

# PROPIEDADES EMERGENTES A NIVEL DE COMUNIDAD COMO GUIA EN EL MANEJO DE LA SALUD DE LAS RAÍCES DE LOS CULTIVOS EN AGROECOSISTEMAS

**Roberto García Espinosa**

Colegio de Postgraduados, Área de Fitopatología, Texcoco, México, 56230. Tel: 595 95 20200  
Ext. 1661, Email: rogaresp@gmail.com

## Resumen

La supresividad de suelos, surge como el concepto central en la detección de propiedades emergentes del nivel comunidad con relación a enfermedades con origen en el suelo en agroecosistemas. En este escrito, se explica la naturaleza de la supresividad. Se describen algunos trabajos realizados en México sobre caracterización de suelos supresores, y de inducción de supresividad en agroecosistemas fuera de balance. Se describen los trabajos de inducción de supresividad a *Phytophthora cinnamomi* en aguacatero que dieron origen al sistema Colegio de Postgraduados de manejo de esta enfermedad. Se describe también el trabajo de inducción de supresividad a enfermedades de la raíz del maíz en agroecosistemas tropicales mediante la rotación con la leguminosa tropical *Mucuna deeringiana*, y se concluye con la descripción del establecimiento de complejidad ascendente de antagonistas (a patógenos), aislados de suelos supresores, en los sustratos de germinación para la protección de plantas de jitomate a fitopatógenos del suelo. Finalmente se valoran algunas perspectivas de investigación sobre este tema en México.

**Palabras Clave:** Supresividad de suelos, enfermedades de la raíz, *Phytophthora cinnamomi*, *Mucuna deeringiana*, complejidad ascendente de antagonistas, control biológico.

## Summary

### Emergent community properties as a basis for the management of crop root health in agroecosystems

Soil suppressiveness could be considered as the central concept emerging from community level in regard to soil-borne diseases in agroecosystems. In this paper the nature of soil suppressiveness is described as well as some research conducted in Mexico characterizing suppressive soils and the induction of such property in conducive soils. The induction of soil suppressiveness to *Phytophthora cinnamomi* in avocado groves that yielded the so called Colegio de Postgraduados integrated management system is also described. The emergence of soil suppressiveness to corn root diseases under tropical conditions through the rotation with the tropical legume *Mucuna deeringiana* is also described and an account is made of the establishment of ascendant complexity of antagonistic (to plant pathogens) microorganisms isolated from suppressive soils to protect tomato plantlets to some root pathogens. Finally, some perspectives are set forward for future research on the subject in Mexico.

**Keywords:** Soil suppressiveness, root diseases, *Phytophthora cinnamomi*, *Mucuna deeringiana*, ascendant complexity, Biological control.

## Las propiedades emergentes de los niveles superiores

Para Shumacher (1977), la perplejidad tan predominante en la sociedad humana contemporánea resulta de buscar tan afanosamente información y formas de manejar la existencia en los niveles inferiores de la or-

ganización de los sistemas (reduccionismo) y afirma "el conocimiento más escaso que pueda obtenerse de las cosas superiores es más deseable que el conocimiento más certero que pueda obtenerse de las cosas inferiores". Y es que, según Robinson (2005), aquellos obsesionados en los detalles de los niveles inferiores, son ciegos a las propiedades emergentes de los niveles superiores

(comunidad o ecosistema). Para un estudioso de morfología y taxonomía, por ejemplo de hongos fitopatógenos (nivel individuo) o para aquel que estudia la bioquímica de las plantas (nivel molecular), las interacciones que ocurren a nivel comunidad no pueden ser observadas; no son motivo de su atención y no cuenta con herramientas metodológicas ni intelectuales para la comprensión de los fenómenos que ocurren a ese nivel. Shumacher (1977) manifiesta que lo que hay que deplorar, no es que los científicos se estén especializando, sino que los especialistas pretendan hacer generalizaciones, porque esto origina un "imperialismo científico" cada vez más agresivo.

### **Las propiedades emergentes del nivel comunidad en la organización de los agroecosistemas**

Son diversas las propiedades emergentes del nivel comunidad. De entre ellas puede destacarse la estabilidad (de la comunidad), las diversas interacciones entre especies como el antagonismo (en sus diversas vertientes incluido el parasitismo), la protooperación, la simbiosis y otras; interacciones que de manera directa o indirecta contribuyen a la estabilidad de las comunidades en los ecosistemas. Otras propiedades emergentes son la dominancia o la diversidad de especies en una comunidad. En el presente artículo se describen únicamente resultados de investigación desarrollados al nivel comunidad con relación a enfermedades de la raíz y su manejo.

Por ser eminentemente de naturaleza compleja, el estudio y manejo de las enfermedades de la raíz requiere de un enfoque holístico que, guiado por la teoría de la complejidad, enfoque la generación del conocimiento y el desarrollo de la tecnología para su manejo en torno a las propiedades emergentes propias del nivel comunidad de los agroecosistemas. Si a los ecosistemas los conforman sus comunidades bióticas en interacción con su ambiente, su productividad puede decaer por desbalances motivados por interacciones entre especies que resultan nocivas a los principales productores. Al transformar los ecosistemas naturales en agroecosistemas, existen cuatro razones de tipo ecológico para la pérdida en productividad: la pérdida de fertilidad del suelo, la invasión de malezas y el ataque epidémico de plagas insectiles y de enfermedades. Normalmente, en el ecosistema natural estuvieron presentes una gran diversidad de especies, con una amplia diversidad genética en cada una de ellas. El cambio a agroecosistema ha significado, en gran medida, la simplificación del ecosistema hasta llegar a los extremos de la llamada agricultura moderna que mantiene monocultivos de una sola especie, con la mayor uniformidad genética posible y donde, hasta las especies arvenses, son continua y tenazmente eliminadas. Bajo esas circunstancias, los

patógenos cumplen una clara función: son el intento de la naturaleza por recuperar el balance, representado por el ecosistema original, con alta diversidad de especies y alta diversidad genética dentro de ellas, y donde las enfermedades y los insectos fitófagos, aunque presentes, no colocaban al sistema bajo amenaza de extinción.

### **PARASITISMO: las enfermedades pueden significar la pérdida de sustentabilidad de los agroecosistemas**

Una primera propiedad emergente del nivel comunidad, relacionado con las interacciones entre especies es el parasitismo; en un agroecosistema se detectan numerosos patosistemas. De entre las interacciones parasíticas que limitan la productividad de los agroecosistemas, las enfermedades con origen en el suelo suelen ser las más graves y de difícil manejo; determinan la selección de los tipos de vegetación, los cultivos y sus prácticas agrícolas; se establecen como factores restrictivos y suelen ser la diferencia entre cosecha o no cosecha. Son de muy difícil control debido a que el suelo, en el que residen los patógenos que las inducen, les proporciona protección completa y perfecta. Su manejo químico, además del elevado costo, con gran frecuencia resulta inefectivo, debido a que las propiedades del suelo impiden la acción de estos compuestos.

Por ocurrir en el suelo, un cuerpo opaco que no permite la observación directa de los fenómenos que en él ocurren, las enfermedades de la raíz son frecuentemente ignoradas o confundidas con otros problemas presentes en el agroecosistema; sin embargo, suelen ser los problemas fitopatológicos más importantes en la agricultura moderna. Pero lo son más en agroecosistemas tropicales, donde han sido responsabilizadas de la necesidad de abandonar la tierra en la agricultura trashumante (Wellman 1972); aunque también suelen obligar a adoptar costumbres de agricultura nómada a productores en regiones templadas incluso en presencia de alta tecnología, tal es el caso de la pudrición blanca del ajo y la cebolla en la región del Bajío, mexicano, donde grandes agricultores rentan la tierra y una vez infestada por *Sclerotium cepivoprum* hasta hacerla prohibitiva para estos cultivos, optan por abandonarla y buscan tierra nueva para rentar.

### **ESTABILIDAD: comunidades de plantas (policultivos) en un (agro)ecosistema lejos del equilibrio**

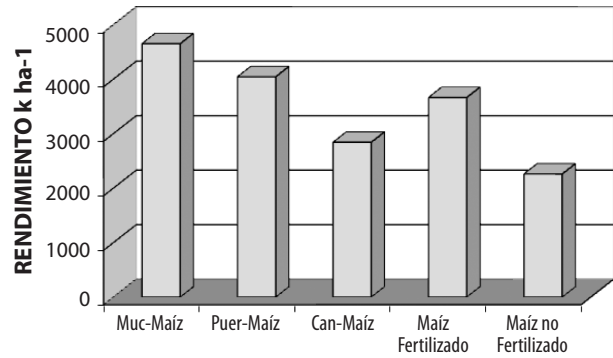
Aunque existe un gran número de interacciones posibles, tanto benéficas como deletéreas a los integrantes de una comunidad de cultivos sembrados en asociación (en espacio o tiempo), la tendencia es avasalladora en favor del monocultivo. Y lo es, principalmente, por la transculturación, proceso que impone una visión cultural externa sobre una local de manera dogmática, basada en la creencia de que, en hablando de cultivos,

a menor diversidad, mayor productividad. Este principio podría ser aplicable precisamente en ausencia de parasitismo, pero en agroecosistemas caracterizados por lo agudo del ataque de los parásitos a los cultivos como son los agroecosistemas que se establecen en la región intertropical, no resulta sorprendente que la regla general en estas regiones sea, dentro de sus prácticas tradicionales de agricultura, la siembra de policultivos, tanto en el espacio como en el tiempo. Quizá debiera llamar la atención que en las regiones templadas, la intensificación agrícola ha condicionado una intensificación del parasitismo y por tanto, son ya frecuentes las evidencias de que aún en estas regiones, los policultivos pueden resultar en interacciones benéficas de abatimiento del parasitismo (Altieri 1987).

Una descripción amplia y detallada del efecto de los policultivos en la incidencia y daños de los parásitos agrícolas los menciona Altieri, (1987). Para complementarla, a continuación se describen de manera sucinta varios trabajos de investigación realizados en las regiones tropicales de México.

**Evaluación de cuatro ciclos de producción del sistema de rotación (policultivos en el tiempo) leguminosas-maíz en el trópico húmedo**

Los esquemas de rotación de maíz con leguminosas tropicales de crecimiento vigoroso como *Mucuna deeringiana*, parecen indicar un camino muy promisorio hacia la sustentabilidad en la producción de cultivos básicos para estas regiones. La productividad en los tratamientos de monocultivo continuo de maíz, ya sea fertilizado o no fertilizado, tiene una clara tendencia a decaer; mientras que en las rotaciones, esta tiende a estabilizarse, con una productividad considerablemente elevada. A continuación, se resumen las evaluaciones realizadas en un experimento llevado a cabo en el Campus Tabasco, del Colegio de Postgraduados se estableció con el propósito de realizar observaciones a largo plazo considerando que si el manejo de un agroecosistema conduce a la sustentabilidad, ésta, debe ser una característica que se sostenga en el tiempo, reconociendo lo peligrosos que suelen ser, en manejo de sistemas, los éxitos a corto plazo. Los datos que a continuación se describen, se refieren a un experimento de rotación de cultivos que incluyó la siembra de leguminosas tropicales (*M. deeringiana*, *Pueraria phaseoloides* y *Can-*



**Figura 1.** Rendimiento promedio de maíz de los años 1991 a 1994 que compara tratamientos con rotación y sin rotación con leguminosas tropicales.

