

Manejo y ecología de las enfermedades de los cultivos

Recientemente, los patólogos de plantas han destacado el hecho de que las enfermedades epidémicas son más frecuentes en los cultivos que en la vegetación natural. Esta observación ha llevado a la conclusión de que las enfermedades epidémicas son en gran medida el resultado de la interferencia humana en el «balance de la naturaleza» (Thresh 1982). Las condiciones que permiten a un agente patógeno alcanzar niveles epidémicos, están particularmente favorecidas por la extensión de cultivos genética y horticulturalmente homogéneos, tendencia común en muchos sistemas de cultivo modernos (Zadoks y Schein 1979). Cultivos cercanos a grandes focos son particularmente vulnerables, y la invasión hacia lugares remotos se facilita por la presencia de áreas continuas de huéspedes susceptibles.

Epidemiología y manejo de las enfermedades

Las siguientes son, en resumen, las condiciones necesarias para el desarrollo a gran escala de una enfermedad nociva (Berger 1977):

1. La cepa virulenta de un agente patógeno (hongos, bacterias o virus) debe presentar una baja frecuencia en el huésped (cultivo).
2. El huésped (cultivo) que es susceptible a esta cepa se debe distribuir ampliamente en una región.
3. Las condiciones ambientales deben ser favorables para el desarrollo de los agentes patógenos.

Estos factores, en conjunto, forman el triángulo de la enfermedad; su incidencia e interacción producen la enfermedad de una planta. De hecho, la enfermedad no se generará a no ser que exista un agente patógeno activo, un huésped apropiado y condiciones ambientales adecuadas para la infección, colonización y reproducción de un agente patógeno. Entre los factores ambientales conducentes a una enfermedad se incluyen temperatura, luz, humedad relativa, etc., pero también el riego, el cual cambia el microclima y la fertilización química (especialmente N), que promueve el crecimiento frondoso de la vegetación y el aumento de la succulencia de las plantas huéspedes. Los factores ambientales también afectan la capacidad competitiva de un agente patógeno cuando éste se encuentra en el suelo (Manners 1993). El creciente conocimiento del triángulo de la enfermedad huésped/agente patógeno/medio ambiente ha permitido a los patólogos emplear ciertos principios ecológicos para reducir las pérdidas de una enfermedad epidémica. A pesar de que los cultivos difieren, sustancialmente en el tipo, la permanencia y la estabilidad del hábitat que ellos proporcionan a las enfermedades, se pueden reconocer diversas características que pueden afectar al esparcimiento de una enfermedad en el agroecosistema (Tabla 15.1).

La intensificación de la agricultura incluye varias prácticas que favorecen la enfermedad de las plantas:

1. Expansión de los campos
2. Agregación de campos
3. Aumento en la densidad de los cultivos huéspedes.
4. Disminución en la diversidad de especies y varietal de las poblaciones huéspedes.
5. Aumento de los patrones de corta rotación y o monocultivo.
6. Uso de fertilización, riego y otras modificaciones ambientales del cultivo.

Existe una relación directa entre la intensidad de un cultivo y el riesgo de una enfermedad. Está claro que los sistemas intensivos y semiintensivos de cereales y papas en Asia, Argentina o en Europa oriental tienen riesgos menores de enfermedad que los sistemas intensivos de los EE.UU. o Europa occidental (Zadoks y Schein 1974).

El propósito del control de la enfermedad es prevenir que el daño de ésta sobrepase aquel nivel donde las utilidades o el rendimiento requerido sea reducido significativamente. En general, se pueden aplicar tres estrategias epidemiológicas para disminuir al mínimo las pérdidas causadas por enfermedades:

1. Eliminar o reducir el inóculo inicial (X_0) o retardar su aparición a comienzos de la temporada.
2. Disminuir o bajar la tasa de desarrollo de la enfermedad (r) durante el período de crecimiento.
3. Acortar el tiempo de exposición de un cultivo al agente patógeno, utilizando variedades de corta duración o fertilización y prácticas de riego que eviten que el crecimiento de un cultivo sea lento. La Tabla 15.2 resume los métodos químicos, biológicos y culturales que se utilizan para influir en los tres procesos.

