

Nociones fundamentales para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios

Marina Sánchez de Prager
Martín Prager Mosquera



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
Sede Palmira



PRONATTA
Ministerio de Agricultura

MARINA SÁNCHEZ DE PRAGER
MARTÍN PRAGER MOSQUERA

Nociones fundamentales para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios

Santiago de Cali
2001

© Marina Sánchez de Prager
Martín Prager Mosquera
2001
Tiraje: 1.000 ejemplares

ISBN: 958-8095-07-7

Impreso en los talleres gráficos
de Impresora Feriva S.A.
Calle 18 N° 3-33 - Teléfono: 883 1595
E-mail: feriva@feriva.com
Cali - Colombia

*A nuestros hijos Andrea y Martín,
a manera de sendero en su futuro trasegar.*

*“Caminante no hay camino,
se hace camino al andar”.*

Con todo nuestro amor.

M & M

Agradecimientos

Agradecemos la gentil colaboración de nuestros colegas, Profesores Nelson Bravo O., José I. Zuluaga, del I.A., M.Sc. Eyder D. Gómez, de los Ingenieros Agrónomos Rodrigo Tofiño y Segundo Meneses. Igualmente, a los docentes Nhora Cristina Mesa y Augusto Angel por sus sugerencias al escrito inicial, las cuales permitieron enriquecerlo. A todos aquellos que nos cedieron material bibliográfico y fotográfico para ampliar e ilustrar este escrito, a los agricultores por sus valiosas observaciones que siempre tienen un sentido práctico, el cual es necesario que comprendamos y le busquemos sus bases teóricas que permitan explicarlas e incorporarlas, con pleno conocimiento, dentro de nuestras herramientas de manejo agroecológico.

Presentación

Uno de los retos a enfrentar en el proceso de producción agrícola es la sanidad de los cultivos, ya que el deterioro fitosanitario trae consigo disminución de la productividad y calidad de los alimentos, acompañada de pérdidas económicas e impactos sociales y ambientales, puesto que la mayoría de las soluciones que se buscan tienen en cuenta el uso de agroquímicos peligrosos.

En los últimos años los esfuerzos en investigación se han orientado al desarrollo de variedades resistentes a las plagas, contribución que ha permitido mejoramientos en la productividad de los cultivos; sin embargo, ha faltado visión integral para abordar con éxito la problemática fitosanitaria. La mirada integradora hace referencia al análisis de la sanidad de los agroecosistemas dentro de una concepción más amplia, en la cual factores como la planta en sí misma, su nutrición, interacción con otras especies, cobertura del suelo, época de siembra y muchos otros aspectos agronómicos tienen influencia y deben ser considerados para abordar con éxito el manejo de estos problemas.

El presente documento recoge conceptos básicos para propiciar la mirada integral a la cual se hace referencia, pues en la medida en que logremos entender que la incidencia y severidad de los problemas fitosanitarios señalan desequilibrios y que las soluciones no corresponden a un control fragmentado, estaremos avanzando en el manejo ecológico de los agroecosistemas con sus innumerables beneficios para el hombre, la naturaleza y el ambiente.

LOS AUTORES

Contenido

Introducción	11
1. Necesidad de una visión de sistema	13
2. Algunos fundamentos para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios	17
2.1. Fitopatógenos	17
2.1.1 Alternativas de defensa desde la planta en sí misma	17
2.1.2 Alternativas de defensa a partir de la nutrición de la planta	23
2.1.3. Alternativas de defensa de las plantas a través de las relaciones que establecen con las diferentes poblaciones con las que interactúan, en un espacio y tiempo determinados.	24
2.2. Insectos	30
2.2.1 Alternativas desde la planta en sí misma	30
2.2.2 Alternativas de defensa a partir de la nutrición de la planta	34
2.2.3 Alternativas de defensa a partir de interacciones con otros organismos	34
3. Algunas reflexiones	40
Bibliografía	42

Nociones fundamentales para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios

Marina Sánchez de Prager, Profesora Titular¹

Martín Prager Mosquera, Profesor Asociado²

“... al multiplicar una de las especies, el hombre está ofreciendo alimento a los organismos que se alimentaban de ella... Aparece una nueva competencia para el hombre dentro de la escala alimenticia, a la que le dará el despreciativo nombre de “plaga”.

A. ÁNGEL, 1996

Introducción

En muchas ocasiones hemos escuchado la expresión “no estamos solos”, para referirnos al hecho de que existen otros habitantes en el universo, sea en otros planetas, en otras galaxias “cercaos o distantes” a la Tierra. Además de tal acepción, esta expresión es ideal para comprender que los organismos, llámense hombres, animales, plantas, microorganismos, etc., vivimos en comunidades y que desde esa perspectiva debemos visualizar nuestro pasado, presente y futuro.