*valia ensiformis*) para contrastarlos con el monocultivo continuo (aunque anual) de maíz ya sea fertilizado o no con fertilizantes sintéticos. Este experimento sólo pudo mantenerse durante 4 años, muy lejos de, por ejemplo, el experimento conocido como “the old rotation” en Auburn, en el Edo. de Alabama en USA, que lleva más de 100 años de ser sembrado, con el mismo arreglo de secuencia de cultivos año con año y es considerado y respetado como “monumento nacional” en aquel país (Mitchell 1996).

La evaluación a los distintos tipos de rotación leguminosas-maíz en el Campus Tabasco, del Colegio de Postgraduados, indica que las rotaciones, tienden a lograr mejores rendimientos, mientras que en los monocultivos los rendimientos tienden a disminuir (Fig. 1, Tabla 1).

Los rendimientos obtenidos en la rotación *Mucuna*-maíz y *Pueraria*-maíz representan en promedio para los cuatro años de evaluación, 4.65 y 4.04 ton/ha de grano, respectivamente, mientras que el de los monocultivos maíz fertilizado y no fertilizado, 3.66 y 2.25 ton/ha respectivamente; esto significa una producción mayor en un 52% y 32% de la rotación *Mucuna*-Maíz si la comparamos con el Maíz sin y con fertilización, respectivamente. Equivale a una producción superior en un 45% y 10% de *Pueraria* maíz en comparación con maíz sin y con fertilización, respectivamente. Cabe destacar el efecto nulo o hasta deletéreo de la siembra con *Canavalia*. Es importante señalar que la media de producción para el Edo. de Tabasco es de 1.5 Ton/ha; es decir, el rendimiento del tratamiento *Mucuna*-Maíz es superior en un 310% con respecto a la media estatal. Conviene también se-

**Tabla 1.** Rendimiento en k. Ha<sup>-1</sup> de grano de maíz por planta en los sistemas de producción estudiados.

	CICLO DE PRODUCCIÓN (Producción en k ha-1)				
	1991	1992	1993	1994	MEDIA
Mucuna-Maíz	4320.0	5220.0	4200.0	4860.0	4650.0
Pueraria.-Maíz	5150.0	3350.0	3950.0	3720.0	4042.5
Canavalia.-Maíz	2760.0	3490.0	2580.0	2530.0	2840.0
Maíz Fertilizado	3834.8	4690.0	3244.8	2880.0	3662.4
Maíz no fertilizado	2450.0	2354.8	2880.0	1350.0	2258.7

ñar, que a los monocultivos de maíz, se les efectúa un sistemático control de malezas a mano, ya que de otra forma, la producción en estas parcelas podría ser nula. Dicho control manual, es innecesario en las parcelas bajo rotación.

Aunque la diferencia entre el maíz fertilizado y las mejores rotaciones no resulta hasta el momento mayor que el 52%, es conveniente destacar dos aspectos: a) el costo del propio fertilizante, es decir, a las ganancias de la producción de maíz fertilizado, hay que descontar el costo de los fertilizantes. La producción bajo rotación no sólo es mayor en un 150%, sino que no implica la necesidad de gastar en estos insumos, por lo tanto es aún mayor la ganancia y b), la señalada ventaja de no necesitar el control de malezas, a lo que hay que adicionar que las rotaciones parecen indicar un comportamiento estable, ya que la producción no tiende a declinar como se observa para el tratamiento maíz no fertilizado. Así

mismo, se observa una marcada disminución en el daño a las raíces, como se discute más adelante.

Estos resultados, confirman los trabajos realizados por Granados *et al* (1990) en la Chontalpa, Tabasco, quienes informan de rendimientos superiores a las 4 ton/ha, así como lo reportado por Quiroga (1994) en Chiapas, con rendimientos de hasta 6 ton/ha; mientras que en Centroamérica, se han reportado rendimientos superiores a las 9 ton/ha de grano mediante los sistemas de rotación con el uso de leguminosas tropicales (Flores 1992).

La sustentabilidad evidenciada en este trabajo, y los altos rendimientos con menores costos de producción, encuentran una explicación parcial, en las evaluaciones de la severidad del daño radical, la reducida muerte pre- y postemergente y la reducida incidencia de plantas improductivas. La observación más impresionante realizada durante estos años de estudio, se refiere a la diferencia tan marcada en los grados de severidad del daño radical. Como puede verse

**Tabla 2.** Severidad del daño radical a las plantas de maíz, evaluado con base en una escala arbitraria donde 0= a raíz sana y 4 = a raíz escasa y con abundante pudrición.

	CICLO PRODUCTIVO			
	1991	1992	1993	1994
Mucuna-Maíz	0.12	0.00	0.00	0.00
Pueraria-Maíz	1.00	2.00	1.11	0.00
Canavalia-Maíz	2.05	2.35	3.10	2.57
Maíz fertilizado	2.00	2.53	2.38	2.10
Maíz no fertilizado	2.35	2.05	2.23	3.01

**Tabla 3.** Porcentaje de incidencia de muerte preemergente en los sistemas de rotación maíz-leguminosa y maíz monocultivo.

	CICLO PRODUCTIVO	
	1993	1994
Mucuna-Maíz	5.00	5.00
Pueraria-Maíz	2.00	5.00
Canavalia-Maíz	7.20	9.10
Maíz fertilizado	27.2	16.0
Maíz no fertilizado	11.5	38.0

**Tabla 4.** Porcentaje de muerte post-emergente de planta de maíz en los sistemas de rotación maíz-leguminosa y maíz monocultivo.

	CICLO PRODUCTIVO	
	1993	1994
Mucuna-Maíz	43.00	10.00
Pueraria-Maíz	19.50	20.00
Canavalia-Maíz	51.00	17.50
Maíz fertilizado	62.30	16.80
Maíz no fertilizado	61.20	34.50

**Tabla 5.** Porcentaje de plantas improductivas en los sistemas de rotación leguminosas-maíz y maíz monocultivo.

	CICLO PRODUCTIVO	
	1993	1994
Mucuna-Maíz	0.00	2.00
Pueraria-Maíz	0.00	2.00
Canavalia-Maíz	3.00	9.10
Maíz fertilizado	4.11	15.02
Maíz no fertilizado	26.15	43.07

en la tabla 2, los daños a las raíces del maíz, tienen una clara tendencia a incrementarse en los monocultivos y a mantenerse consistentemente bajos en las mejores rotaciones. Por otra parte, los datos de muerte pre- y postemergente de plantas (tablas 3 y 4), así como la incidencia de plantas improductivas (tabla 5), de manera consistente, son más altos en los monocultivos. Estas observaciones permiten señalar la importancia que representa para la estabilidad y sustentabilidad del agroecosistema, el mantener a niveles bajos los daños al sistema de raíces y la carga de patógenos habitantes del suelo, que se refleja en una elevación en la cantidad de muerte de plantas y en plantas improductivas cuando no hay rotaciones con las leguminosas.

Otros factores importantes considerados durante los cuatro años en los que se mantuvo este experimento de rotación leguminosas-maíz en el Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados fueron, la micotrofia (micorrización) y la consecuente disminución en la incidencia de pudrición de raíces del maíz.

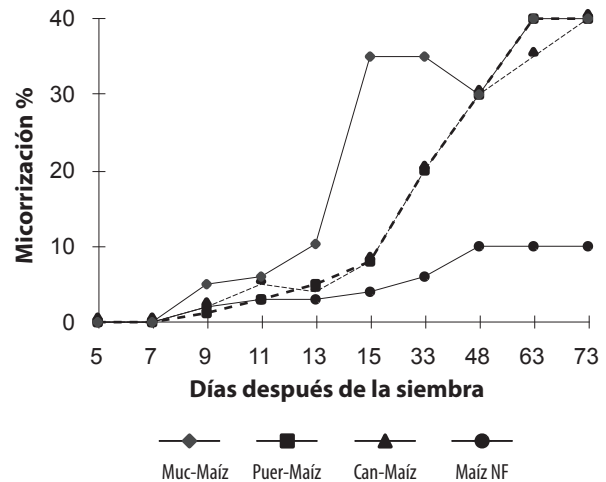
Durante el ciclo de cultivo, "Tonaltmilt" en Primavera de 1997, se colectaron datos sobre micorrización, muerte pre- y post-emergente de plántulas de maíz, daños a las raíces y cambios físicos y químicos del suelo resultantes de las rotaciones.

Se extrajeron 10 plantas por parcela (cuatro repeticiones por tratamiento) de entre las plantas de maíz sembradas ex profeso entre los surcos del maíz para evaluaciones de producción. Este muestreo se realizó cinco días después de la siembra y se repitió cada dos días hasta la muestra número 6 (17 días de edad). A partir de esta fecha, se muestreó cada 15 días hasta el muestreo número 10, que coincidió con el inicio del período de floración (73 días después de la siembra). Las muestras de raíz fueron cuidadosamente lavadas con agua y jabón, y fijadas inmediatamente en FAA (una mezcla de formol, ácido acético y alcohol en agua). El proceso de decoloración, tinción y montaje para observación al microscopio y análisis de estas muestras, se realizó de acuerdo al Manual de Agromicrobiología de Ferrera-Cerrato *et al.* (1993).

Antes de fijar las muestras para el análisis de micorrizas, fragmentos pequeños del sistema radical de las plantas extraídas, fueron sembrados en un medio de cultivo selectivo para Pythiaceos, (harina de maíz-agar-antibióticos), con la finalidad de establecer la posible relación entre porcentaje de micorrización y el de incidencia de *Pythium* spp en las raíces de maíz bajo los distintos tratamientos. Los datos fueron analizados mediante análisis de regresión lineal simple para definir la influencia de la micorrización en la disminución de la incidencia de este patógeno, como un efecto indirecto de las rotaciones, en comparación con el testigo de monocultivo de maíz sin fertilizante.

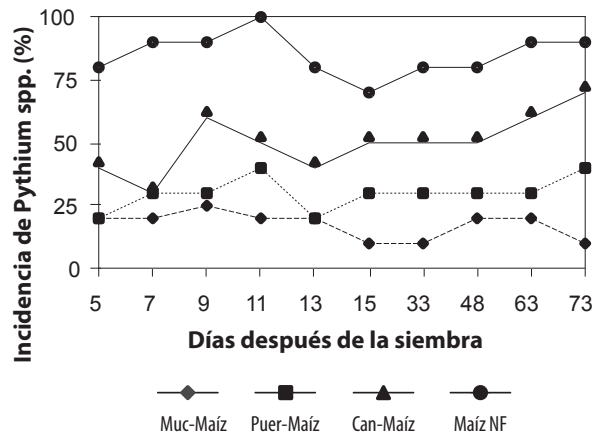
Los resultados evidenciaron una rápida y sostenida invasión de los hongos micorrícicos a las raíces del maíz, en comparación con el monocultivo continuo, sin ferti-

lizar (Fig. 2), en especial, en la rotación con *Mucuna deeringiana*, donde a los 13 días después de la siembra, se observó un 9% de colonización y para el día 15 después de la siembra, un 34%. La rotación con cualquiera de las tres leguminosas, alcanzó un 40% de micorrización a los 73 días después de la siembra del maíz, en contraste con el 10% de colonización en el maíz no fertilizado y sin rotación.



**Figura 2.** Porcentaje de colonización micorrícica en raíces de maíz en distintas fechas bajo tres esquemas de rotación con leguminosas y un testigo sin rotación ni fertilización química.

