha) se retiran de la plantación y se destruyen cuando son depósitos signi-

ficativos de inóculo. Así mismo, se retiran las partes infestadas de las plantas (medidas sanitarias) cuando amenazan la salud del cultivo en pie. El tratamiento del suelo con fumigantes, el remojo con químicos, la inundación, solarización y vapor, se utilizan para las enfermedades transmitidas por el suelo. Aunque la meta de estas tácticas es la erradicación del patógeno ($x_0 = 0$), con frecuencia estas medidas limitan la tasa de desarrollo de la enfermedad, r .

La entresaca de las plantas infectadas es una estrategia clave para el manejo de algunas enfermedades. Por ejemplo, el cogollo racimoso (bunchy top) del plátano, causado por el virus del "bunchy top" del banano, puede manejarse con éxito solo si se retira con frecuencia y se destruye la maraña infectada de las plantaciones. La presión de la enfermedad también disminuye al retirar los hospederos alternos y alternativos. Esto se logra con frecuencia cuando está comprometido un número limitado de especies hospederas alternativas, aunque también es posible manejar los patógenos con una amplia gama de rangos hospederos. El mosaico infeccioso del banano es causado por un patógeno, el virus del mosaico del pepino, que tiene un rango hospedero de más de 800 especies. La extracción de las plantaciones de los hospederos alternativos de este virus, muchos de los cuales son malezas comunes, reduce el potencial para el desarrollo de la enfermedad. Sin considerar que la planta del cultivo o los hospederos alternos/alternativos sean un problema, estas medidas solamente dan resultado si las plantas son lo suficientemente pequeñas como para que se puedan arrancar y sacar del campo.

De igual manera, el impacto de las medidas sanitarias depende de la facilidad de extracción de las plantaciones de las partes de las plantas afectadas. Los patógenos radicales que presentan amplios rangos de hospederos y que son componentes de los ecosistemas naturales, pueden ser muy difíciles de manejar con este enfoque. *Armillaria* spp., *Ganoderma* spp., *Phellinus noxious* y *Rigidoporus lignosus* son algunos de los ejemplos más sobresalientes, porque son buenas saprófitas y colonizan las raíces y los tocones muertos en los sitios intervenidos (Nandris *et al.*, 1987; Ploetz, 2003). Generalmente es difícil retirar por completo estas partes de las plantas hospedero cuando se prepara un sitio para la siembra, y también puede ser difícil el manejo de las enfermedades que causan.

Mayores éxitos se alcanzan cuando las partes afectadas del hospedero se retiran con facilidad de la plantación. Por ejemplo, las enfermedades de la mazorca negra, la mazorca escarchada y la escoba de bruja del cacao pueden manejarse en forma efectiva y económica mediante la remoción frecuente de las mazorcas afectadas (Soberanis *et al.*, 1999).

Una vez que se retiren los materiales afectados de la plantación, también es importante destruir el material retirado mediante la quema o el entierro. "Las pilas de descarte" del material hospedero descartado son fuentes importantes de inóculo para muchas enfermedades.

Protección

Los químicos que protegen al hospedero de la infección (especialmente los fungicidas) se encuentran entre los productos agrícolas más comunes. Además, también se controlan los vectores para proteger al hospedero, aunque generalmente esto es menos efectivo. Las modificaciones ambientales pueden proteger al hospedero en algunas situaciones y el uso de patógenos hipovirulentos ha sido tema de estudio. La exclusión física es útil en algunas situaciones. Por último, se trata de medidas limitantes para todas las tasas de ataque.

Los fungicidas protectores son las herramientas más comunes para el manejo de las enfermedades en la agricultura. Se utilizan en todas las etapas de la producción y son claves para el manejo de las enfermedades foliares y de los frutos; sin éstas, no se podrían producir muchos productos básicos de alto valor. Aquellos que son altamente susceptibles a las enfermedades dañinas se encuentran entre los ejemplos más prevalentes; por ejemplo, la producción de mango depende de una protección efectiva con fungicidas para combatir la antracnosis (Ploetz, 2003).