La visión de comunidad nos permite entender que los organismos en su hábitat ocupan nichos, es decir, cumplen funciones esenciales para el equilibrio del ecosistema. Dentro de éstas, la relacionada con captar el CO₂ de la atmósfera y convertirlo en

1. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. A.A. 237. E-mail: fitopatologia@palmira.unal.edu.co.

2. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. A.A. 237.

biomasa a través del proceso de fotosíntesis es primordial, como también lo es la que desempeñan los consumidores de esa biomasa (animales, insectos, el hombre, etc.) y los que a su vez se alimentan de esos consumidores primarios (predadores, parásitos, parasitoides, etc.). Igualmente, la producción de sustancias atrayentes y repelentes interespecies juega un papel. Mediante estas relaciones en un ambiente dado, los ecosistemas mantienen su homeóstasis o un equilibrio dinámico, en el cual el productor primario es tan importante como los consumidores y los organismos grandes como los pequeños.

En los ecosistemas, la constitución genética de las comunidades está modulada por el ambiente y la disponibilidad de sustratos, en forma tal que estas condiciones regulan las actividades de cada población, controlan su crecimiento y evitan explosiones poblacionales, es decir, generan el equilibrio biológico del sistema.

En la medida que se simplifican las condiciones en los agroecosistemas, ese equilibrio se rompe y surge entonces el concepto de plaga: *una población que se desequilibra y hace explosión manifestando el efecto de su acción sobre las plantas, los animales y el hombre* (Siqueira y Franco, 1988). En este escrito se hace referencia directa a los patógenos e insectos que ocasionan pérdidas económicas en los cultivos.

1. Necesidad de una visión de sistema

Desde el punto de vista de la Fitopatología y Entomología, para entender el ataque de un patógeno o de un insecto en un agroecosistema y mostrar las interrelaciones que existen entre los factores que intervienen en su presencia, se suele acudir a un tetraedro (Figura 1) donde el hombre se coloca en el vértice superior, dando la idea de “ordenador” o “controlador” del agroecosistema, lo cual aparentemente dificulta la visión integral de los elementos que interactúan.

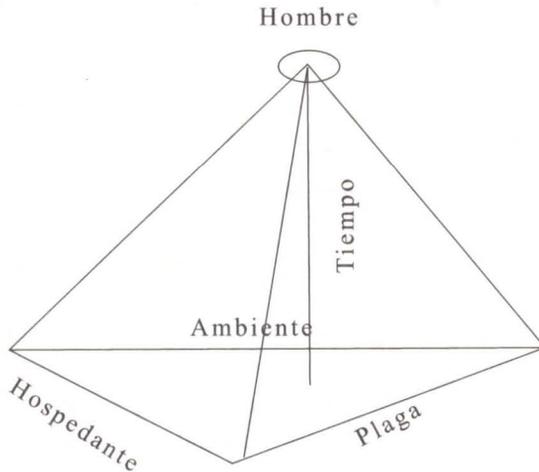


Figura 1: Tetraedro de uso frecuente para ilustrar los factores que intervienen en la presencia de una plaga (Tomado de Agrios, 1996).

Tal vez, la visión de los agroecosistemas en términos de un conjunto donde se relacionan subconjuntos (Figura 2), nos permitiría acercarnos más a las interrelaciones que se presentan en ese sistema llamado producción agrícola, en el cual la individualidad tiene su razón de ser, limitada o modelada por un entorno donde se integra el individuo (llámese planta) con sus congéneres, (plantas de la misma o de diferentes especies), con otras poblaciones (insectos, hongos, bacterias, virus, etc.), incluyendo al hombre, en un espacio y tiempo determinados.

Esta integración nos permitiría comprender las bases y dinámica de esas relaciones y cómo, donde surgen los problemas, también pueden surgir las soluciones. Dentro de esta visión de sistema, el hombre es parte integral de los problemas, a través de sus decisiones y acciones.

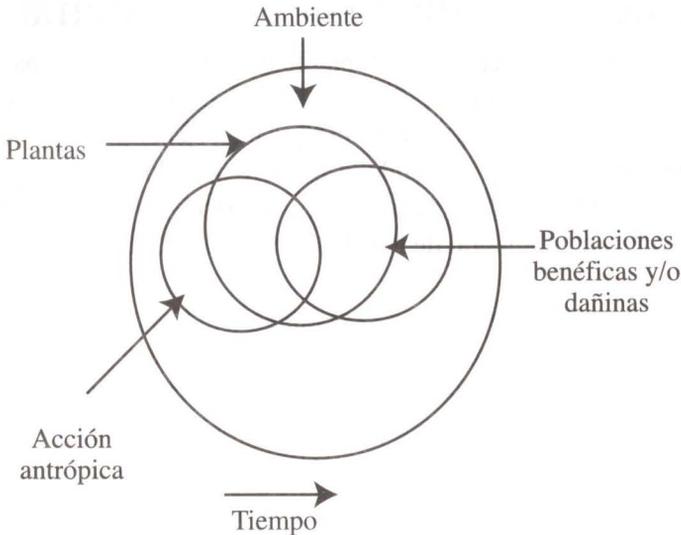


Figura 2: Visión de la sanidad de las plantas en un contexto de sistemas.