La invasión rápida de las micorrizas a las raíces del maíz, observada en parcelas experimentales de rotación maíz-leguminosas, bajo diseño experimental con cuatro años de rotación continua, parecen favorecer la protección de la planta en forma indirecta contra los patógenos del suelo, reduciendo los daños a la raíz por *Pythium* spp., en contraste con lo observado en plantas de maíz en monocultivo, que presentaron los más bajos niveles de micorrización (Fig. 3).



**Figura 3.** Porcentaje de aislamiento de *Pythium* spp. de raíces de maíz bajo tres esquemas de rotación con leguminosas y el testigo, maíz sin rotación y sin fertilización química.



El análisis de regresión lineal simple entre el porcentaje de invasión micorrícica y el porcentaje de colonización de las raíces del maíz por fitopatógenos del suelo, mostró que a medida que la invasión por micorrizas a la raíz del maíz aumenta, la frecuencia de la colonización por fitopatógenos radicales disminuye. El cálculo de la pendiente para cada uno de los tratamientos mostró que a pesar de que todos los tratamientos que incluyen rotación presentaron valores de regresión significativos, el tratamiento que evidencia la relación negativa más intensa entre la micorrización y la incidencia de fitopatógenos, fue la rotación *Mucuna*-maíz; es decir, cuando la invasión por micorrizas aumenta, la incidencia de fitopatógenos decrece significativamente. En el caso del monocultivo maíz sin fertilizante, a medida que la incidencia de fitopatógenos se incrementa, la invasión por micorrizas es significativamente reducida.

La invasión masiva de las micorrizas al maíz en los sistemas de rotación, según este análisis, parece condicionar una incidencia reducida de *Pythium* spp en la raíz; mientras que los niveles más altos de incidencia (90%) correspondieron a los monocultivos de maíz (Fig. 3).

Es posible que al corte de las leguminosas (durante el chapeo), aunque la parte aérea tienda a morir rápidamente por la deshidratación, la muerte y destrucción de la parte subterránea, tome, desde algunos días, hasta varias semanas.

La invasión de micorrizas a las raíces del maíz, puede ser considerada como consecuencia de más de cuatro años de rotación con leguminosas. Estos resultados son explicados por la presencia de las micorrizas en los sistemas que incluyen rotación desde los primeros días de muestreo, observándose un incremento de la incidencia de estos organismos a medida que se incrementaba el desarrollo de las plantas de maíz. También es sabido que en la invasión micorrícica, los mecanismos que confieren protección a las raíces contra fitopatógenos del suelo, pueden ser: la producción de barreras físicas y químicas. Las físicas, mediante la formación de una malla de hifas, vesículas y arbusculos en el tejido cortical de la raíz. Las barreras químicas involucran producción de antibióticos por el simbiote, inducción de respuestas del hospedante (producción de fitoalexinas), alteración de exudados químicos tanto del simbiote como del hospedante y la inducción protectora de la población microbiana de la rizosfera (Perrin 1990, Marx, 1972). También induce una variedad de respuestas contra los patógenos del suelo, principalmente acumulación de materiales fenólicos y terpenos, que no permiten el desarrollo de los patógenos en la superficie de las raíces; además, los hongos micorrícicos inducen un incremento en la actividad de las células del hospedante formando una barrera de peroxidasas y quitinasas, así como acumulación de una gran cantidad de fitoalexinas, sustancias fenólicas y cianoglucósidos, durante la

asociación. La respuesta del hospedante puede jugar un papel muy importante en la regulación de la simbiosis y la naturaleza del mismo, ya que ocurre acumulación de proteínas y otras sustancias tanto en el hongo como en el hospedante condicionando la compatibilidad micorrícica (Ferrera-Cerrato *et al.* 1993).

Aunque son escasos los estudios que describen la importancia de las micorrizas sobre el abatimiento de fitopatógenos del suelo en sistemas de rotación con leguminosas, existen trabajos como el reportado por Granados *et al.* (1990) donde demuestran que las leguminosas *Mucuna* y *Pueraria*, reducen considerablemente los niveles de pudriciones radicales del maíz después de varios ciclos de rotación; en tanto Quiroga *et al.* (1992), encontraron que en el sistema de rotación *Mucuna*-maíz-calabaza, el patosistema edáfico de ese agroecosistema, no afecta la productividad del maíz. Estos resultados coinciden con Granados *et al.* (1990), después de cuatro ciclos de rotación leguminosas-maíz en el trópico húmedo de México. Similares resultados han sido reportados en Cuba por Guiberteau y Labrador (1992), donde afirman que el abatimiento de las poblaciones de *Pythium* y *Fusarium* en las raíces de maíz en los tratamientos con rotación, puede estar influenciada por la rotación leguminosas-maíz, siendo la cantidad de materia orgánica formada por las leguminosas, determinando en el un equilibrio del suelo donde los fitopatógenos *Pythium spp* y *Fusarium spp.* causan daños reducidos. Este estudio, enfocado a observar (por métodos indirectos) la dinámica del proceso de colonización micorrícica, documenta la rápida invasión del maíz por las micorrizas como consecuencia de la rotación y evidencia la reducción de la incidencia de fitopatógenos del suelo.

#### **ESTABILIDAD: Supresividad de suelos** **Concepto de supresividad de suelos a enfermedades de la raíz**

Si bien a nivel comunidad, en ecología, la atención se centra en las interacciones entre especies, en el estudio de las enfermedades con origen en el suelo y bajo un enfoque holístico, el interés debe centrarse en la propiedad de algunos suelos de suprimir ciertas enfermedades.

La supresividad de enfermedades de la raíz, es un concepto holístico que implica un cierto balance en la ecología del suelo que proporciona estabilidad de su productividad, en razón de la ausencia o del impacto reducido de enfermedades que normalmente podrían ser destructivas bajo ciertas condiciones de una región y en un cultivo dado. Se inspira en la propiedad de homeostasis de los ecosistemas estables, es decir, en su propiedad de resistir a la introducción de especies foráneas y a otros cambios. Este fenómeno se observó desde principios de siglo pasado y, seguramente, ha servido

para estimular la curiosidad científica de fitopatólogos y microbiólogos acerca de estos suelos en ellos se observa la ausencia o daños reducidos de una enfermedad, a pesar de la presentación del hospedante susceptible, el patógeno (así sea de introducción reciente) y las condiciones apropiadas para su ocurrencia y daños. Sin embargo, ha sido notoria la falta de un marco científico apropiado para el desarrollo de la investigación sobre este tema (Gabriel y Cook 1990.)

Un suelo supresor es aquél en el que un patógeno no puede establecerse, o donde se establece pero causa daños mínimos, o donde a pesar de establecerse y causar daños severos, éstos disminuyen con el monocultivo continuo. Así, cuando existen condiciones apropiadas para que en un determinado agroecosistema exista una enfermedad con origen en el suelo, pero su incidencia y daños estén ausentes o su expresión sea mínima, se dice que el "potencial de enfermedad" de ese suelo es mínimo, debido que existe la posibilidad de que se trate de un suelo supresor a esa enfermedad. Si el patógeno es entonces introducido artificialmente a ese suelo y aún así la enfermedad no se presenta, o se presenta con muy baja intensidad, se dice que el suelo en cuestión es supresor a ese patógeno en particular. Varios investigadores han documentado además, que en ocasiones, un patógeno puede ser introducido, establecerse en el suelo y causar severos daños al hospedante susceptible, pero que éstos, disminuyen con el monocultivo continuo (Hornby 1979, Huber y Shneider 1982).

Aunque en general se admite que en los ecosistemas naturales bien balanceados, aquellos que no han sido perturbados por la intervención humana, es normal encontrar suelos supresores, su transformación a agroecosistemas implica cambios estructurales tan drásticos que se incrementa rápidamente el potencial de enfermedad por la destrucción de la capacidad supresora de los suelos. Tal vez por esta razón, Broadbent y Baker (1975), afirman que para que *Phytophthora cinnamomi* causara daños severos en Australia, el suelo de los ecosistemas naturales debió ser profundamente perturbado. Sin embargo, también ha sido reconocido que en suelos con un largo historial agrícola, suele estar presente la supresividad a determinados patógenos. Por ejemplo, se sabe que durante la colonización de Estados Unidos y Australia, el problema del "cansancio" de los suelos abiertos recientemente a la agricultura, caracterizado por severas epidemias de enfermedades con origen en el suelo, forzó a la emigración hacia el Oeste; pero que éste problema, dejó de serlo cuando los agricultores no tuvieron más remedio que permanecer en sus parcelas. Es decir, se observó recuperación en la productividad de esos suelos cansados, debido a la disminución en los daños de ciertas enfermedades, aunque esto requirió periodos largos de monocultivo continuo y no fue el caso para todas las enfermedades (Thurston 1992).

Lo anterior, parece indicar que es posible el surgimiento de un nuevo balance en el ecosistema suelo que permite la convivencia de ciertos hospedantes con sus patosistemas edáficos. El problema es definir qué tan largo debe ser ese período de monocultivo continuo y si realmente es un período que los agricultores puedan soportar.

El surgimiento de ese nuevo balance mediante el monocultivo continuo, ha sido ampliamente documentado para las regiones templadas y frías, donde el tema ha sido considerado como el paraíso de los teóricos (Hornby 1979). Para las regiones tropicales, sin embargo, donde las enfermedades con origen en el suelo son verdaderamente devastadoras y donde es urgente el desarrollo de ese nuevo balance, no parece ser con el monocultivo continuo no parece ser la opción; estas requieren el desarrollo de estrategias de agricultura más complejas, que desarrollen secuencias de cultivos o policultivos para lograr el establecimiento de ese nuevo balance (Gliessman 1990).

### **El componente biológico del suelo**

La esterilización por calor, fumigación, radiación, o cualquier otro medio, al eliminar el componente biológico del suelo, en la mayoría de los ejemplos conocidos, elimina por completo a la supresividad (Hornby 1983). Es por tanto el componente microbiano de los suelos el responsable de la supresividad. Se ha demostrado que la adición de pequeñas cantidades del suelo no esterilizado al esterilizado, se recupera la supresividad (Baker y Chet 1982), aunque también esto puede lograrse, con la adición de algunos componentes de la microflora original, aislados con el propósito de inducir una recolonización al suelo esterilizado; es decir, no siempre es necesario reintegrar toda la flora original para lograr restablecer la supresividad (Cook 1982). Existen algunos ejemplos de supresividad condicionada por otros factores edáficos distintos a la microflora, pero en general, esta supresividad tiene menor intensidad.

### **La fungistasis del suelo**

El fenómeno de fungistasis del suelo, presente en prácticamente todos los suelos que contengan vida microbiana activa, caracterizado por la no-germinación de esporas, y el no-crecimiento del micelio de muchas especies de hongos, pese a la aparente presencia de condiciones adecuadas para que la germinación ocurra, parece estar estrechamente relacionado a la supresividad del suelo a ciertas enfermedades. Pero no es sólo debido a la capacidad de fungistasis del suelo, sino a la capacidad de mantener la fungistasis, pese a cambios importantes en el ambiente del suelo como pueden ser la aplicación de fertilizantes químicos o la presencia misma de exudados de raíces de los cultivos que, al suplementar un nutrimento

to sujeto a competencia, en los suelos supresores no son suficientes para permitir que la fungistasis deje de operar. Así, la supresividad documentada de los suelos de Chinampa de Xochimilco en México y de "popal" en Tabasco, parece estar asociada con una mayor fungistasis del suelo. La reducción de la germinación de oosporas de *Pythium aphanidermatum* es un claro ejemplo de dicha fungistasis, (Lumsden *et al.* 1990).