Además, son útiles las modificaciones ambientales. La densidad de cubierta/dosel vegetal (es decir, sombra) tiene un efecto pronunciado en varias enfermedades, aunque varía dependiendo de la enfermedad (Palti, 1981). La sombra reduce la severidad de la piricularia en las plántulas de palma de aceite y las enfermedades de sigatoca negra y marchitamiento por fusarium del banano, pero promueve el desarrollo de las enfermedades que requie-



ren alta humedad, como las enfermedades de la mazorca del cacao y de la cereza del café. En este último caso, si se orientan los surcos para que los vientos que prevalecen y el sol de la mañana tengan una mayor oportunidad de secar el dosel, esta medida puede ser útil (Ploetz *et al.*, 2000).

Se utilizan varias modificaciones edáficas. Un mejor drenaje y el uso de montículos o lechos pueden reducir significativamente las enfermedades radiculares inducidas por estrictaminopolo. El pH del suelo tiene un impacto en muchas enfermedades transmitidas por el suelo. Generalmente las reacciones ácidas favorecen el marchitamiento por fusarium y aquellos causados por *Rosellinia* spp., mientras que las condiciones básicas favorecen las enfermedades causadas por *Phymatotrichum omnivorum*. Aunque puede ser posible cambiar el pH del suelo con enmiendas (por ejemplo, cal para aumentar el pH de los suelos ácidos o azufre para aumentar la acidez de aquellos que son básicos), esto no es posible de hacer con todos los suelos. Por ejemplo, es virtualmente imposible reducir el pH de los suelos calcáreos debido a su capacidad de amortiguación.

La nutrición del hospedero y las prácticas de fertilización pueden tener un gran impacto en el desarrollo de las enfermedades (Datnoff *et al.*, 2007; Palti, 1981). La cantidad de algunos elementos, al igual que su forma, puede ser un factor importante. Por ejemplo, el nitrógeno amoniacal aumenta la severidad del marchitamiento por fusarium del tomate y la pudrición radicular del tomate y la pudrición radicular por phytophthora de los cítricos, mientras que el nitrógeno de nitrato redujo la severidad de estas enfermedades (Jones y Woltz, 1981; Menge y Nemeč, 1997).

La exclusión física se indica en algunas situaciones. La producción en el invernadero de bananos en Marruecos crea un entorno cálido necesario, pero también protege a la planta de patógenos importantes que afectan las hojas y frutos. Además, en todo el mundo se utilizan bolsas para cubrir los racimos de banano en las plantaciones para brindar una protección ambiental (mayores temperaturas) y física contra los insectos y el daño mecánico, pero también son de ayuda en el control poscosecha de enfermedades, al proteger al fruto del inóculo en el terreno.

Resistencia

La resistencia puede ser una herramienta excelente en el arsenal para el manejo de las enfermedades. Se trata de un atributo limitado por la tasa (r reducido). La resistencia genética que se obtiene a través del mejoramiento tradicional, ya sea vertical u horizontal (van der Plank, 1963). La transformación genética para la resistencia a las enfermedades (la creación de organismos genéticamente modificados, OGM) es un avance relativamente nuevo que puede ser muy efectivo; no obstante, la no aceptación de los OGM en la una porción muy significativa del mercado ha limitado su uso. La resistencia a través de la quimioterapia depende de mejorar la defensa natural del hospedero contra las enfermedades; y aunque existen muchos nuevos productos con este propósito, con frecuencia los resultados son desalentadores.

La resistencia genética que se obtiene a través del mejoramiento tradicional ha sido responsable de avances importantes en la agricultura de producción durante el último siglo (Simmonds y Smartt, 1999). En general, la mayoría de los ejemplos recae en dos categorías: resistencia vertical, que es controlada por uno o unos pocos genes y que también se conoce como resistencia mayor o resistencia específica, y resistencia horizontal, que está controlada por varios genes y que también se conoce como resistencia general.