El hombre moderno ha enfocado el manejo de las plagas –en este caso específico, insectos y patógenos– como *eliminación, desaparición total de la población dañina*, acudiendo a insumos letales que actúan no sólo sobre la población problema, sino también sobre sus acompañantes. En la medida que avanza la comprensión de la dinámica de los agroecosistemas, han surgido nuevos conceptos como el de manejo integrado de plagas (entre ellas, insectos y patógenos), espacio en el cual la biología y ecología de las poblaciones y comunidades han aportado y tienen aún mucho por aportar.

El entender que las especies no sólo comparten un lugar en un tiempo determinado, sino que establecen comunicaciones a través de lenguajes moleculares, de fuerzas y energías cósmicas y de la Tierra³, nos permite comprender que el equilibrio dinámico proviene de estas mismas interacciones en forma natural y pueden ser también mediadas por el hombre (Figuras 2 y 3).

La Figura 3 presenta un modelo hipotético de tales interacciones, el cual puede reemplazarse por nombres de especies, dependiendo del agroecosistema que se produzca, con una condición preestablecida: no hay uso de agroquímicos. Ilustra que en el ecosistema hay interacciones en todos los sentidos, entre los organismos sobre la superficie del suelo, bajo ella, de arriba abajo y viceversa, de todos ellos con el ambiente, etc., relaciones que pueden ser mecanismos de autorregulación del ecosistema en la medida que permitimos que todos estén presentes y/o los integramos a su manejo.