Control cultural de las enfermedades de las plantas

Las estrategias generales que se pueden utilizar para disminuir la incidencia de una enfermedad comprenden: evitar, excluir o erradicar los agentes patógenos, proteger al huésped, desarrollar la resistencia en los huéspedes y hacer un tratamiento previo a las plantas ya infestadas. Los métodos de control biológico y cultural que se utili-

TABLA 15.1 Algunas características del habitat del cultivo que influye en el esparcimiento de las enfermedades (según Thresh 1981).

	DISPERSION	
	Facilitado por	Impedido por
Susceptibilidad del huésped	alta	baja
Longevidad del huésped	prolongada	corta
Tamaño del huésped	grande	pequeño
Siembras vulnerables	muchas, contiguas	pocas, dispersas
Sistema de cultivos	monocultivo	policultivo
Espaciamiento de cultivos	cercanos	distanciados
Fuentes de infección	muchas locales potentes	pocas distantes menos potentes
Epoca de crecimiento	prolongada traslape	corta única
Estación seca/invierno	templada intensa	corta prolongada

TABLA 15.2 Métodos generales para el control de enfermedades y sus efectos epidemiológicos (según Zadoks y Schein 1979).

	Efecto sobre:	
A. Evitar agentes patógenos		
1) Elección de área geográfica	X_0	r
2) Elección del lugar de siembra en un área local	X_0	r
3) Elección de la época de siembra	X_0	
4) Uso de material vegetal sano	X_0	r
5) Modificación de prácticas culturales	r	
B. Excluir agentes patógenos		
1) Tratamiento de semillas o material de siembra	X_0	
2) Inspección y certificación	X_0	
3) Exclusión o restricción por cuarentena de plantas	X_0	
4) Eliminación de insectos vectores	X_0	r
C. Erradicar agentes patógenos		
1) Control biológico de los agentes patógenos de plantas	X_0	r
2) Rotación de cultivos	X_0	
3) Extracción y destrucción de plantas susceptibles o partes enfermas de las plantas		
a) Variación casual	X_0	r
b) Eliminación de huéspedes alternos y huéspedes de malezas	X_0	
c) Sanitización	X_0	
4) Tratamientos químicos y de calor aplicados a plantas	X_0	
5) Tratamientos del suelo	X_0	
D. Protección de la planta		
1) Tratamientos químicos de plantas	X_0	
2) Control de insectos vectores de agentes patógenos		r
3) Modificación del medio ambiente		r
4) Inoculación con virus benigno para proteger contra un virus más virulento	X_0	
5) Modificación de la nutrición		r
E. Desarrollo de hespederas resistentes		
1) Selección genética para resistencia		
a) Resistencia vertical	X	
b) Resistencia horizontal		r
c) Resistencia bidimensional	X	r
d) Resistencia poblacional (multilíneas)		r
2) Resistencia por quimioterapia		r
3) Resistencia mediante nutrición		
F. Terapia aplicada a la planta enferma		
1) Quimioterapia		r
2) Tratamiento de calor	X	
3) Cirugía	X	

X_0 = cantidad de inóculo inicial
r = tasa de aumento de enfermedad

zan hasta o durante el período de siembra de los cultivos, son esenciales para reducir al mínimo la enfermedad. Los controles que se aplican antes de la siembra incluyen: rotación de cultivos, calentamiento del suelo mediante la exposición al sol o la quema, inundación temporal, labranza y enmiendas del suelo con grandes cantidades de materia orgánica. La labranza destruye los residuos y acelera la descomposición y la colonización de microorganismos benéficos (Cook 1986).