Se ha escrito mucho sobre los peligros de la resistencia vertical. Aunque se puede alcanzar altos niveles de resistencia, casi siempre es específica al patotipo; es decir, que es efectiva solamente contra una porción de la población de patógenos. Su uso en los cultivos perennes es peligroso ya que puede fácilmente romperse por la evolución o selección de patotipos virulentos. Este fenómeno inicial de control excelente de la enfermedad, que posteriormente presenta erosión, se ha llamado el ciclo de "auge y fracaso", y es más común con las enfermedades foliares que tienen el potencial de presentar un rápido desarrollo epidémico. El café y el caucho son dos cultivos tropicales perennes en los que la resistencia vertical no es duradera (Rodríguez *et al.*, 1976; Simmonds y Smartt, 1999).

Aunque generalmente la resistencia vertical no es duradera, ésta ha sido útil en algunas situaciones.

Para los cultivos anuales valiosos, en los cuales una buena producción puede ser muy rentable (la parte del “auge” del ciclo), la resistencia a largo plazo no es una necesidad. Una producción aceptable puede ser completamente posible durante el tiempo que se requiere para el desarrollo de nuevo germoplasma con resistencia vertical, para combatir los nuevos patotipos. Además, para algunas enfermedades transmitidas por el suelo que no progresan tan rápidamente como las enfermedades foliares (es decir, bajo *r*), puede ser posible la producción de genotipos con resistencia vertical a la enfermedad muchos años antes de que requieran su reemplazo. Por ejemplo, durante varias décadas se han producido los bananos ‘Gros Michel’ antes de que la raza 1 del marchitamiento por fusario hiciera necesario su reemplazo en las Américas.

Cuando se considera la resistencia horizontal debe tenerse en cuenta el impacto de la enfermedad. La resistencia horizontal en los cultivos perennes podría ser valiosa en contra de las enfermedades no letales, pero inútil en aquellas que lo son. Los ejemplos de cultivos tropicales con resistencia horizontal incluyen algunos donde la producción perenne no puede mantenerse (los somaclones de banano de ‘Giant Cavendish’ en áreas tropicales raza 4), y otros en los que sí se puede mantener (diferentes híbridos de palma de aceite protegidos contra la pudrición basal, la pudrición del cogollo y el marchitamiento por fusarium).

La transformación genética para la resistencia a las enfermedades (la creación de OMG) es un método relativamente nuevo pero poderoso para el mejoramiento de cultivos. La habilidad de integrar genes de diferentes plantas y patógenos en nuevas conformaciones de hospederos ha permitido el desarrollo de resistencia radical a nuevas enfermedades. Las enfermedades inducidas se prestan para este enfoque con mayor frecuencia que las causadas por otros grupos de patógenos, y se cuenta con notables historias de éxito. Por ejemplo, la industria de la papaya en Hawái pudo salvarse a través de las selecciones con ingeniería genética para la resistencia al *virus de mancha en anillo de la papaya* (Ferreira *et al.*, 2002).

En general, los materiales tradicionales son más aceptados en el mercado que los OMG, especialmente en Europa. A medida que los consumidores aprenden más sobre los beneficios y seguridad de

los OMG, se presentará una mayor aceptación de estos productos.

Tratamiento de las plantas enfermas

Las plantas enfermas pueden tratarse efectivamente con varios químicos curativos (sistémicos) que están disponibles desde las últimas décadas. En algunas ocasiones se aconseja el descarte de las porciones afectadas del hospedero (es decir, la cirugía) para retirar fuentes significativas de inóculo y permitir la curación en algunos casos. Estas son medidas limitantes en relación con la tasa.

Desde el desarrollo del primer pesticida sistémico se ha creado un número importante de estos compuestos para el uso agrícola. Los bencimidazoles (1973), triasoles (1984), y estrobilurinas (1997) se encuentran entre los fungicidas sistémicos más comunes. Su actividad primaria es como protectores, pero una porción importante del compuesto aplicado llega a los órganos tratados. El impacto curativo “de reacción inmediata” de estos compuestos revolucionó el manejo de muchas enfermedades. Un atributo desafortunado de algunos de los fungicidas sistémicos más efectivos es la facilidad con que se pierde su eficacia. El manejo de la sigatoca negra en las Américas ofrece ejemplos de esta consideración y otras para los fungicidas sistémicos (Ploetz, 2000).