3. Doctor Miguel Balzer. *Comunicación personal*. Febrero, 2000.

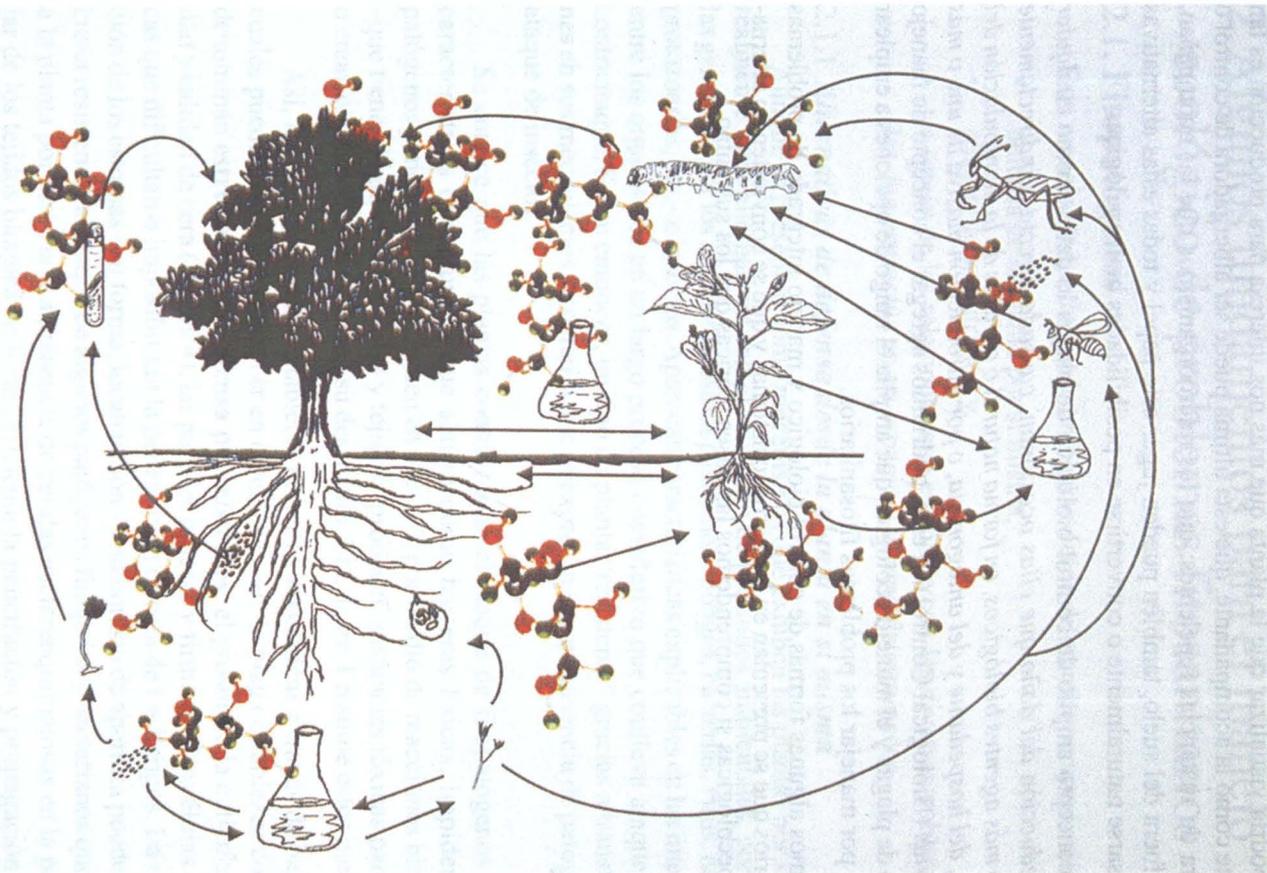


Figura 3: El conocimiento y comprensión de las relaciones ecológicas en comunidades establecidas permite avanzar en el manejo integrado de enfermedades e insectos dañinos en plantas (Modelo de interrelaciones, interpretado y propuesto por los autores).

Se podría visualizar que la planta que más nos interesa para producción es tan importante como la acompañante, que esta última puede ser albergadora de control o productora de sustancias repelentes; que los microorganismos que las acompañan, dentro y fuera del suelo, también pueden jugar este papel y todas estas alternativas pueden usarse naturalmente o convertirse en posibilidades biotecnológicas.

Un concepto amplio de control biológico de plagas lo define como *cualquier tipo de reducción del daño que ellas ocasionan, causado directa o indirectamente por uno o más agentes biológicos, en forma natural o a través de la manipulación del ambiente, del hospedante y del antagonista, o por introducción masiva de uno o más antagonistas* (Biological Control). A este, podríamos agregar el concepto de manejo integrado de plagas y el manejo ecológico que amplía el rango de opciones a emplear en el reto por manejar los problemas fitosanitarios.

Veamos algunas formas de control biológico y manejo integrado de problemas fitosanitarios que se presentan en los agroecosistemas y que se convierten en alternativas agroecológicas si comprendemos las bases teóricas que los sustentan.

2. Algunos fundamentos para el manejo ecológico de problemas fitosanitarios

2.1. Fitopatógenos

Este manejo integrado puede enfocarse desde diferentes perspectivas:

- defensa de la planta por sí misma,
- a partir de su nutrición y,
- a través de las relaciones que establece con las diversas poblaciones con las que interactúa en un espacio y tiempo determinados.

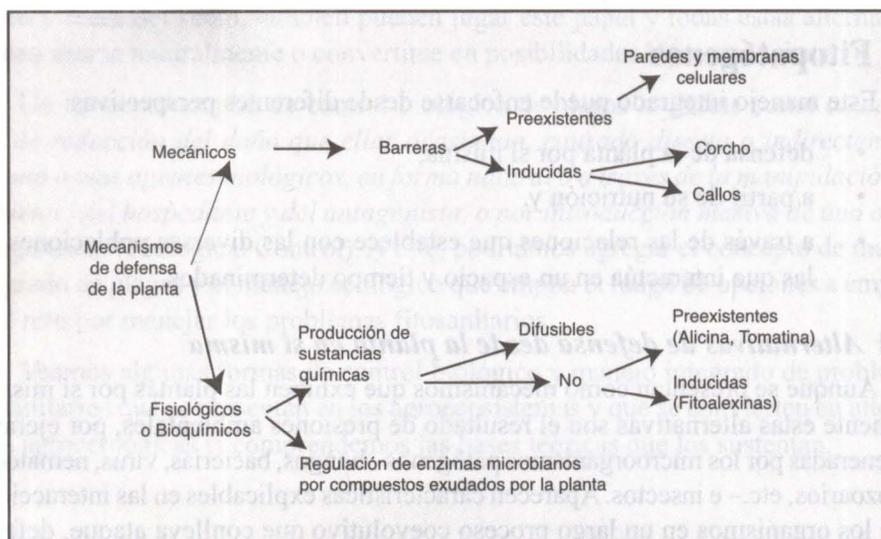
2.1.1 *Alternativas de defensa desde la planta en sí misma*

Aunque se presentan como mecanismos que exhiben las plantas por sí mismas, realmente estas alternativas son el resultado de presiones ambientales, por ejemplo, las generadas por los microorganismos patógenos—hongos, bacterias, virus, nematodos, protozoarios, etc.— e insectos. Aparecen características explicables en las interacciones entre los organismos en un largo proceso coevolutivo que conlleva ataque, defensa, contraataque. Surge entonces, un tipo de planta “resistente” gracias a transformaciones en sus mecanismos de defensa que se expresan aun en ausencia de patógenos o de ataque de insectos.

Se conoce que las plantas contrarrestan el ataque de fitopatógenos mediante características estructurales que actúan como barreras físicas, impiden que los patógenos penetren o se propaguen en ellas y/o por medio de reacciones bioquímicas—que tienen lugar en sus células y tejidos— producen sustancias tóxicas para la plaga o crean condiciones que inhiben su desarrollo. El Cuadro 1 resume estos mecanismos.