### **La complejidad de la estructura y el comportamiento del ecosistema suelo**

La supresividad, puede ser considerada como parte de la capacidad de homeostasis del ecosistema, es decir, de su resistencia al cambio; resistencia que impide o frena la introducción o el éxito de una especie foránea. En general se ha observado que los ecosistemas estables, aquellos con fuerte homeostasis, se caracterizan por su elevada complejidad tanto estructural como de comportamiento de las especies que en él interactúan. Es probable que la supresividad a cierta especie de patógeno, observada en ecosistemas naturales, se deba a esa elevada complejidad; mientras que en condiciones en las que la supresividad se observe en agroecosistemas de largo historial, la supresividad podría ser el resultado de un tipo de selección dirigida, en un sistema regulado por la densidad, donde una especie que alcanza proporciones acrecentadas en su población (como es el caso de algunos patógenos de la raíz), estimula el crecimiento de poblaciones de organismos específicos que le son antagonicos (Huber y Shneider 1982).

#### **1. La supresividad de suelos puede ser transferida**

La posibilidad de que la supresividad pueda ser transferida a suelos con elevado potencial de enfermedad, ha sido una idea muy provocativa de quienes han trabajado extensamente con el concepto de supresividad (Baker y Cook 1974); sin embargo, debido a la homeostasis natural del suelo, la introducción de una microflora ajena a un suelo dado, tiene posibilidades muy limitadas de establecerse, y sólo en situaciones muy particulares, la supresividad ha podido ser introducida para abatir el potencial de enfermedad. Tal es el caso del control de *Phytophthora palmivora* en papaya en Hawaii, en donde el total del suelo del cajete en el que se cultiva la papaya es sustituido por suelo nuevo (Huber y Schneider 1982; Ko 1971, 1982).

#### **2. La supresividad de suelos puede ser inducida**

Resulta muy atractiva la posibilidad de transformar a un suelo altamente conductivo (favorable), al desarrollo de una epidemia del sistema de raíces de un cultivo agrícola dado, a un suelo supresor; es decir en un suelo donde la enfermedad cause daños escasos. Más adelante se presentan ejemplos donde los cambios ejercidos al sistema resultan en una supresividad indu-

cida, como el caso del sistema Ashburner de manejo del cultivo del aguacate en Australia, o el caso del sistema Colegio de Postgraduados de manejo del aguacatero en México. En todos los casos, son los profundos cambios ejercidos a la estructura del sistema, los que logran inducir la supresividad del suelo, frenando las devastadoras epidemias.

#### **3. La supresividad de suelos puede ser eliminada**

La transformación de los ecosistemas naturales a agroecosistemas, induce profundos cambios en la estructura y funcionamiento de la ecología del suelo, que se manifiesta como una pérdida en su capacidad de suprimir (homeostasis) enfermedades de patógenos de la raíz presentes o introducidos. Esto ha resultado en la amarga experiencia de tener que abandonar la tierra por el "cansancio" de los suelos que resulta en una productividad reducida, económicamente no redituable.

En algunos sistemas agrícolas tradicionales, es frecuente observar que la introducción de prácticas modernas que pretenden maximizar, y no optimizar la producción, las que destruyen la supresividad de los suelos. Así, en el suelo de algunas chinampas en Xochimilco, donde desde hace varios años se han adoptado prácticas como la fertilización con químicos sintéticos y el control de plagas y enfermedades con pesticidas, la supresividad contra especies de *Pythium*, y *Rhizoctonia solani* ha desaparecido, por lo que estos patógenos pueden actualmente causar severos daños a los cultivos en muchas parcelas.

### **Caracterización de suelos supresores en México**

Existen en el mundo numerosos ejemplos de suelos con capacidad supresora, tanto natural como inducida (Rodríguez y Kokalis 1997). En México se ha documentado la naturaleza supresora de los suelos del agroecosistema Chinampa, del área de Xochimilco, en la Mesa Central del país. En estos se demostró su naturaleza supresora contra *Pythium aphanidermatum* (García 1994, Lumsden *et al.* 1981, 1990), y contra nematodos del género *Meloidogyne* (Rodríguez y García 1983; Rodríguez *et al.* 1992; Zuckerman *et al.* 1989). También contra la misma especie de *Pythium*, se demostró supresividad de suelos del sistema de producción de maíz llamado Popal, en el estado de Tabasco (García *et al.* 1994, García 2007). Recientemente, se demostró también la naturaleza supresora de los suelos de chinampa contra *Rhizoctonia solani* (García 2007).

La ausencia o escasa presencia de pudrición de tubérculos de papa en la región del Valle de Toluca, ha llamado la atención tanto de especialistas del cultivo como del agente causal del tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Torres (1991), como parte de su trabajo de tesis de maestría en el Colegio de Postgraduados, mediante un sencillo método experimental, demos-



tró la naturaleza supresora de los suelos del Valle de Toluca, contra la pudrición de tubérculos. Extrajo para ello muestras de suelo, de la capa arable y después de mezclarlas uniformemente, dividió la muestra completa en dos partes. Una parte la esterilizó con vapor y la otra no. Colocó una capa de aproximadamente 1 cm de espesor de uno u otro tipo de suelo, sobre rodajas de papa de 2 cm de grosor, a las que se había permitido suberizar previamente. Sobre ambos suelos (colocados sobre las rodajas de papa), se agregaron zoosporas del hongo suspendidas en agua, colocando 10 gotas de la suspensión por rodaja. Para cada tratamiento, se consideraron 10 repeticiones, las rodajas se mantuvieron en cámara húmeda por 48 h. Al remover el suelo y lavar la superficie expuesta de las rodajas al suelo y el inóculo, se pudo apreciar la presencia o ausencia de pudrición, encontrando que ésta, estaba presente en el 100 % de las rodajas que tuvieron suelo esterilizado, mientras que las rodajas cubiertas con suelo natural presentaron cero % de la infección.

La supresividad fue recobrada experimentalmente, cuando al suelo esterilizado, se adicionó, separadas, cualquiera de las 20 cepas bacterianas probadas, mismas que habían sido aisladas y purificadas por su antagonismo *in vitro* a *P. infestans*.

### **Inducción a la supresividad (control biológico) en suelos agrícolas en México**

Se describen brevemente dos ejemplos de inducción a la supresividad en suelos agrícolas en México. El primero es el sistema Colegio de Postgraduados para el control de *Phytophthora cinnamomi* en aguacatero y el segundo, el de complejidad ascendente de antagonistas para inducir supresividad a enfermedades de la raíz.

#### **1. Inducción de supresividad a la pudrición de la raíz en agroecosistemas de aguacatero en México**

La pudrición de la raíz o "tristeza" del aguacatero, es la enfermedad más destructiva de este cultivo a nivel mundial (Zentmyer 1980). Es una enfermedad inducida por el hongo *Phytophthora cinnamomi*, que ha sido devastadora en México, causando la desaparición de este cultivo en regiones enteras (Mora *et al.* 2000).

Por ser una enfermedad con origen en el suelo, es de naturaleza compleja, en virtud de que en el suelo está siempre presente una amplia gama de microorganismos que interactúan con el patógeno, favoreciendo o reduciendo su actividad parasítica. A su vez, esta interacción y la del patógeno con el hospedante, son afectadas por las condiciones edáficas, mismas que difieren de lugar a lugar. Por ello resulta muy difícil hacer generalizaciones válidas respecto al funcionamiento de este patosistema del aguacatero. Con frecuencia, aún los tratamientos al suelo que implican el uso de métodos de esterilización, recaen en la incertidumbre, pues

su efecto es efímero y los daños del patógeno regresan con más fuerza, con el agravante de que no pueden ser aplicados con el cultivo en pie pues por su naturaleza de esterilizantes, eliminarían al cultivo; por esta razón, en general, sólo es posible aplicarlos antes de la siembra y sólo para el manejo de viveros.

Otros métodos químicos no se pueden aplicar o resultan inefectivos en el control de patógenos que, como en el caso de *P. cinnamomi*, producen abundantes estructuras de resistencia que difícilmente resultan afectados por los compuestos químicos comúnmente usados, sobre todo una vez dentro de los tejidos del huésped. Por otra parte, los compuestos químicos usados en los intentos de manejo de este patógeno, no logran alcanzar las profundidades hasta exploradas por las estructuras de resistencia, por lo que su protección posicional es infalible. Los compuestos no alcanzan al patógeno, pero las raíces sí, en el curso de su desarrollo. Se han encontrado compuestos que logran una elevada efectividad, aunque de duración breve pues se dice que el patógeno desarrolla resistencia por lo que la enfermedad reincide.

Se ha descrito ampliamente (Baker y Cook 1974, Cook y Baker 1983, Erwin y Ribeiro 1996, Huber y Schneider 1982) un sistema de manejo de la enfermedad desarrollado por un agricultor en Australia, al que se denominó sistema "Ashburner" en reconocimiento a ese agricultor. Este emplea ciertos modificadores orgánicos y cultivos de cobertera dentro de las plantaciones de aguacate en Queensland y New South Wales, Australia. Se siembra *Lupinus* en el Otoño (marzo-abril), el cual es incorporado, en floración, con discos en la Primavera (octubre-noviembre) adicionando 4 Ton<sup>-1</sup> ha. de gallinaza, además de fertilizante químico y carbonato de calcio, cuando el pH del suelo es menor a 6.0. Se siembra de inmediato, una mezcla de *Lablab purpureus* y maíz o sorgo a alta densidad la cual es incorporada con discos en el Otoño, adicionando 4 Ton<sup>-1</sup> ha. de gallinaza y una dosis complementaria de fertilizante químico, sembrando de inmediato el *Lupinus* y así se repite continuamente el ciclo. Sobre este sistema, se han publicado algunos trabajos clásicos que ilustran los mecanismos de la supresividad y que han demostrado que ésta, puede ser inducida (Broadbent *et al.* 1971, Broadbent y Baker 1975).

En la década de los años ochenta, un amplio grupo de profesores y estudiantes del Colegio de Postgraduados en México, desarrollaron un programa de investigación sobre el manejo integrado de la tristeza del aguacatero, en la región de Atlixco, Pue., cuya meta fue lograr la convivencia del patógeno (*Phytophthora cinnamomi*) y el cultivo del aguacatero, mediante la inducción de supresividad del suelo. El proyecto culminó con el desarrollo de una estrategia de manejo de la enfermedad tan efectiva que ha permitido la visión optimista de que en el futuro, esta enfermedad no será ya el grave problema

que ha sido hasta ahora. Esta estrategia obligó al cambio de visión de manejo de una enfermedad a la visión de manejo del agroecosistema.

## 2. El sistema del Colegio de Postgraduados para el manejo de la tristeza del aguacatero: Experimentos de manejo integrado

Observaciones personales del autor en el estado de Veracruz, señalaban que el ataque de la tristeza del aguacatero dejaba de ser problema con la aplicación de dosis elevadas de estiércol bovino fresco alrededor del tallo y en la zona de goteo de árboles con síntomas incipientes. Se establecieron entonces dos experimentos para el manejo de la tristeza, denominados "Quiroz" y "Bougambilias": a ser manejados bajo una perspectiva holística (Franco *et al.* 1991, Mora *et al.* 1988, Rodríguez *et al.* 1992 y Valenzuela *et al.*, 1985). Se introdujeron profundos cambios estructurales al agroecosistema, es decir, a la forma en que comúnmente era manejado en la región de Atlixco, en el Edo. de Puebla.