A 2 ó 3 años de la introducción de benomil para el control de la sigatoca negra, se empezó a observar resistencia en *M. fijiensis* en América Central, y a finales de los años 70 ya no se podía utilizar en forma efectiva en muchas áreas (Stover, 1990).

Brent y Hollomon (1998) debatieron la predisposición de las diferentes clases de fungicidas a perder su efectividad a través del tiempo. Se observó una amplia gama de riesgos de resistencia que pueden desarrollarse en las diferentes clases. Entre los sistémicos que se han utilizado contra la sigatoca negra, los bencimidazoles se clasificaron como de alto riesgo y las estrobilurinas como de riesgo moderado. Además, se clasificó el riesgo de que se desarrolle resistencia en varios patosistemas. En caso de *M. fijiensis*, el sistema del banano se clasificó como de alto riesgo, ya que el patógeno tenía un tiempo de generación corto, presentaba una abundante esporulación y tenía un ciclo sexual que permitía el desarrollo de nuevos



fenotipos de resistencias. Los grupos de trabajo del Comité de Acción de Resistencia a los Fungicidas (FRAC) de la Federación Mundial de Protección de Cultivos (un consorcio internacional de productores de agroquímicos) han establecido directrices de uso para prolongar la vida útil de los fungicidas vulnerables (Ploetz, 2000).

Metalaxilo y fosetyl-Al son dos sistémicos que son efectivos contra estramenopilos (Cohen y Coffey, 1986). Aunque metalaxilo es efectivo contra una amplia gama de especies, tiene una mayor tendencia a desarrollar resistencia y también puede degradarse rápidamente en el suelo. Fosetyl-Al y su metabolito activo, el ácido fosfórico, presentan movilidad tanto en el floema y como en el xilema. Esta movilidad permite la inyección en el tronco como un medio para translocar altas concentraciones de ácido fosfórico a las porciones aéreas y subterráneas de la planta; la pudrición radicular phytophthora del aguacate y enfermedades inducidas por *P. palmivora* en diferentes perennes tropicales se manejan efectivamente a través de inyección en el tronco (Drenth y Guest, 2004).

CONCLUSIONES

El criterio de largo plazo debe utilizarse para juzgar la eficacia de las estrategias en el manejo de las enfermedades en los hospederos perennes. Debido

a la naturaleza policíclica de estas enfermedades y al aumento correspondiente en la enfermedad a través del tiempo, estas estrategias deben ser efectivas y duraderas.

Sería apropiado el manejo integrado de enfermedades que comprenden un enfoque holístico sobre la salud del cultivo. El enfoque integrado para el manejo de pudrición radicular del aguacate por phytophthora, que revisó Coffey (1987), es un excelente ejemplo de cómo puede utilizarse el uso concertado de la higiene y medidas sanitarias, controles culturales y biológicos, patrones resistentes y pesticidas para el manejo de las enfermedades perennes, inclusive las más difíciles.