La erradicación de los huéspedes alternos silvestres y susceptibles a las enfermedades de los cultivos es, a veces, un método útil, como en el caso de *Puccinia graminis* y *Cranartium ribicola*, cuyo control requiere la extracción de los huéspedes alternos *Berberis vulgaris* y *Ribes* spp. Los métodos que se utilizan en la siembra comprenden la utilización de cultivares resistentes y materiales de siembra libres de agentes patógenos.

La diversidad genética ofrece un gran potencial para el control genético de los agentes patógenos. Esta se puede lograr en los campos, sembrando cultivares con diferentes genes para la resistencia, en diferentes áreas, sembrando multilíneas o una combinación de tres o cuatro cultivares, cada uno con genes diferentes para la resistencia; o utilizando cultivares que tengan diversos genes para la resistencia dentro de su propia disposición genética (Browning y Frey 1969). Existe evidencia de un exitoso control de enfermedades dentro del campo mediante la diversidad introspectiva de los patosistemas del trigo (*Puccinia striiformis*), avena, (*Puccinia coronata*) y cebada (*Erysiphe graminis*) (Wolfe 1985).

En Iowa, desde 1968, se han introducido once cultivares de multilíneas de avena, los que se cultivan en alrededor de 400.000 ha., hasta entonces sin pérdidas producidas por la roya (*P. coronata*) en el campo. Aparentemente, la sustitución de lo que serían plantas susceptibles en un cultivo puro por plantas resistentes, reduce la cantidad de tejido susceptible. Además, el movimiento del inóculo desde una planta susceptible a otra se ve obstaculizado por la presencia de plantas resistentes en la mezcla.

Los científicos del National Institute for Agricultural Botany (NIAB) en Inglaterra, elaboraron listas de variedades de cereales recomendables que se pueden usar para seleccionar mezclas apropiadas de variedades. En la Tabla 15.3 se ilustra este concepto con respecto al mildew en la cebada de primavera. Para usar la tabla, primero ubique el número de grupo de diversificación para la variedad elegida y luego verifique que cualquier otra variedad subsecuente elegida se encuentre en un grupo diversificador compatible. Aún cuando no se usen mezclas varietales, los principios de diversificación varietal se pueden aplicar a variedades elegidas en campos aledaños (Lampkin 1990).

TABLA 15.3 Esquema de diversificación varietal para reducir la propagación del mildew en la cebada de primavera

Grupo	Diversificación									
	1	3	4	5	6	7	9	10	11	
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
3	+	m	m	+	+	+	m	m	m	
4	+	m	m	+	+	+	m	+	+	
5	+	+	+	m	+	+	+	m	+	
6	+	+	+	+	m	+	m	+	+	
7	+	+	+	+	+	m	+	+	+	
9	+	m	m	m	m	+	m	+	+	
10	+	m	+	+	+	+	+	m	+	
11	+	m	+	+	+	+	+	+	m	

+ = buena combinación, bajo riesgo
m = alto riesgo de propagación del hongo.

Pyndji y Trutmann (1992) han sugerido complementar las combinaciones actuales de los agricultores con variedades resistentes, con el fin de reducir aún más la gravedad de determinadas enfermedades. En Africa, este método condujo a una reducción importante de la mancha angular de la hoja en los tallos del frijol y también evitó el reemplazo indiscriminado de las variedades tradicionales por nuevas variedades.