### Los cambios al sistema

En el primer experimento (Quiroz), se estableció un sistema de riego individualizado para cada árbol, bajo el llamado riego en "espina de pescado"; para ello se construyó un cajete a cada árbol, del tamaño de la zona de goteo (4 a 6 metros de diámetro), removiendo raíces enfermas y suelo infestado con el patógeno. Con ese suelo, se conformó el cajete para riego individualizado. En el segundo experimento (Bougambilias), además de todo lo anterior, los árboles fueron severamente podados (poda de rejuvenecimiento), dejando los troncos de aproximadamente 1.4 m de altura y prácticamente sin copa. Para inducir la supresividad al suelo contra *P. cinnamomi*, fue necesario un cambio estructural al suelo, que consistió para ambos experimentos, en rellenar los cajetes con estiércol bovino fresco en altas dosis (Téliz *et al.* 1990), o con las mezclas de éste y paja de alfalfa o un fungicida selectivo contra el patógeno (Rodríguez, *et al.* 1992). El ingrediente esencial de este trabajo, fue el rastreo de las poblaciones de *P. cinnamomi*, así como de la microflora asociada en busca de explicaciones al comportamiento de la enfermedad, frente a los cambios ecológicos inducidos al sistema (Damián y García 1994, Mora *et al.* 1987, Rodríguez *et al.* 1992).

Los tratamientos establecidos en el huerto comercial "Quiroz" fueron: Testigo (sin modificaciones), con aplicación de elevadas dosis de estiércol bovino fresco, con aplicación de un fungicida selectivo para especies de *Phytophthora* (Metalaxyl) y con la combinación de ambos, estiércol y fungicida. Para el Huerto Bougambilias, se establecieron ocho tratamientos experimentales: a. estiércol bovino fresco, b. Metalaxyl, c. paja de alfalfa, a + b, a + c, b + c, doble testigo (sin modificación alguna al manejo de los árboles) y testigo simple (poda, cajeteo y riego individualizado, pero no aplicaciones al suelo).

Sólo se dio seguimiento a la dinámica poblacional de *P. cinnamomi*, de otros Pythiales y se relacionó con el peso de raíces.

### Teoría de la complejidad para explicar los resultados observados

La inducción de supresividad de los suelos a la pudrición de raíces producto de esta investigación, encuentra su fundamento en la aplicación de algunos principios que deben tomarse en cuenta cuando se pretende entender y manejar la complejidad y que mencionan Briggs y Peat (1989):

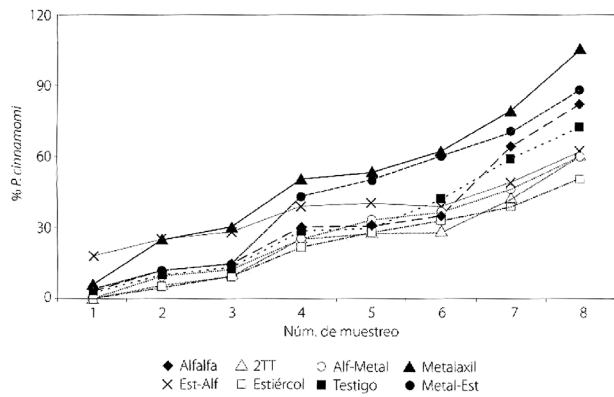
- Para cambiar un sistema, siempre hay que cambiar su estructura.
- En todo sistema, hay sólo unos cuantos atrayentes (puntos de regulación o de control) donde el hombre puede intervenir para producir cambios significativos en el comportamiento del sistema.
- Ni los atrayentes, ni el modo correcto de influir en ellos para obtener los resultados deseados suelen ser obvios.
- Cuanto más complejo sea el sistema, más lejos estarán la causa y el efecto entre sí tanto en espacio como en tiempo.
- Después de definir unos cuantos ciclos de retroalimentación, se vuelve difícil predecir la conducta de un sistema.
- El resultado de un cambio "atinado" suele ser peor de lo esperado, por lo que, todo cambio que produzca resultados mejores a corto plazo, debe causar suspicacia.

El manejo exitoso de la tristeza del aguacatero logrado por el equipo interdisciplinario del Colegio de Postgraduados atestiguó cada uno de estos principios. Fue necesario cambiar tanto la estructura global del sistema de cultivo (podas severas, cajeteo, riego individualizado), hasta la estructura misma del suelo (incorporación de dosis elevadas de estiércol bovino y paja de alfalfa). No fueron obvios los atrayentes del sistema complejo, es decir los puntos en los que es posible intervenir para modificar su comportamiento, aunque fue posible influir positivamente en el abatimiento de la incidencia y daños del patógeno. Los análisis de correlación múltiple confirmaron que cuánto más complejo sea el sistema, más lejos estarán la causa y el efecto entre sí, tanto en espacio como en tiempo, ya que no fueron frecuentes las correlaciones entre los distintos componentes evaluados de la microbiota del suelo.

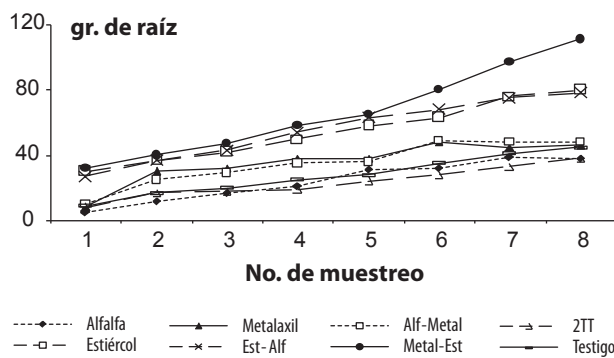
### Algunos resultados relevantes de los experimentos de manejo integrado

Los últimos dos principios citados por Briggs y Peat (1989) sobre el entendimiento y manejo de la compleji-

dad, se evidenciaron muy claramente con el experimento del huerto Bougambilias. Se pueden definir los ciclos de retroalimentación que regulan algunos de los componentes del patosistema edáfico del aguacatero, pero pronto, el funcionamiento del patosistema se vuelve impredecible. Por fortuna, fue posible dar seguimiento a la fluctuación poblacional de *P. cinnamomi*, lo que permitió observar, por métodos indirectos, que la población del patógeno empezó a dispararse, sobre todo en los tratamientos con Metalaxyl, donde se esperaba el mejor control del patógeno. Algo similar se observó en el huerto Quiroz, donde el incremento en la población de este patógeno, condicionó la muerte de varios árboles tratados con el fungicida. En cambio, los tratamientos que incluyeron estiércol, al parecer, lograron un balance de mayor duración y, aunque *P. cinnamomi* también tendió a aumentar su incidencia, con el tiempo, disminuyó significativamente y repercutió positivamente en la producción de raíces (Figs. 4 y 5).



**Figura 4.** Porcentaje acumulado de incidencia de *P. cinnamomi* en raíces de aguacate bajo distintos tratamientos experimentales en 8 fechas de muestreo en los años 1989 – 1990, Huerto Bougambilias, Atlixco, Pue.



**Figura 5.** Peso acumulado de raíces de aguacatero bajo distintos tratamientos experimentales, en 8 fechas de muestreo en los años 1989 – 1990, Huerto Bougambilias, Atlixco, Pue.

La incidencia de la enfermedad aumentó en el huerto Bougambilias con el paso del tiempo y en la medida

en que los tratamientos no fueron ya aplicados, resultó en la muerte de numerosos árboles, pese a su portentosa recuperación (Fig. 6). Esto, en apariencia, demuestra que el resultado de un cambio “atinado” suele ser peor de lo esperado, por lo que el éxito a corto plazo debe causar suspicacia. El experimento Bougambilias duró alrededor de cinco años, período en el que se pudo confirmar la bondad de los tratamientos. La clave del éxito de este trabajo, fue la posibilidad de rastrear la incidencia del patógeno, ya que esto, permitió definir la necesidad de repetir los tratamientos y ampliar el tiempo de observación, repetibilidad que no fue ya posible puesto que experimento tuvo que ser abandonado. Sin embargo el rastreo de la población del patógeno (punto de regulación o de control de la mayor importancia) redujo la incertidumbre, ya que siempre fue posible seguir el comportamiento de patógeno por métodos indirectos, y por tanto, fue posible predecir el comportamiento del sistema como un todo. De hecho, para Mora *et al.* (2000), el estiércol sólo o con alfalfa, logró estabilizar el patosistema a través del tiempo, abatiendo la incidencia y daños de *P. cinnamomi*, además de mejorar el estado nutrimental de los árboles, favorecer el porcentaje de micorrización y aumentar las poblaciones de antagonistas. De acuerdo a estos autores, tal vez el mérito



**Figura 6.** Árbol de aguacate recuperado del ataque de la pudrición de raíces por *P. cinnamomi*, gracias a los cambios inducidos con el sistema Colegio de Postgraduados para el manejo de la tristeza del aguacatero, en Atlixco, Pue.



principal del trabajo en el huerto Bougambilias fue el de que permitió proponer modelos epidemiológicos de manejo de la enfermedad, para determinar con precisión la oportunidad de la aplicación de los tratamientos al sistema y describir con detalle, la dinámica de mineralización de la materia orgánica.

### La calidad de la investigación

Lo descrito sobre el manejo integrado de la tristeza del aguacatero es una visión somera, ya que en el período de 10 años que duró el estudio, se realizaron alrededor de 25 trabajos de tesis, en su mayoría de maestría y algunos pocos de licenciatura. La abundante información generada resulta difícil de interpretar, sobre todo cuando se busca conjugarla para establecer generalizaciones válidas. En el desarrollo del trabajo, el establecer generalizaciones válidas, fue un reto y estímulo constante para todos los que participamos en el proyecto y sobretodo, fue fuente de entrenamiento para aprender a hacer las preguntas correctas a la naturaleza. Tal vez la mejor medida de la calidad de la investigación fue que generó más preguntas que las que logró contestar, y una cierta noción de que entre más sabemos, más ignoramos. Fue muy clara la percepción de la naturaleza compleja del fenómeno que se estaba manejando, y el ineludible grado de incertidumbre de la investigación cuando se enfoca a los más altos niveles de la organización del sistema.

### El éxito en el manejo integrado de la enfermedad

La recuperación portentosa de los árboles (Etchevértz *et al.* 1989, Mora *et al.* 1987, 1988), con la simple aplicación de las elevadas dosis de estiércol bovino, o su mezcla con alfalfa, fue uno de los logros más importantes de este proyecto (Fig. 6). El efecto, sin embargo, no fue debido en exclusiva al abatimiento de la incidencia y daños de la pudrición de raíces, pero es indudable que el lograr un sistema radical saludable, contribuyó a mejorar todos los aspectos del cultivo conduciendo a una mayor productividad.

La inducción de supresividad del suelo contra *P. cinnamomi* lograda en estos trabajos, ofrece la posibilidad de un manejo efectivo y eficiente de la enfermedad; es decir, la enfermedad es ahora manejable y su presencia no implica el desahuciar a los árboles afectados, como lo fue en el pasado en diversas regiones productoras del país.