Así, las plantas pueden establecer defensas **mecánicas** a través de barreras, las cuales pueden estar y permanecer en ellas antes que la plaga establezca contacto, se denominan **estructuras de defensa preexistentes**: el grosor de la cutícula, la cantidad y calidad de cera (Figura 4), las paredes gruesas y firmes de las células epidérmicas que dificultan o imposibilitan la penetración directa de los hongos. La conformación de los estomas—su forma, localización— y su horario de apertura pueden conferir cierta resistencia al ataque de algunos patógenos fungosos y bacterianos que penetran a la planta por esta vía. La presencia de células esclerenquimatosas en la pared celular de los tejidos bloquea en forma eficiente la penetración y propagación de bacterias, hongos y nematodos (Barea y Azcón, 1982; Agrios, 1996).

Cuadro 1: *Mecanismos de defensa de las plantas*
(Tomado de Barea y Azcón-Aguilar, 1982).



Otras estructuras de defensa mecánica son **inducidas**, sólo se forman en respuesta a las infecciones patógenas. Así, cuando el patógeno ha trascendido las estructuras de defensa preformadas, las plantas pueden seguir resistiéndose a su ataque.

Bastan algunos ejemplos para aclararlo. Mediante modificaciones del tejido como la formación de capas de corcho se busca detener la invasión del patógeno y bloquear la difusión de cualquier sustancia que él pueda secretar. También se detiene el flujo de agua y nutrientes desde las zonas sanas hasta las zonas infectadas para controlar el parásito, afectando su nutrición.

Otra reacción de defensa ocurre mediante formación de capas de abscisión que rodean al patógeno y se desprenden llevándose consigo al invasor. En la hipersensibilidad (defensa necrótica) la planta resiste el ataque del patógeno destruyendo su propio tejido que ha sido invadido, aislando al parásito de las sustancias vivas hasta ocasionar su inanición y muerte.

La tilosis lleva a que los protoplastos de las células del parénquima adyacentes al xilema se proyecten hacia estos vasos, bloqueando el avance de los patógenos. También la planta puede acudir a la formación de gomas que se depositan con gran rapidez en los espacios intercelulares y dentro de las células que rodean el sitio de infección, creando una barrera impenetrable que encierra al patógeno y produce su muerte por carencia de nutrientes.

Cuando el patógeno penetra intercelularmente, entonces la membrana celular se agranda y lo rodea, el contenido de la célula se hace denso y puede llevar a que el parásito se desintegre por acción enzimática. A este mecanismo se le ha llamado reacción de defensa citoplasmática (Azcón y Barea, 1982; Agrios, 1996).

Además de las barreras de tipo estructural, las plantas se enfrentan a la lucha biológica produciendo sustancias en sus células. Esta **defensa bioquímica o fisiológica**, al igual que la estructural, puede anteceder a la presencia de la plaga (**preexistente**) o ser **inducida** por el ataque de los patógenos.

Como ejemplo de defensa preexistente, se conoce que las plantas exudan una gran variedad de sustancias a través de la superficie de sus raíces y de sus demás órganos aéreos, algunas de ellas pueden inhibir la germinación de esporas fungosas y otras estructuras microbianas. Por ejemplo, se ha encontrado que los tubérculos de papa resistentes a *Streptomyces scabies* –agente causal de la sarna– contienen concentraciones mayores de ácido clorogénico que las variedades susceptibles. Esta sustancia se sitúa en los tejidos a través de los cuales entra el patógeno (lenticelas) y en aquellos donde se desarrolla (capas exteriores del tubérculo). Este compuesto fenólico es tóxico a muchos microorganismos.

La planta puede carecer de sustancias esenciales para la supervivencia de un patógeno o el desarrollo de la infección, y escapar a su invasión gracias a ello. También puede carecer de antígenos específicos (moléculas de reconocimiento) para un patógeno dado (Agrios, 1996).

En el caso de la **defensa bioquímica inducida**, las células y tejidos vegetales responden –después de haber sido estimulados por microorganismos o haber sufrido daños causados por agentes químicos o mecánicos– a través de reacciones bioquímicas que buscan aislar al agente causal y sanar la zona afectada. Dichas reacciones pueden conllevar la producción de sustancias fungitóxicas en torno a la zona dañada, formación de callos y corcho o agentes químicos capaces de inhibir el crecimiento y desarrollo de microorganismos; estos incluyen a la mayoría de los compuestos fenólicos, tales como el ácido clorogénico y caféico, a los productos de la oxidación de compuestos fenólicos y a las fitoalexinas, las cuales son en su mayoría compuestos fenólicos, tales como la faseolina, la pisatina, la gospipina, la richitina y el orquinol, entre otras (Figura 5).