La resistencia controlada de manera genética también es un importante mecanismo que contribuye a la supresión de las enfermedades de las plantas, pues muchos tarabajos se han realizado con respecto a este tipo de resistencia (Vanderplank 1982). La resistencia de la planta huésped se puede dividir en dos tipos: vertical y horizontal. La *resistencia vertical* es una resistencia que es efectiva contra algunos genotipos de una especie patógena, pero no contra otros. Vanderplank señala que la resistencia vertical, por lo general, proporciona altos niveles de resistencia o inmunidad, y, usualmente se hereda monogenéticamente. Probablemente, la resistencia vertical está correlacionada con la resistencia que funciona sobre la base de un gen a otro con el huésped. Se le ha dado mucho énfasis al uso de la resistencia vertical para el control de las enfermedades, debido a que dicha resistencia simplemente se hereda, se identifica fácilmente, y, por lo general proporciona altos niveles de resistencia o incluso inmunidad contra genotipos frecuentes de un agente patógeno. Para algunas enfermedades, sin embargo, el uso generalizado de la resistencia vertical puede seleccionar rápidamente genotipos virulentos de la población patógena y producir una resistencia genética inefectiva (Browning y Frey 1969). Por lo tanto, se ha prestado gran atención a otro tipo de resistencia supuestamente diferente que se la ha denominado de diversas formas; resistencia general, resistencia de campo o resistencia horizontal. La *resistencia horizontal* es considerada como una resistencia que no es específica a ninguna cepa y que generalmente genera una resistencia incompleta (es decir, que no suprime por completo la reproducción de los agentes patógenos) y generalmente se hereda cuantitativamente. Vanderplank (1982) consideró que la resistencia horizontal era más estable que la vertical; sin embargo, se ha atribuido esta estabilidad a la falta de especificidad en cuanto a la cepa y no a la gran cantidad de genes que controlan la resistencia horizontal, si se compara con la vertical.

Elegir el método y el período apropiado de siembra proporcionan un medio para escapar de los agentes patógenos. Sembrar ya sea más temprana o tardíamente puede permitir al huésped pasar a través de una etapa vulnerable antes o después de que el agente patógeno produzca inóculo. Por ejemplo, en Inglaterra, las papas tempranas rara vez son atacadas por *Phytophthora infestans*, dado que éstas se cosechan antes de la máxima reproducción del agente patógeno. Las variaciones en el espaciamiento de las hileras y en la profundidad de la siembra son otros métodos que pueden ayudar para que el cultivo evite el inóculo del agente patógeno (Palti 1981). Muchos sistemas de cultivo afectan a las enfermedades. Si los cultivos similares que comparten los mismos agentes patógenos no siguen uno después del otro, hay una buena probabilidad de que cualquier inóculo dejado en el suelo haya muerto de hambre debido a la ausencia de su huésped, o que haya sufrido una parálisis o lisis por otro microorganismo. En el caso de los cereales, la extracción del huésped por un año en una rotación limitará la mancha ocular causada por *Pseudocercospora herpotrichoids*. La rotación también se puede realizar en los cultivos de plantación como el plátano, donde la incidencia de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cube* se puede reducir por un quiebre de 2 a 3 años durante el cual se cultiva arroz (Manners 1943). La siembra de

trigo o cebada con leguminosas es eficaz para el control de *Gaeumannomyces graminis*. La leguminosa proporciona algo de nitrógeno, pero una vez cosechado el cereal y durante el otoño, el nitrógeno se inmoviliza y, por lo tanto, se conserva para el crecimiento del cultivo, además la inanición del nitrógeno afecta la actividad de *Gaeumannomyces* (Campbell 1989).

Muchos de éstos métodos de cultivo (rotación de cultivos, eliminación de huéspedes alternativos, arado profundo de los desechos de un cultivo, intercalación de cultivos no emparentados, uso de cultivos de barrera) se pueden incorporar a sistemas de producción agrícola alternativos; sin embargo, su adopción dependerá, en gran parte, de una cantidad de factores ambientales, biológicos, económicos y humanos (Tabla 15.4). Claramente se conoce que los sistemas de cultivo se deben adaptar muy bien a las interacciones cultivo/agente patógeno/medio ambiente de cada campo, además se deben considerar las demandas para un control económico, seguro y rápido de una enfermedad en particular.

Un tratamiento detallado de los conceptos epidemiológicos en el manejo de las enfermedades de las plantas se encuentra en Zadoks y Schein (1979). El libro de Palti (1981) proporciona un cuadro detallado de las diversas prácticas culturales para el control de las enfermedades.