### El reconocimiento en México a esta investigación

A la investigación titulada globalmente "Manejo integrado de la tristeza (*Phytophthora cinnamomi*) del aguacate en México", le fue otorgado el denominado Premio Nacional de Investigación en Alimentos 1988, por el Gobierno Mexicano, un reconocimiento a todos los partici-

pantes y a su determinación de seguir un enfoque holístico en la resolución de un problema específico, pero de gran relevancia en un importante cultivo.

Un mérito adicional que debe reconocérsele es que su desarrollo, determinó un cambio de enfoque, del aún limitado manejo integrado del patosistema edáfico de *P. cinnamomi* en aguacate, al más holístico y lógico de manejo integrado del cultivo, lo cual propició el surgimiento del llamado grupo de investigación interdisciplinario del aguacatero (GIIA), (Téliz 2000), que es ya bastante más cercano al enfoque de manejo de agroecosistemas.

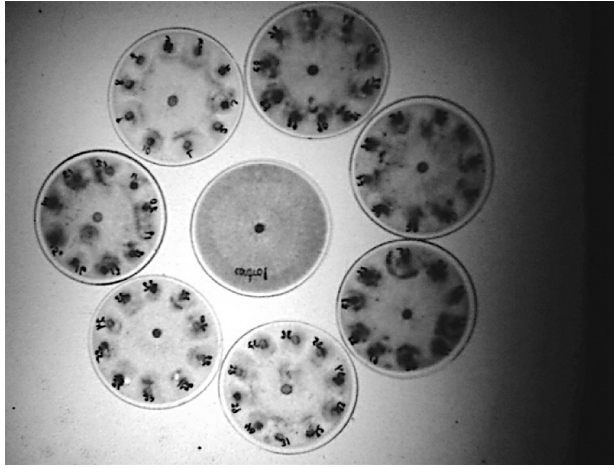
### La aplicación en México del Sistema Colegio de Postgraduados (CP) para el manejo de la tristeza del aguacatero.

Lo atinado de los cambios inducidos al sistema, sobre todo si estos cambios fueron evaluados a corto plazo, debe causar suspicacia. Esta suspicacia parece originarse en los propios productores pues, pese a que los participantes en este proyecto estamos convencidos de que se desarrolló una estrategia efectiva y eficiente de manejo integrado de la tristeza del aguacatero, se enfrentan dificultades para ser de uso generalizado. De hecho, el grupo probó la aplicabilidad del sistema C. P. generado en la región de Atlixco, Pue., en el Edo. de Michoacán, mostrando un incremento de 32% a la producción y un ahorro del 48% en el consumo de plaguicidas, comparados con los testigos bajo manejo regional.

Para difundir su adopción, en el año de 1999, el llamado Grupo Interdisciplinario del Aguacatero, organizó un diplomado con duración de enero a octubre, dos días completos al mes, sobre el manejo integrado del cultivo, con énfasis en el manejo de los problemas parasitológicos, mismo que concluyó con un día de demostración, en la Huerta "El Durazno", de la Comunidad San Juan Nuevo, Michoacán. En ambas acciones se tuvo numerosa concurrencia, pero no se tiene información aun sobre el grado de adopción de la tecnología expuesta.

### ESTABILIDAD: Inducción de supresividad mediante el incremento a la complejidad microbiana de antagonistas.

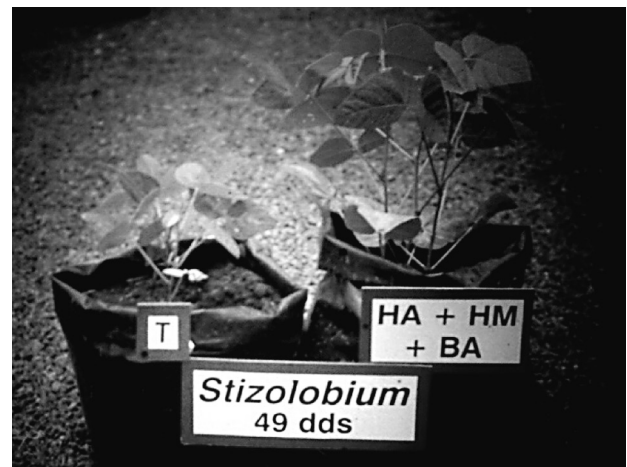
Un intento deliberado de inducir complejidad creciente, consistió en emplear grupos de organismos antagónicos de entre los aislados como antagonistas a *R. solani* de suelos de chinampa (Fig. 7). En jarras conserveras, se esterilizó suelo de Chapingo (1 kg/frasco), sometiéndolo por cuatro horas, en cada uno de dos días consecutivos, a 15 libras de presión en autoclave. Se establecieron tres grupos de seis aislamientos: HA, hongos con capacidad antibiótica; HM, hongos con ca-



**Figura 7.** Antagonismo a *R. solani* por parte de microorganismos aislados de suelo de chinampas de Xochimilco. La caja Petri del centro, es el testigo, sin antagonismo.

pacidad micoparasítica; BA, bacterias con capacidad antibiótica. Se dejaron desarrollar las poblaciones de estos aislamientos de microorganismos por espacio de 6 semanas en los frascos conservadores, al cabo de las cuales, se estableció un experimento. Este consiste en sembrar en vasos de unicel conteniendo 250 g de estos suelos y sus posibles combinaciones, semillas de *Mucuna deeringiana* con el propósito de hacerlas germinar y que sus raíces, fueran colonizadas por los distintos complejos de antagonistas para, posteriormente, ser trasplantadas a suelo artificialmente infestado con el hongo patógeno *Fusarium oxysporum f.sp. radialis lycopersici* (Forl). Los suelos en los que se hicieron germinar las semillas contenían entonces los complejos de antagonistas siguientes: HA, HM, BA, HA+HM, HA+BA, HM+BA, y HA+HM+BA. Se incluyeron también tres testigos: a.- un testigo en el que las semillas de la leguminosa fueron sembradas en suelo esterilizado, sin antagonistas, pero trasplantadas a suelo con Forl, b.- un testigo que no incluyó la siembra de la leguminosa pero si la infestación del suelo con Forl y c.- un testigo que no incluyó la siembra de la leguminosa y que no fue infestado con Forl. Este experimento incluyó entonces complejos de seis, 12 y hasta 18 antagonistas. A todos los tratamientos se adicionó suelo natural de Tabasco, al momento de la siembra de las semillas de la leguminosa, en proporción 1/1000 (peso/peso), con el objeto de que estuvieran presentes las micorrizas y la bacteria simbiótica fijadora de nitrógeno del género *Rhizobium*.

Las plántulas de *M. deeringiana* fueron trasplantadas a macetas conteniendo 4 k de suelo artificialmente infestado del patógeno Forl, donde desarrollaron por espacio de 4 meses, antes de ser cortadas a nivel del suelo, y picada finamente la parte aérea de las plantas, dejando este residuo encima del suelo. En estas macetas fueron trasplantadas 5 plántulas de jitomate de la variedad Río Grande, haciendo una horadación en el suelo para cada planta y sobre el rastrojo de la leguminosa, excep-



**Figura 8.** Reacción estimuladora al vigor de *M. deeringiana* por parte de los microorganismos antagónicos, la cual se mantuvo hasta el corte de la leguminosa, previo al trasplante del jitomate.

to para un testigo adicional, que no incluyó la siembra de leguminosas pero cuyo suelo había sido también infestado cuatro meses antes con Forl.

Se observó una notable e inesperada respuesta de mayor vigor en las plántulas de *M. deeringiana* que contenían organismos antagónicos y ésta, era mayor entre mayor era la complejidad de la composición microbiana incluida (Fig. 8).

Esta relación de mayor vigor con 18 que con 12, 6 o con cero antagonistas, se mantuvo aún después del trasplante a suelo infestado con Forl. Este efecto de mayor vigor a mayor complejidad podría considerarse como el efecto de organismos promotores del crecimiento radical. Aunque preliminares y de ensayo en invernadero, los resultados muestran que las plantas de jitomate, cuatro meses después del trasplante fueron destruidas en las macetas infestadas con Forl y que no tuvieron la siembra previa de la leguminosa, mientras que aquellos tratamientos que incluyeron la siembra previa de la leguminosa, con semillas germinadas en suelos con complejidad creciente de microorganismos antagónicos, fueron más sanas y más productivas, con



base en el número de plantas muertas y el número de frutos por tratamiento y por repetición (Figs. 9 y 10).

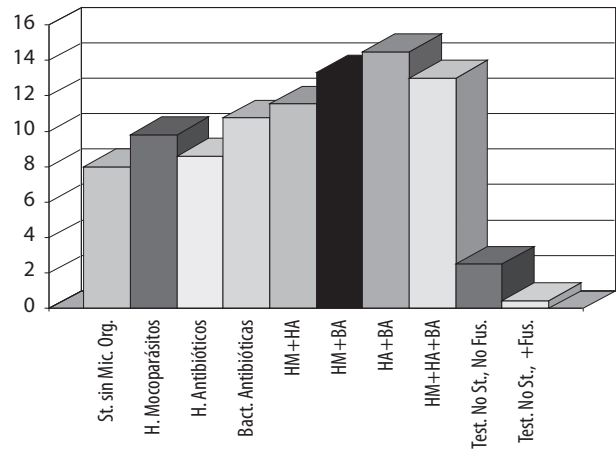
Existen muchos organismos habitantes del suelo que muestran el potencial de antagonizar a los patógenos de la raíz, pero que fracasan en inducir el control biológico debido a la homeostasis natural del suelo, que impide el establecimiento de especies introducidas en cantidades aumentadas. Todo parece indicar que el uso de plantas de crecimiento vigoroso y agresivo como es el caso de *M. deeringiana*, cuyo abundante sistema de raíces permite el establecimiento balanceado de complejos de antagonistas a lo largo de su rizosfera, será la mejor forma de introducir y lograr el establecimiento exitoso de estos agentes de control biológico en el suelo. Ésta, sería entonces una forma benigna de cambiar la estructura del sistema, para lograr el nuevo balance favorable de la supresividad y el control biológico.

#### **ESTABILIDAD: El futuro del estudio de la supresividad de suelos en México** **La supresividad de suelos en el contexto del enfoque holístico a la fitopatología**

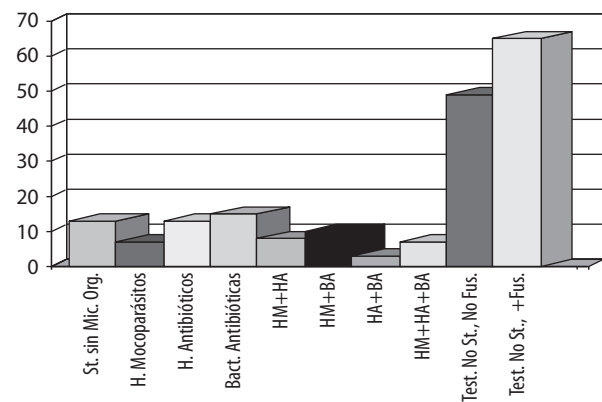
La naturaleza controlada por el hombre, es la esencia del sueño reduccionista. Es un sueño que persiste, a pesar de sus rotundos fracasos. Esa orientación reduccionista que en su afán de certidumbre trata cada sistema como si fueran, todos, sistemas mecánicos, constituidos de partes y aislados de otros sistemas, ha generado una tecnología tan poderosa que, en la actualidad, domina al mundo, pero también ha generado un intenso desorden. Su indeseable subproducto, es la agresión al ambiente planetario, incluyendo las perforaciones a la capa de ozono, entre cuyos causales ha sido incluido de manera prominente, un fumigante de suelos el bromuro de metilo, empleado extensamente en la agricultura para recuperar la productividad de agroecosistemas afectados por enfermedades de la raíz. Muchos científicos predicen que estos aspectos de la tecnología y el progreso, producirán desastres ecológicos. Pero el sueño reduccionista no se inmuta. En un mundo mecánico, la ciencia reduccionista puede "arreglar" lo que arruina (no han faltado propuestas de arrojar ozono congelado a la estratosfera para reparar el daño, Briggs y Peat 1989).