Si se observa con atención, los mecanismos de defensa mecánicos y fisiológicos o bioquímicos –preexistentes o inducidos– obedecen a procesos de reconocimiento planta-microorganismos que se expresan necesariamente en la producción de biomoléculas. Por ejemplo, la presencia de paredes gruesas requiere alta producción de polisacáridos dentro del metabolismo primario y la concentración de sustancias

repelentes o con acción biocida, implica que la planta produzca metabolitos secundarios, por ejemplo aleloquímicos con funciones de comunicación bioquímico-ecológica como la alicina y la tomatina, flavonoides, isoflavonoides, alcaloides, terpenos, sesquiterpenos, carotenoides, etc. (Cuadro 2).

Cuadro 2: *Rutas biosintéticas de las plantas para fabricar sus moléculas para crecer –metabolismo primario– y establecer relaciones de comunicación y defensa con otros organismos –metabolitos secundarios (Adaptado de Gros et al, 1985).*

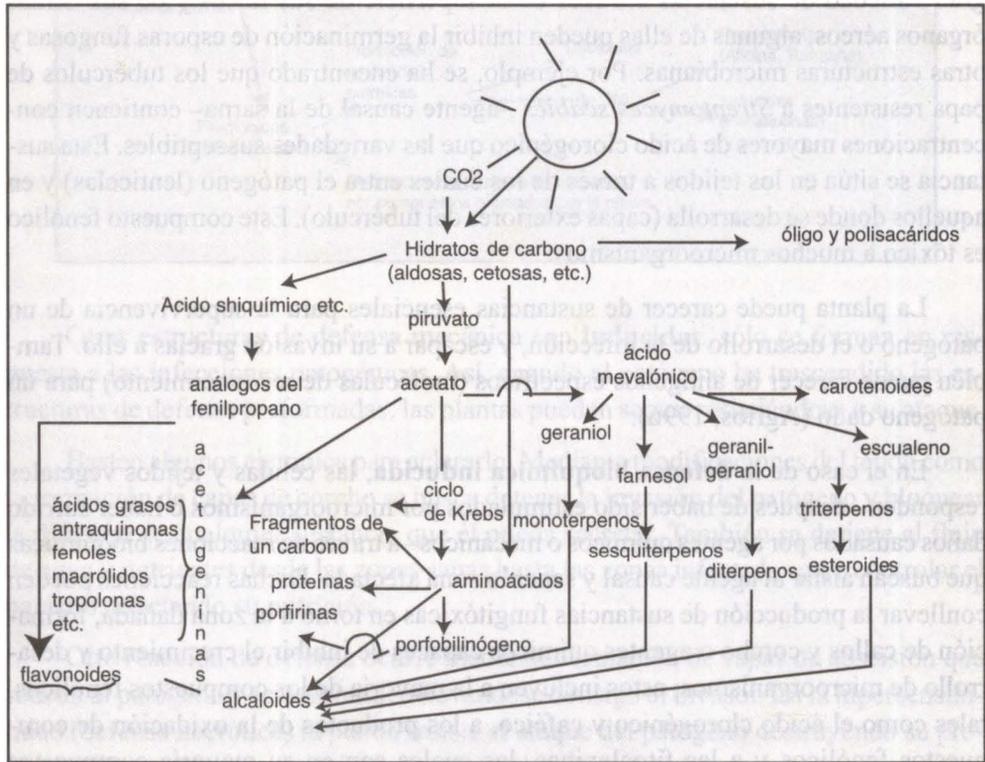




Figura 4. En el maracuyá el grosor del epicarpio y las capas cerosas del fruto (a) constituyen estructuras de defensa pre-existentes que pueden ser debilitadas por el ataque de insectos (b) o patógenos (c) (Fotos: E. D. Gómez).



Figura 5. *Un ejemplo de defensa bioquímica inducida lo constituye la presencia de orcinol en las raíces de las orquídeas, compuestos que las protegen contra el ataque de hongos (Foto: Hugo Sierra).*

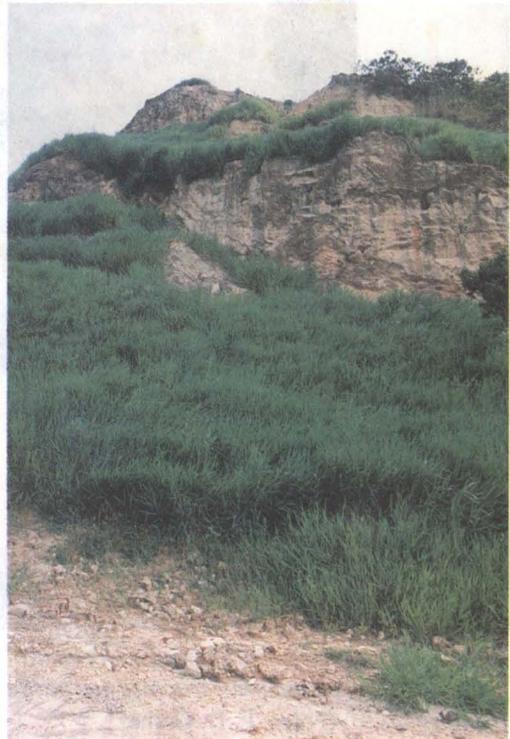


Figura 6. *El exceso de fertilización nitrogenada aunque confiere un color verde intenso, predispone a las plantas al ataque de insectos (Foto: E.D. Gómez).*