Tabla 15.4 Factores económicos, sociales, biológicos y ambientales que afectan las perspectivas para un control cultural de las enfermedades de los cultivos (Zadokhs y Schein 1979).

	Perspectivas para el control cultural	
	Mejora cuando	Disminuye cuando
Factores socioeconómicos:		
Valor del cultivo y nivel de pérdida potencial	bajos	alta
Costo del control químico, en relación al gasto total	alto (ej. cereales)	baja
Posibilidades de planeación regional de cultivos para reducir al mínimo incremento del inóculo	buenas	malas
Elecciones de prácticas de presembrado (suelo, temporada, topografía)	numerosas	pocas
Posibilidades de manipulación de condiciones del campo	muchas (ej. cultivos regados)	limitadas (ej. predio seco)
Nivel educacional del agricultor	alto	bajo
Factores patógenos:		
Dispersión del inóculo impacto de lluvia viento		
Tiempo húmedo necesario para la infección	prolongada	corta
Tasa de incremento del inóculo	rápido	lento
Rango de temperatura para su desarrollo	estrecho	amplio
Susceptibilidad de sobretemporada o dispersión del inóculo al calor y a la sequía	alta	baja
Factores de cultivos huéspedes: posibilidad de tejido susceptible existente en cualquier época	limitados	varios
Rango de adaptabilidad a diversas condiciones de cultivo	amplio	estrecho
Factores ambientales: condiciones climáticas en general en relación a las condiciones de cultivo	menos que óptimo por lo menos en algunas temporadas	se acerca a lo óptimo

Control biológico de fitopatógenos

Según Cook y Baker (1983): «el control biológico es la reducción de la cantidad de inóculo o actividad que produce la enfermedad de un agente patógeno, obtenido por o mediante uno o más organismos diferentes al hombre». Con frecuencia, el control biológico comprende la explotación de organismos (por lo general denominados *antagonistas*) en el medio ambiente, con el fin de disminuir la capacidad del agente patógeno para causar una enfermedad. La gran cantidad de métodos que se utilizan en el control biológico se pueden dividir en forma general en dos grupos. En primer lugar, los antagonistas se pueden introducir directamente sobre o dentro del tejido de la planta. En segundo lugar, las condiciones del cultivo u otros factores, se pueden modificar en tal forma que se promuevan las actividades de los antagonistas que surgen naturalmente. En Baker y Cook (1974), Cook y Baker (1983) y, más recientemente, en Campbell (1989), se analizan algunos principios y ejemplos relevantes del control biológico de los agentes patógenos de las plantas.

El control biológico, incluye acciones para aumentar la microbiología benéfica alrededor de la planta, o la introducción de agentes biológicos en el suelo para suprimir los agentes patógenos que están en él. El método de intensificación significa fomentar los organismos benéficos conocidos que existen naturalmente en el suelo, y fomentar la creación de efectos nocivos en el desarrollo de agentes patógenos. El método directo comprende la introducción masiva de microorganismos antagonísticos en el suelo, con o sin una base de alimentación, para inactivar los propágulos del agente patógeno, reduciendo su número y afectando desfavorablemente la infección (Tabla 15.5). El antagonista tiene muchas formas de operar: una rápida colonización antes que el agente patógeno, o una competencia subsiguiente, por exclusión de nicho, la producción de antibióticos o el microparasitismo o lisis del agente patógeno. Además, algunos microorganismos pueden actuar, simplemente, haciendo que la planta crezca mejor, de manera que si la enfermedad existe, sus síntomas están parcialmente ocultos. Muchas ectomicorizas que promueven la captación de fósforo en las plantas forman una barrera física o química contra las infecciones, evitando que los agentes patógenos alcancen la superficie de las raíces. A pesar de que los efectos del VAM (micorizas) en las enfermedades son bastante complicados, por lo general, son benéficos, aunque algunos pueden fomentar las enfermedades, tales como *Phytophthora* que causa la descomposición de la raíz de la soya (Tabla 15.6).