El manejo de las enfermedades de las plantas tropicales perennes es uno de los principales retos de la agricultura. El manejo exitoso depende de un conjunto lógico de principios y prácticas (Palti, 1981; van der Plank, 1963; Zadoks y Schein, 1979). El escape, exclusión y erradicación de patógenos en las áreas de producción y propagación son la base de la mayoría de los planes de manejo. Las plantas están protegidas de los patógenos y del desarrollo de enfermedades principalmente por la aplicación de medidas químicas, especialmente cuando se producen cultivos de alta calidad, bajo alta presión de enfermedades. Y cuando sea posible se utilizará la resistencia al hospederero que se desarrolla a través de varios medios genéticos o químicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Anonymous. 1979. *Webster's New Twentieth Century Dictionary*. 2nd Edition. Simon & Schuster. New York.
- Brent, KJ; Hollomon, D.W. 1998. *Fungicide Resistance: The Assessment of Risk*. FRAC Monograph No. 2. Global Crop Protection Federation. Brussels
- Burdon, JJ. 1993. The Structure of Pathogen Populations in Natural Plant Communities. *Annual Review of Phytopathology* 31:305-323.
- Coffey, MD. 1987. Phytophthora root rot of avocado. An integrated approach to control in California. *Plant Disease* 71:1046-1052.
- Cohen, Y; Coffey, MD. 1986. Systemic Fungicides and the Control of Oomycetes. *Annual Review of Phytopathology* 24:311-338.
- Datnoff, LD; Elmer, W; Huber, D. (eds.) 2007. *Management of Plant Disease with Mineral Nutrition*. APS Press.
- De Franqueville, H. 2003. Oil palm bud rot in Latin America. *Experimental Agriculture* 39:225-240.
- Drenth, A; Guest, DI. (eds.) 2004. Diversity and management of *Phytophthora* in Southeast Asia. *ACIAR Monograph* No. 114, 238p.
- Durand-Gasselin, T; Asmady, H ; Flori, A. *et al.* 2005. Possible sources of resistance in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) to basal stem rot caused by *Ganoderma boninense* - prospects for future breeding. *Mycopathologia* 159:93-100.
- Evans HC. 2002. Invasive Neotropical Pathogens of Tree Crops. pp. 83 - 112 In: Watling, R., Frankland, J., Ainsworth, M., Isaac, S., and Robinson, C. (eds.) *Tropical Mycology: Volume 2, Micromycetes*. CABI publishing, Wallingford, Oxon, UK.
- Evans, H.C. 2007. Cacao Diseases - the Trilogy Revisited. *Phytopathology* 97: (In press).
- Ferreira, SA; Pitz, KY; Manshardt, R. *et al* 2002. Virus coat protein transgenic papaya provides practical control of *Papaya ringspot virus* in Hawaii. *Plant Disease* 86:101-105.