Por lo tanto, como se puede observar en el Cuadro 2, las plantas además de sus biomoléculas esenciales para crecer, producen otros metabolitos llamados “secundarios” encargados de su defensa y comunicación con los organismos con los que interactúan, los cuales están a disponibilidad nuestra cuando incluimos en nuestros agroecosistemas las especies que los producen o acudimos a sus extractos (Figura 3).

Dentro de esta perspectiva se conoce que en orquídeas, el orquinol e hircinol (aleloquímicos fenántricos) son mensajeros disuasivos que las protegen contra el ataque de algunos hongos, inclusive sus simbiontes micorrícicos. En plantas crucíferas, los llamados glucosinolatos y sus productos de hidrólisis, los isotiocianatos actúan como fitoalexinas en la defensa de estas plantas contra el hongo del mildew veloso –*Peronospora parasitica*–. Especies de *Lupinus* son ricas en aleloquímicos que las protegen del consumo de herbívoros y las hacen resistentes a la entrada de hongos aun benéficos como los endomicorrícicos (Patiño, 1984; Benjumea, Sánchez de P. y Miranda, 1996; Sánchez de P., 1999).

2.1.2 *Alternativas de defensa a partir de la nutrición de la planta*

El manejo del ataque de microorganismos e insectos con base en el balance nutricional de la planta ha ganado espacio. Sin embargo, debe recorrerse un largo camino para entender sus principios básicos. Chaboussou (1987) en su teoría de la **Trofobiosis**, propone que una planta balanceada nutricionalmente, que crece en medios edáficos balanceados, es poco afectada por plagas.

Desde este punto de vista, los elementos más importantes para la vida (C, H, O₂, N, P y S) están ligados al ciclaje de la materia orgánica en el suelo. Cuando se favorecen los procesos de mineralización se mejora la fertilidad del suelo y por lo tanto la nutrición vegetal. El uso de las defensas estructurales y bioquímicas de las plantas está estrechamente unido a que éstas dispongan de nutrimentos asequibles, pues aunque estén equipadas genéticamente con tales mecanismos, las condiciones nutricionales son fundamentales para manifestarlos en forma eficiente.

A partir de la revolución verde, las necesidades de nutrimentos de las plantas han tratado de satisfacerse haciendo uso excesivo de fertilizantes de síntesis, cuyo efecto se analiza casi siempre en términos de aumento de la productividad, aun conociendo que al afectar su nutrición se están influenciando las relaciones plantas-insectos y patógenos.

Hay poca información sobre el efecto del estado nutricional de la planta y los mecanismos de defensa contra bacterias y virus. La mayoría de las investigaciones se han concentrado en hongos y en el ataque de insectos.

Por ejemplo, el exceso de fertilización nitrogenada predispone las plantas al

ataque de insectos chupadores, que buscan aminoácidos libres que no llegaron a proteínas por desbalance mineral (Figura 6). Igualmente el exceso reduce la producción de compuestos fenólicos (fungistáticos) y de lignina de las hojas, la resistencia a los patógenos obligados y aumenta la resistencia a parásitos facultativos que prefieren tejidos senescentes. También favorece el desarrollo de enfermedades fungosas, como el caso de *Pyricularia* en arroz⁴.

En la papaya, el exceso de fertilización fosforada predispone al ataque de virus. La deficiencia de K provoca acumulación de aminoácidos (que contribuyen a la degradación de los fenoles), retarda la cicatrización de heridas, lo cual favorece la penetración de los patógenos. El K tiene una acción clara y bien definida en la resistencia de las plantas a las enfermedades ya que influye en factores como dureza y espesor de la cutícula, permeabilidad de la membrana, funcionamiento de estomas, etc. Se encuentran referencias con respecto al Ca y al Si, entre otros elementos. Con relación a este último se conoce que extractos de cola de caballo (*Equisetum arvense* L.) planta rica en Si protegen a las plantas contra mildes, agentes del “damping-off”, *Botrytis cinerea* y *Phytophthora* sp.

Además de la acción aislada de los nutrimentos, es importante tener en cuenta que es el equilibrio nutricional de la planta el que va a determinar su acción y la complejidad de los efectos sinérgicos y antagónicos que se manifiesten entre ellos (Kaufman y Williams, 1964; Sánchez de P., 1984; Orozco, Garcés y Arbeláez, 1988; García y Bustamante, 1994; Yamada, 1995y Castaño et al., 1996).