Hasta ahora, el método más prometedor parece ser el aumento de los agentes de control biológico mediante el cambio del equilibrio en el suelo o el aumento de la actividad de la compleja comunidad microbiana, lo que incluye el incremento en la liberación de metabolitos tóxicos y la competencia por nutrientes. A medida que la actividad microbiana aumenta, se presume que el gasto de energía de los propágulos durante la dormancia aumenta como mecanismo de protección, el resultado es un incremento en la frecuencia de la mortalidad y extinción del propágulo (Baker y Cook 1974).

La utilización de cultivos de cobertura y leguminosas, especialmente leguminosas verdes incorporadas al suelo, ha sido muy eficaz para controlar biológicamente los agentes patógenos. En el Suroeste de los Estados Unidos, se encontró que un cultivo de arvejas verdes o sorgo seco incorporado al suelo antes de cosechar el algodón, aparentemente proporciona un control excelente de la *Phytophthora* que causa la descomposición de raíces. La eficacia de los cultivos de cobertura con leguminosas para el control de la enfermedad take-all ha sido frecuentemente demostrada. La germinación y posible viabilidad de *Typhula idahoensis* se reduce, en gran

TABLA 15.5 Ejemplos de antagonistas estudiados para el control biológico de agentes patógenos de plantas (Schroth y Hancock 1985).

Mecanismos	Planta	Patógeno de la planta	Antagonista	
Competencia antibiótica/antibiosis	Muchas	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium</i> spp A virulenta	
	Maíz	<i>Fusarium roseum</i> «Graminearum»	<i>Chaetomium globosum</i>	
	Pino	<i>Heterobasidion annosum</i>	<i>Peniophora gigantea</i>	
	Diversas	Hongos diversos	<i>Trichoderma</i> spp.	
	Diversas	Hongos diversos	<i>Bacillus subtilis</i>	
	Clavel	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i>	<i>Alcaligenes</i> spp	
	Algodón, trigo		<i>Pythium, Gaeumannomyces graminis</i> var. <i>tritici</i>	<i>Pseudomonas</i> spp
			<i>Pseudomonas tolaasii, Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lini</i>	
		Manzano	<i>Erwinia amylovora</i>	<i>Erwinia herbicola</i>
		Tabaco	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Fatiga avirulenta de <i>P. solanacearum</i>
	Muchas	Hongos diversos	<i>Gliocladium</i> spp.	
Competencia por lugares de fijación	Muchas	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	<i>Agrobacterium</i> spp. virulenta	
	Camote	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>batatas</i>	<i>F. oxysporum</i> no patógena	
Protección cruzada	Cucurbitas	<i>Fusarium solani</i> f.sp. Cucurbitae	Virus del mosaico de la calabaza	
	Muchas	Hongos diversos	<i>Trichoderma</i> spp.	
Hiperparasitismo	Girasol, frijoles	<i>Sclerotinia</i> spp.	<i>Coniothyrium minitans</i>	
	Lechuga	<i>Sclerotinia</i> spp.	<i>Sporodesmium sclerotivorum</i>	
	Remolacha	<i>Pythium</i> spp.	<i>Pythium oligandrum</i>	
	Pepino, frijoles	<i>Rhizoctonia solani</i>	<i>Laetisaria arvalis</i>	
	Pepino	mildews	<i>Ampelomyces grisqualis</i>	
	Centeno	Ergot	<i>Fusarium roseum</i> «hetro sporum»	
Hipovirulencia	Castaña	<i>Endothia parasitica</i>	Micovirus	
Parasitismo	Soya	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>glycinea</i>	<i>Bdellovibrio bacteriovorus</i>	
Predación		hongos diversos	<i>Arachnula impatiens</i>	

TABLA 15.6 Efectos de micorrizas VA en las enfermedades del suelo causadas por hongos (Schonbeck 1979).