El enfoque holístico, es la insistencia en percibir la trama de la vida, sus interacciones; es una conciencia de la imprevisibilidad esencial de la naturaleza y de la incertidumbre de nuestras percepciones científicas. Es una conciencia de la unidad de las cosas y de que el enfoque reduccionista, sólo nos puede dar pedazos de naturaleza, o más frecuentemente, sólo nos da una naturaleza hecha pedazos.

Se observan en la literatura, opiniones encontradas respecto al uso potencial que pueda darse a la supresividad o a la posibilidad de inducirla. Así, Stirling (1992)



**Figura 9.** Efecto de la complejidad ascendente de microorganismos antagonísticos, introducida al suelo a través de la raíz de *M. deeringiana*, sobre el número de frutos de jitomate por repetición.



**Figura 10.** Efecto de la complejidad ascendente de microorganismos antagonísticos, sobre el porcentaje de plantas muertas por repetición.

comenta que en la gran mayoría de casos documentados, la supresividad contra nematodos es debida a sólo una o dos especies de antagonistas actuando como agentes de control biológico. La gran mayoría de los suelos agrícolas carecen de estas especies por lo que no puede explotarse la supresividad natural. En su opinión, contra nematodos, no es posible predecir de manera práctica la posibilidad de usar la supresividad natural o de inducirla, debido a que los cultivos producen grandes cantidades de raíz, lo que significa el crecimiento de grandes poblaciones de nematodos; debido a ello, parece impráctico sugerir la introducción de grandes dosis de materia orgánica para manipular las poblaciones de los antagonistas. Aunque con el cultivo continuo por períodos largos de tiempo podría establecerse esa supresividad, y aunque para lograrlo, podrían sembrarse variedades tolerantes, si fracasara el establecimiento de la supresividad, se habrá elevado la población de los nematodos a niveles que superen la tolerancia.

La imposibilidad de predecir donde y bajo qué condiciones se logrará el desarrollo de la supresividad contra

nematodos de modo que resulte efectiva la supresividad natural, es tal vez la razón principal para que, a nivel finca o huerto, resulte imposible su utilización. La gama de antagonistas presente en el suelo y sus densidades de población, dependerán de factores tales como el tipo de suelo, la historia agrícola reciente y por lo tanto, variarán de región a región y de finca a finca. Tal vez sería posible rastrear las poblaciones de ciertos microorganismos en ciertas fincas, pero será muy difícil predecir si la actividad actual de esos microorganismos pudiera ser mejorada hasta alcanzar factibilidad económica mediante cambios en las prácticas de manejo del suelo.

Por lo anterior, Stirling (1992) concluye; "Los agricultores de hoy en día han invertido en la producción agrícola fuertes sumas de capital en tierra, maquinaria, sistemas de riego, fertilizantes y materiales genéticos y requieren por lo tanto, de métodos de control de nematodos efectivos para salvaguardar su inversión. Las evidencias al momento sugieren para el futuro próximo, que cualquier método de control de nematodos que surja de la supresividad natural será fortuito y no será el resultado de la acción deliberada de los científicos, ni de los consultores sobre manejo integrado, ni de los agricultores".

En su crítico ensayo sobre supresividad, Hornby (1983) concluye que, frente a la gran cantidad de literatura generada sobre el tema, prácticamente no hay nada nuevo desde el punto de vista conceptual en torno a la supresividad y encuentra, por tanto, difícil de entender ese interés creciente sobre el tema que se refleja por la abundante literatura. Manifiesta también no percibir una brecha importante de avance en el conocimiento que permita atender a la advertencia de que hasta que no se conozcan los mecanismos, el posible control biológico de enfermedades mediante el manejo de la supresividad permanecerá empírico, no confiable y no divulgable. En contraste, Rodríguez y Calvet (1994), mencionan que a partir de suelos supresores, se han aislado numerosos agentes de control biológico que son exitosamente usados en el control de diferentes problemas con origen en el suelo y que, algunas formulaciones derivadas de estos microorganismos han sido ya registradas para su uso comercial.

Al parecer, la frustración que se observa en las opiniones de Stirling (1992) y Hornby (1983) surge del enfoque reduccionista, hasta ahora aplicado a la investigación sobre supresividad. Surge de la aparente contradicción entre generar un concepto holístico, supresividad, y el intento de explicarlo y manejarlo de manera reduccionista, con base en el funcionamiento de sólo algunos componentes del sistema.

Fenómeno eminentemente complejo, la supresividad, no puede ser explicada y menos manejada, disecionando el sistema para conocer los componentes elementales. Ninguno de ellos puede, por sí solo explicarla. Bajo el enfoque holístico y siguiendo la teoría de la

complejidad (Briggs y Peat 1989, Maynard-Smith y Price 1973, Robinson 1981), la supresividad es una propiedad emergente del sistema que resulta de su propia complejidad. Tal vez la necesaria brecha en la búsqueda del conocimiento que reclama Hornby (1983), pueda derivarse de la aplicación del enfoque holístico que busca documentar la existencia de sistemas, donde las enfermedades tienen un impacto reducido, para tratar de discernir qué cambios se han hecho a los sistemas cuyo balance se ha perdido y que resultan, precisamente, en la pérdida de supresividad. Detectar más bien cuáles son los mecanismos de regulación de la complejidad que resultan en una red de interacciones microbianas en el suelo que impiden el éxito patogénico de las poblaciones de ciertos microorganismos. Tal vez la investigación sobre dichos atrayentes al principio sólo nos revele como es que la estabilidad se perdió y por tanto, la supresividad, pero de ahí podemos inferir los caminos opuestos que puedan restaurarla o construirla.

Bajo la perspectiva de sistemas, se debe tomar en cuenta que, cuando se pretende manipular la realidad, se deben inducir profundos cambios a la estructura del sistema, se debe tener en cuenta que existen sólo unos cuantos mecanismos de regulación o de control del sistema, pero éstos no son fácilmente evidenciados ni es fácil descubrir la manera correcta de influir en ellos para lograr el efecto esperado. Por otra parte, cuanto más complejo sea el sistema, más alejados estarán la causa y el efecto entre sí, tanto en el espacio como en el tiempo, por lo que resulta muy difícil predecir la conducta del sistema. Por lo anterior, Briggs y Peat (1989) advierten que el resultado de un cambio "atinado" suele ser peor de lo esperado, por lo que, todo cambio que produzca resultados mejores a corto plazo, debe causar sospecha.

Dada la naturaleza compleja de las interacciones microbianas que tienen lugar en el suelo y que impiden que los patógenos de la raíz tengan éxito en su patogénesis en los suelos supresores, bajo el enfoque holístico, la investigación y el manejo de sistemas agrícolas debe empezar por reconocer que, si hay un suelo supresor, hay que conservar su estructura y que si se desea inducir supresividad a un suelo donde las enfermedades causan devastación, hay que empezar por hacer cambios en su estructura. Debe reconocerse que, pese al arsenal con el que se cuenta en la actualidad para contender con los parásitos agrícolas, si lo que se busca es un balance biológico, de larga duración (sustentable), existen solamente unos cuantos mecanismos de regulación donde poder intervenir para producir cambios significativos, pero que ni estos ni la forma correcta de influir en ellos, son obvios.

Los suelos supresores son la propiedad emergente de la complejidad del ecosistema, por lo que se debe apreciar que entre más complejo el sistema, más alejada estará la causa del efecto y que la capacidad humana

para percibir el efecto de la complejidad es muy limitada, particularmente por la tenaz costumbre de diseccionar los fenómenos, pretendiendo explicarlos con base en sus partes elementales. Por último, si se obtienen aparentemente los resultados esperados, por ejemplo, si se ha logrado inducir supresividad, hay que ser escépticos, pues el éxito a corto plazo, suele ser engañoso.

El más claro mecanismo de regulación de la supresividad en los suelos de agroecosistemas tradicionales, parece ser la alta diversidad de especies cultivadas, en la forma de rotación o de cultivos intercalados o asociados y el mantenimiento de elevados contenidos de materia orgánica. Thurston (1992), resume las apreciaciones de Cook y Baker respecto a la agricultura de China, como la mejor demostración y la de mayor escala en el mundo, de control biológico efectivo de enfermedades con origen en el suelo. La forma de manejo del sistema, estimula la supresividad, mediante un complejo de cultivos múltiples al que se adicionan cantidades importantes y continuas de mejoradores orgánicos. La agricultura de ese país, que alimenta a la cuarta parte de la población actual del mundo, demuestra claramente que la agricultura puede ser intensiva y sustentable; su estabilidad de años y tal vez de siglos, proporciona un balance biológico en el suelo que induce a su capacidad supresora.

Otro mecanismo de regulación que parece inducir a la condición supresora de los suelos, es el de la incorporación de abonos verdes, suplementados de materia orgánica y, en algunos casos, la simple incorporación de dosis elevadas de excretas animales. Un muy conocido ejemplo del primer caso, es el ya mencionado sistema "Ashburner" para el control biológico de *Phytophthora cinnamomi* en aguacatero en Australia (Broadbent y Baker 1975). Y un ejemplo del segundo, es el también ya mencionado sistema desarrollado por el Colegio de Postgraduados para esa misma enfermedad y cultivo (Etchevértis *et al.* 1989, Mora *et al.* 1987).

Está claro que un mecanismo de regulación que condiciona el desarrollo de supresividad en ciertos agroecosistemas, es el monocultivo continuo, como en el caso de el trigo y la enfermedad del "toma todo", donde después de cuatro o más ciclos de devastación por parte de la enfermedad, sus daños se abaten (Hornby 1979) y surge un nuevo balance. No hay que olvidar que la evolución, aún en los casos en los que haya sido tomada por las manos del hombre, no es destino, sino posibilidad, y tiende siempre a la intensificación de la vida; que, bajo las condiciones de manejo humano, encuentra su expresión permitiendo el cultivo del trigo, reduciendo el impacto del patosistema edáfico.

La inundación por varios meses y el acarreo de materiales (nutrimentos y materia orgánica), parece ser otro mecanismo de regulación que condiciona la supresividad de ciertos agroecosistemas, como el caso del sistema popal, en Tabasco (García 1994, Lumsden *et al.* 1990).

Existen mecanismos de regulación que condicionan supresividad y que están relacionados con el tipo de suelo, como es el caso del mal de Panamá en Honduras o de la marchitez del chícharo en California (Cook 1982). Otros parecen estar más relacionados con la microflora nativa, como es el caso de la supresividad detectada en el suelo de chinampas en México, contra especies de *Pythium* (Lumsden *et al.* 1981, 1990) y nematodos (Maciel y García 1986, Zuckerman *et al.* 1989).