- Franko, DA. 2003. *Palms Won't Grow Here and Other Myths: Warm-Climate Plants for Cooler Areas*. Timber Press.
- Flood, J. 2006. A review of Fusarium wilt of oil palm caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*. *Phytopathology* 96:660-662.
- Gillaspie, AG, Jr; Davis, MJ. 1992. Ratoon stunting of sugarcane. Pp. 41-61 In: Mukhopadhyay, A.N., Kumar, J., Chaube, H.S., and Singh, U.S. (eds.) *Plant Diseases of International Importance*. Vol. IV. Diseases of Sugar, Forest, and Plantation Crops. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ USA.
- Herbert, JA; Marx, D. 1990. Short-term control of Panama disease of bananas in South Africa. *Phytophylactica* 22:339-340.
- Hill, DS; Waller, JM. 1982. *Pests and Diseases of Tropical Crops*. Longman.
- Hwang, SC; Ko, WH. 2004. Cavendish banana cultivars resistant to Fusarium wilt acquired through somaclonal variation in Taiwan. *Plant Disease* 88:580-588.
- IPGRI. *Guidelines for the safe movement of plant germplasm*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.
- Jones, JP; Woltz, SS. 1981. *Fusarium*-incited diseases of tomato and potato and their control. Pp. 157-168 In: Nelson, P.E., Tousson, T.A., and Cook, R.J. (eds.). *Fusarium: Diseases, Biology and Taxonomy*. Pennsylvania State University Press. University Park.
- Klotz, LJ; DeWolfe, TA; Roistacher, CN. *et al.* 1960. Heat treatments destroy fungi in infected seeds and seedlings of citrus. *Plant Disease Reporter* 44:858-861.
- Leppik, EE. 1970. Gene centers of plants as sources of disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 8:323-344.
- Lockhart, BE. 2001. Badnaviruses. pp. 99-101. In: Maloy, O.C., and Murray, T.D. *Encyclopedia of Plant Pathology*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Marois, JJ; Dunn, MT; Papavizas, GC. 1983. Reinvasion of fumigated soil by *Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*. *Phytopathology* 73:680-684.
- Menge, JA; Nemeč, S. 1997. Citrus. Pp. 185-227 In: *Soilborne Diseases of Tropical Crops*. CAB International. Wallingford, Oxon, UK.
- Mitchell, CE; Power, AG. 2003. Release of invasive plants from fungal and viral pathogens. *Nature* 421: 625-627.
- Nakasono, HY; Paull, RE. 1998. *Tropical Fruits*. CAB International. Wallingford, Oxon, UK.
- Nandris, D; Nicole, M; Geiger, JP. 1987. Root rot diseases of rubber trees. *Plant Disease* 71:298-306.
- Palti, J. 1981. *Cultural Practices and Infectious Crop Diseases*. Springer-Verlag.
- Pilotti, CA. 2005. Stem rots of oil palm caused by *Ganoderma boninense*: Pathogen biology and epidemiology. *Mycopathology* 159:129-137.
- Ploetz, RC. 2000. Management of the most important disease of banana and plantain, black Sigatoka. *Pesticide Outlook* 11:19-23.
- Ploetz, RC. (ed.). 2003. *Diseases of Tropical Fruit Crops*. CAB International.
- Ploetz, RC. 2004. Biological control of Fusarium wilt: A review and an evaluation. pg. 141, Abstract Booklet, International Congress on *Musa*: Harnessing Research to Improve Livelihoods. online at: http://www.inibap.org/pdf/penang2_en.pdf
- Ploetz, RC. 2006. *Fusarium*-induced diseases of tropical, perennial crops. *Phytopathology* 96: 648-652.
- Ploetz, RC. 2007. Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide. *Phytopathology* 97: (In press).
- Ploetz, RC; Benschler, D; Dorey, AJ; Vázquez, A. 2000. The epidemiology, control and cause of sooty blotch of carambola, *Averrhoa carambola* L., in South Florida. *Fruits* 55:241-252.
- Purseglove, JW. 1972. *Tropical Crops*. Dicots. Longman.
- Rodrigues, CJ. Jr; Bettencourt, AJ; Rijo, L. 1976. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. *Annual Review of Phytopathology* 13:49-70.
- Rutherford, MA. 2006. Current knowledge of coffee wilt disease, a major constraint to coffee production in Africa. *Phytopathology* 96:663-666.
- Saravanan, T, Muthusamy, M; Marimuthu, T. 2003. Development of integrated approach to manage the fusarial wilt of banana. *Crop Protection* 22:1117-1123.
- Schoeneweiss, DF. 1975. Predisposition, stress and plant disease. *Annual Review of Plant Pathology* 13:193-211.
- Simmonds, N.W. 1976. *Evolution of Crop Plants*. Longman. London and New York.
- Simmonds, NW.; Smartt, J. 1999. *Principles of Crop Improvement*. Blackwell Science.
- Soberanis, W; RROS, R; ArJvalo, E; *et al.* 1999. Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection* 18:677-685.
- Stover, RH. 1962. *Fusarial Wilt (Panama Disease) of Bananas and other Musa species*. CMI, Kew, Surrey, UK.
- Stover, RH. 1990. Sigatoka leaf spots: Thirty years of changing control strategies: 1959-1989. pp. 66-74. In: Fullerton, R.A., and Stover, R.H. (eds.) *Sigatoka Leaf Spot Diseases of Banana*. INIBAP. Montpellier, France.
- Thurston, HD. 1992. *Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems*. Westview Press.
- Thurston, HD. 1998. *Tropical Plant Diseases*. 2nd edition. APS Press St. Paul.
- Van der Graaff, NA. 1992. Coffee berry disease. Pp. 202-230 In: Mukhopadhyay, A.N., Kumar, J., Chaube, H.S., and Singh, U.S. (eds.) *Plant Diseases of International Importance*. Vol. IV. Diseases of Sugar, Forest, and Plantation Crops. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ USA.
- Van der Plank, JE. 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*. Academic Press. London.
- Wellman, FL. 1962. A few introductory features of tropical plant pathology. *Phytopathology* 52:928-930.
- Zadoks, JC; Schein, R.D. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press.
- Zentmyer, GA. 1980. *Phytophthora cinnamomi and the Diseases it Causes*. Monograph 10. American Phytopathological Society, St Paul.