Agente patógeno	Huésped	Efectos de micorrizas en plantas
<i>Oidium brassicae</i>	tabaco, lechuga	reduce la infección
<i>Pythium ultimum</i>	soya	ninguno
<i>Pythium ultimum</i>	poinsetia	reduce, atrofia
<i>Phytophthora megasperma</i>	soya	mueren menos plantas
<i>Phytophthora palmivora</i>	papaya	ninguno
<i>Phytophthora parasitica</i>	cítrico	reduce el daño
<i>Rhizoctonia solani</i>	poinsetia	reduce enanismo
<i>Thielaviopsis basicola</i>	tabaco	atrofia menos, inhibe
<i>Thielaviopsis basicola</i>	alfalfa	la producción de clamidósporas
<i>Thielaviopsis basicola</i>	algodón	
<i>Cylindrocarpon destructans</i>	fresa	atrofia menos,
<i>Cylindrocladium scoparium</i>	álamo	reduce infección
<i>Fusarium oxysporum</i>	tomate	
<i>Fusarium oxysporum</i>	pepino	
<i>Phoma terrestris</i>	cebolla	

TABLA 15.7 Enmiendas secas y descompuestas que reducen algunas enfermedades causadas por hongos del suelo (según Palti 1981).

Enfermedad del cultivo	Agente patógeno	Enmienda del suelo
Marchitamiento de la papa	<i>Verticilium albo-atrum</i>	Paja de cebada
Costra negra de la papa	<i>Rhizoctonia solani</i>	Paja de trigo
Pudrimiento de la raíz del frijol heno de alfalfa	<i>Thielaviopsis basicola</i>	Paja de avena, forraje de maíz,
Pudrimiento de la raíz de la arveja	<i>Aphanomyces euteiches</i>	Tejidos de crucífera
Pudrimiento de la raíz del algodón	<i>Macrophomina ojasoikuba</i>	Grano de alfalfa, paja de cebada
Marchitamiento del coriander	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>coriander</i>	Torta de aceite
Marchitamiento del plátano	<i>F. oxysporum</i> sp. <i>cubense</i>	Residuos de caña de azúcar
Pudrición de la raíz del aguacate	<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Grano de alfalfa
Pudrición de las raíces de plantas ornamentales	<i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Thielaviopsis</i> spp.	Corteza de árbol con compost

parte, en los campos de Idaho por la introducción de la alfalfa en la rotación con el trigo. La escara de la papa se previno, debido a que se introdujo el cultivo de la soya anualmente como cultivo de cobertura y se incorporaba cada año antes de plantar papas (Baker y Cook 1974).

Los residuos de las leguminosas son ricos en compuestos de nitrógeno y carbono, y proporcionan además vitaminas y sustratos complejos. La actividad biológica se torna muy intensa en respuesta a los cambios de este tipo, lo que puede aumentar la fungistasis y la lisis del propágulo. El compost de diversos materiales orgánicos se ha utilizado para controlar las enfermedades causadas por *Phytophthora* y *Rhizoctonia*. Los principales factores de control parecen ser el calor del compost y los antibióticos producidos por *Trichoderma*, *Gliocladium* y *Pseudomonas*. La Tabla 15.7 proporciona ejemplos específicos del aumento y supresión de enfermedades mediante la adición de cambios al suelo. En la Tabla 15.8 se presentan algunos ejemplos de patógenos en el suelo que se pueden reducir al usar abonos verdes. En la Tabla 15.9 se presentan algunos ejemplos de cambios en el suelo que pueden reducir la población de nemátodos.

TABLA 15.8 Ejemplos de abonos verdes que reducen algunos patógenos fúngicos de las enfermedades del suelo (según Palti 1981).