El punto de vista optimista expresado por Rodríguez, (Rodríguez y Kokalis 1997, Rodríguez y Calvet 1994) aunque efectivamente ha resultado en la aparición de formulaciones de agentes de control biológico aislados de suelos supresores, no ha tenido el éxito esperado, particularmente en situaciones donde el desbalance del ecosistema suelo ha hecho que las enfermedades con origen en el suelo causen verdadera devastación. Sin embargo, ese optimismo encuentra refuerzo en los intentos deliberados de inducir complejidad creciente de antagonistas como lo ha informado García (1998). Tal vez la introducción al suelo de complejos cada vez más numerosos de antagonistas aislados de suelos supresores, como colonizadores de la rizosfera de plantas de crecimiento vigoroso y agresivo como es el caso de algunas leguminosas tropicales, con sistemas de raíces abundantes que exploren el mayor volumen posible del suelo infestado de patógenos, sea un mejor camino para lograr inducir la supresividad, particularmente en los suelos de los agroecosistemas tropicales. Esta, sería entonces una forma benigna de cambiar la estructura del sistema, para lograr el nuevo balance favorable de la supresividad.

## Referencias

- Altieri, MA. 1987. Agroecology the scientific basis of alternative agriculture. Londres: Westview Press.
- Baker KF, Cook RJ. 1974. Biological control of plant pathogens. W.H. Freeman, San Francisco.
- Baker R, Chet I. 1982. Induction of suppressiveness. En *Suppressive soils and plant disease* (Schneider RW ed.). St. Paul Minnesota: The American Phytopathological Society Press, 35-50 pp.
- Briggs J, Peat FD. 1989. Espejo y reflejo, del caos al orden. Barcelona: GEDISA.
- Broadbent P, Baker KF, Waterworth Y. 1971. Bacteria and actinomycetes antagonistic to fungal root pathogens in Australian soils. *Australian Journal Biological Sciences* 4: 925-944.
- Broadbent P, Baker KF. 1975. Soils suppressive to *Phytophthora* root rot in Eastern Australia. In *Biology and control of soil-borne plant pathogens* (Bruehl GW, ed.). St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society, 152-157 pp.
- Cook RJ, Baker KF. 1983. The nature and practice of biological control of plant pathogens. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society.

- Cook RJ. 1982. Use of pathogen suppressive soils for disease control. In *Suppressive soils and plant disease* (Schneider RW, ed.). St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society, 51-65 pp.
- Damian-C A, García-E R. 1994. Actinomicetos y su efecto antagónico sobre *Phytophthora cinnamomi* Rands (Tristeza del Aguacatero) bajo la incorporación de dos mejoradores orgánicos del suelo y un fungicida. *Revista Chapingo Protección Vegetal* 1: 7-10.
- Erwin DC, Ribeiro OK. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society.
- Etchevértz-B JD, Cortés JI, Mora-A G, García-E R, Téliz-O D, Juárez C. 1989. Tristeza del aguacate: fertilidad del suelo y nutrición de las plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 7: 231-239.
- Ferrera-Cerrato R, González-Ch MC, Rodríguez-M MN. 1993. *Manual de agromicrobiología*. México: Trillas.
- Flores M. 1992. La utilización de leguminosas de cobertura en sistemas agrícolas tradicionales de Centroamérica. In *Tapado, los sistemas de siembra con cobertura* (Thurston HD, Smith M, Abawi G, Kearl S, eds.). Ithaca, N.Y: Cornell Univ, 157-166. pp.
- Franco-F E, García-E R, Marbán-M N, Téliz-O D. 1991. Comportamiento del patosistema edáfico de aguacatero (*Persea americana*) con énfasis en *Meloidogyne* sp. bajo distintos manejos del agroecosistema. *Agrociencia* 2: 109-128.
- Gabriel CJ, Cook RJ. 1990. Biological control: the need for a new scientific framework. *Bioscience* 40:204-207.
- García-E R, Quiroga-M R, Granados-A N. 1994. Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz, en las regiones cálidas húmedas de México. En *Tapado, los sistemas de siembra con cobertura* (Thurston HD, Smith M, Abawi G, Kearl S, eds.). Ithaca New York: Cornell University, 75-79 pp.
- García-E R. 1994. Root pathogens in the agroecosystems of Mexico. En *Transactions volume 4a, 15th world congress of soil science*. International Society of Soil Science. Mexico (Etchevértz-B JD, ed.). 30-44 pp.
- García-E R. 1998. Important biological components to be included in the search for alternatives to the use of methyl bromide in Mexico. *Annual International Research Conference on MeBr Alternatives*. 7-8 pp.
- García-E R. 2007. Enfermedades con origen en el suelo, control biológico y supresividad de suelos. In *Microbiología agrícola*, (Ferrera-C R, Alarcón A, eds.). México: Trillas, 328-341 pp.
- Gliessman SR. 1990. Agroecology, researching the ecological basis for sustainable agriculture. N. York: Springer Verlag.
- Granados-A N, García-E R, Zavaleta-M E. 1990. Pérdidas de grano por fitopatógenos del suelo en maíz monocultivo y rotado con leguminosas de cobertura en Tabasco, Mex. *Revista Mexicana de Fitopatología* 8: 135-144.
- Guiberteau AC, Labrador-M J. 1992. Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. *Hojas Divulgadoras* (Madrid) 8:43.
- Hornby D. 1979. Take all decline: a theorist's paradise. In *Soil-borne plant pathogens* (Shippers B, Gams W, eds.). Academic Press, New York. pp: 133-156.
- Hornby D. 1983. Suppressive soils. *Annual Review Phytopathology*. 21: 65-85.
- Huber DM, Schneider RW. 1982. The description and occurrence of suppressive soils. In *Suppressive soils and plant disease* (Schneider RW ed.). St. Paul Minnesota: The American Phytopathological Society Press, 1-7 pp.
- Ko WH. 1971. Biological control of seedling root rot of papaya caused by *Phytophthora palmivora*. *Phytopathology* 61: 780-782.
- Ko WH. 1982. Biological control of *Phytophthora* root rot of papaya with virgin soil. *Plant Disease* 66: 446-448.
- Lumsden RD, García-ER, Lewis JA, Frias-T GA. 1990. Reduction of damping-off disease in soils from indigenous Mexican agroecosystems. En *Agroecology, researching the ecological basis for sustainable agriculture* (Gliessman SR, ed.). New York: Springer Verlag, 83-103 pp.
- Lumsden RD, Lewis JA, García-E R, Frias-T GA. 1981. Suppression of pathogens in soils from traditional Mexican agricultural systems. *Phytopathology* 71: 891-892.
- Maciel-I D, García-E R. 1986. Efecto de la siembra previa de tres leguminosas tropicales sobre el cultivo del maíz y sus fitopatógenos del suelo. *Revista Mexicana de Fitopatología* 4: 98-108.
- Marx DH. 1972. Ectomycorrhizae as biological deterrents to pathogenic root infections. *Annual Review of Phytopathology* 10: 429-454.
- Maynard-Smith J, Price GR. 1973. The logic of animal conflict. *Nature* 246: 15-18.
- Mitchell CC. 1996. The old rotation 1995. *Agronomy and Soils Progress Report* 128. Auburn University, Alabama.
- Mora-A A, Téliz-O D, Mora-A G, Etchevértz-B J. 2000. Enfermedades de la raíz; la tristeza del aguacatero. En *El aguacate y su manejo integrado* (Téliz-O D, ed.). México: Mundi Prensa, 158-160 pp.
- Mora-A G, Téliz-O D, García-E R, Salazar-G S. 1987. Manejo integrado de la tristeza (*Phytophthora cinnamomi*) del aguacate (*Persea americana*). *Cuarta evaluación anual*. *Revista Mexicana de Fitopatología* 6: 76-81.
- Mora-A G, Téliz-O D, Rosas M, García-E R. 1988. Epidemiología de *Phytophthora cinnamomi* en el sistema



- radical del aguacate. *Revista Mexicana de Fitopatología* 6: 218-223.
- Perrin R. 1990. Interactions between micorrizae and diseases caused by soil-borne fungi. *Soil Use and Management*. 6: 188-194.
- Quiroga RR, García-E R, Zavaleta-M E, Rodríguez-G P. 1992. Impacto reducido del patosistema edáfico del maíz (*Zea mays* L.) en el sistema de rotación maíz-calabaza-frijol terciopelo (*Stizolobium deerlingianum* Bort.) en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 10: 103-115.
- Quiroga RR. 1994. Uso de leguminosas para recuperación de la estabilidad en agroecosistemas de La Fraylesca, Chiapas. En Tapado, los sistemas de siembra con cobertura (Thurston HD, Smith M, Abawi G, Kearl S, eds.). Ithaca, N.York: Cornell University, 237-260 pp.
- Robinson RA. 1981. Ecological aspects of disease resistance. In *Plant disease control, resistance and susceptibility* (Staples RC, Toenniessen GH, eds). N.York: John Wiley & Sons, 235-258 pp.
- Robinson RA. 2005. Self-organising agro-ecoystems. [www.sharebooks.ca](http://www.sharebooks.ca).
- Rodríguez MP, García-E R, Teliz-O D, Salazar-G S. 1992. Ecología de la enfermedad "tristeza del aguacatero" bajo manejo experimental del cultivo del aguacate en la región de Atlixco, Puebla, México. *Agrociencia (SPV)* 3: 115-135.
- Rodríguez-G P, García-E R. 1983. Supresividad de *Meloidogyne* sp. en suelos de agroecosistemas tradicionales. *Memorias del XV Congreso Nacional de OTAN*. (Abstract).
- Rodríguez-K R, Calvet C. 1994. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edáfico. *Fitopatología Brasileira* 19: 129-138.
- Rodríguez-K R, Kokalis-B N. 1997. Chemical and biological control, En *Soilborne diseases of tropical crops*. New York: CAB International, 397-418 pp.
- Shumacher EF. 1977. *A guide for the perplexed*. New York: Harper Perennial.
- Stirling GR. 1992. *Biological control of plant parasitic nematodes*. Australia: CAB.
- Téliz-O D, García-E R, Mora-A G, Rodríguez-G MP. 1990. Manejo integrado de la tristeza (*Phytophthora cinnamomi*) del aguacate en Atlixco, Puebla. *Revista Mexicana de Fitopatología* 7: 225-230.
- Téliz-O D. 2000. El manejo integrado del aguacate. En *El aguacate y su manejo integrado* (Téliz-O D, ed.), México: Mundi Prensa, 185-198 pp.
- Thurston HD. 1992. *Sustainable practices for plant disease management in traditional farming systems*. San Francisco: Westview Press.
- Torres-L JM. 1991. Supresividad de suelo al ataque de *Phytophthora infestans* (mont) de bary a tubérculos de papa. Tesis Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Valenzuela-U JG, Teliz-O D, García-E R, Salazar-G S. 1985. Manejo integrado de la tristeza del aguacatero en Atlixco, Puebla. *Revista Mexicana de Fitopatología* 3: 18-30.
- Wellman LF. 1972. *Tropical American plant disease*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Metuchen, N.J. USA: Scarecrow Press.
- Zentmyer GA. 1980. *Phytophthora cinnamomi* and the diseases it causes. Monograph 10, St. Paul Minnesota: The American Phytopathological Society Press.
- Zuckerman BM, Dicklow MB, Coles GC, Garcia-E R, Marban-M N. 1989. Suppression of plant parasitic nematodes in the chinampa agricultural soils. *Journal of Chemical Ecology*. 15: 1947-1955.