Cultivo	Enfermedad	Agente patógeno	Tipo de abono verde	Efecto en población fúngica
Trigo	Take-all	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	Rapes, arveja o leguminosa de pasto combinada	Parcialmente reducido
	Mancha ocular	<i>Pseudocercospora</i> sp.	Parcialmente reducido	
Algodón	Pudrición de raíz	<i>Phymatotrichum omnivorum</i>	Arveja, <i>Melilotus officinalis</i>	Reducido
Papa	costra	<i>Streptomyces scabies</i>	Soya	Previene formación

TABLA 15.9 Abonos orgánicos que reducen las poblaciones de nemátodos (según Palti 1981).

Especie nemátoda	Cultivo	Enmienda del suelo evaluada
<i>Meloidogyne incognita</i>	Tomate	Fango de alcantarilla, heno y paja de alfalfa, heno de trébol de los prados, heno del lino
<i>M. javanica</i>	Tomate, nabo	Aserrín
<i>Heterodera marioni</i>	Durazno	<i>Crotalaria spectabilis</i> en verano, avena en invierno
<i>H. tabacum</i>	Berenjena	Tierra de hojas y sulfato de amonio
<i>Pratylenchus penetrans</i>		Residuos miceliales de la producción de antibióticos Residuos de celulosa de la industria de papel
<i>Hoplolaimus tylenchiformis</i> , <i>Xiphinema americanum</i> <i>Helicotylenchus</i> sp.,		Tierra de hojas, fango de alcantarilla
<i>Tylenchorhynchus</i> sp., <i>Meloidogyne</i> sp. <i>Pratylenchus penetrans</i> <i>Belonolaimus longicaudatus</i> <i>Tylenchulus semipenetrans</i>		Costra de aceite de mostaza, hojas marchitas de <i>Azidarchta indica</i> Avena, pasto Sudán Fango de alcantarilla activado Pumita del castor (subproducto) de la extracción del aceite del castor

Existe bastante literatura sobre las prácticas de manejo del suelo para aumentar los antagonistas microbianos. Las enmiendas orgánicas se reconocen como iniciadoras de dos importantes procesos para el control de enfermedades: aumenta la inactividad de los propagulos y su digestión por microorganismos del suelo (Palti 1981). Las adiciones orgánicas aumentan el nivel general de actividad microbiana y, mientras más microbios estén en actividad, existen más posibilidades de que alguno de ellos sea antagonista de los agentes patógenos. Esta respuesta general a la materia orgánica con una reducción en el inóculo del agente patógeno se ha utilizado con éxito para controlar enfermedades como la costra de la papa (*Streptomyces scabies*), *Phytophthora cinnamoni* (pudrición del aguacate), *Phymatotrichum omnivorum*, *Sclerotium rolfsii* y *Rhizoctonia* (Mukerji et al. 1992). En suelos compensados con materiales orgánicos no es posible la germinación de propagulos de agentes patógenos, aún en presencia de combinaciones nutritivas. Las pruebas demuestran que el efecto es relativamente no específico en cuanto al origen, se ha demostrado que existen otros métodos de control biológico que incluyen la resistencia en el huésped por la inoculación con agentes no patógenos o razas avirulentas de un patógeno. El uso de razas atenuadas de virus para controlar las razas virulentas ha sido estudiada en varios casos. El *virus de la Tristeza de los cítricos* se controla de esta forma; además, el tomate se puede proteger del daño causado por el *virus del mosaico del tabaco* con una inoculación previa con razas de virus atenuadas. Uno de los pocos agentes de control biológico registrado, que está actualmente disponible en el mercado de los EE.UU. y en otras partes, es una raza avirulenta de *Agrobacterium radiobacter* (K84), que protege las plantas contra el agente patógeno *Agrobacterium tumefaciens* mediante el tratamiento previo de las heridas con el antagonista. La raza K84 produce un tipo especial de antibiótico o bactericida (una proteína de alto peso molecular) que sólo afecta a los organismos estrechamente relacionados.