2.1.3. *Alternativas de defensa de las plantas a través de las relaciones que establecen con las diferentes poblaciones con las que interactúan, en un espacio y tiempo determinados.*

En las relaciones que las plantas establecen con otros organismos pueden encontrarse alternativas para el control de patógenos. Son importantes las relaciones de la(s) planta(s) de nuestro interés y otras especies vegetales, planta-microorganismos y microorganismos-microorganismos, entre otras. Las poblaciones de una especie son diferentes cuando está o no presente otra especie. Veamos algunos ejemplos:

- **Relaciones planta-planta o las plantas para proteger las plantas**

La presencia de aleloquímicos en una planta puede convertirse en alternativa de defensa para otras. Por ejemplo, en el cilantro se ha registrado la presencia de aldehídos volátiles en el follaje como el 2-nonenal y el 10-indecanol, este último con actividad antifúngica y nematicida. Las semillas de esta planta son ricas en aceites esenciales

4. Doctor Nelson Bravo O. 2000. Profesor Asociado, U. Nacional de Colombia. Palmira.

activos contra *Aspergillus niger*, *Staphylococcus aureus* y *Mucor* spp. Estas propiedades lo convierten en acompañante ideal para el cultivo del tomate, pero no recomendable, aparentemente, para sembrarse asociado con eneldo⁵, ya que inhibe la floración de esta planta.

La acción nematocida de *Tagetes patula* la sugiere como acompañante de plantas altamente susceptibles a los nematodos (lulo, tomate de árbol, tomate, etc.) y sus extractos podrían ser valiosos con este fin. La ruda (*Ruda graveolens*) sembrada asociada con guanábano controla al agente causal de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*). Los extractos de ortigas, caléndula y diente de león han sido registrados como controladores de nematodos en tomate de árbol. “El agua de manzanilla ha controlado ataques tempranos de virus (?) en papaya”. Son abundantes las referencias a los extractos o a la asociación del ajo, la cebolla cabezona, el rábano, el laurel, el paico, la ruda, etc., como controles de fitopatógenos (Mejía, 1994; Gomeró, 1994; Benjumea, Sánchez de P., y Miranda, 1996, entre otros).

La aplicación práctica de estas observaciones ha tomado delantera y los principios teóricos de este control aún no los entendemos a cabalidad. Sin embargo, los extractos y aceites esenciales de estas y muchas otras plantas han cobrado gran importancia dentro de alternativas de control integrado.

• Relaciones planta – microorganismos como mecanismo protector

Recordemos que alrededor de las raíces de las plantas existe una zona llamada rizosfera, a la cual acuden los microorganismos atraídos por los exudados de los vegetales, excreciones que se convierten en sustratos para la microbiota. Esta relación no se limita a la raíz. El carácter cosmopolita de los microorganismos hace que estén presentes en cualquiera de los órganos de la planta (filoplano, ramas, frutos, flores, etc.). Sin embargo, las interacciones más estudiadas han sido aquellas que suceden alrededor de la raíz.

Las asociaciones de las raíces con diferentes microorganismos crean condiciones que ayudan a la planta a escapar del ataque de plagas, en forma directa, al mejorar su tenor nutricional (caso del N, P, Zn, Cu, B, Mo, entre otros) e indirectamente, ya que muchos de ellos producen sustancias fitoactivas, reguladores de crecimiento (auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico), vitaminas, enzimas, aminoácidos, etc., y, de otro lado, biocidas que ayudan a regular las poblaciones microbianas y a evitar su explosión que las convierte en plagas.

5. Información suministrada por agricultor en Palmira. 1998.

Entre estas relaciones tenemos la simbiosis de leguminosas con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium*, etc.), de protooperación con especies asimbóticas fijadoras de nitrógeno del género *Azospirillum* en gramíneas, *Azotobacter*, *Beijerinckia* en la rizosfera y filosfera de un amplio número de vegetales; las ectomicorrizas, endomicorrizas (Figura 7) y actinorrizas, entre otras (Sánchez de P., 1999).

• **Relaciones microbio–microbio o las interacciones entre microorganismos para proteger a las plantas**

Al encontrar en los órganos de las plantas un hábitat y cumplir una función o nicho, los microorganismos no sólo se relacionan con ellas sino también entre sí; así, las plantas se defienden de los patógenos y de los insectos, dando albergue a diferentes poblaciones que establecen entre ellas relaciones que se convierten en mecanismos de regulación.

Relaciones ecológicas de **competencia**, **amensalismo** (antagonismo), **parasitismo** y **predación** entre poblaciones microbianas se convierten en alternativas promisorias dentro del control biológico de las enfermedades y el ataque de insectos como se verá más adelante.

En el caso de patógenos, las interacciones más analizadas son aquellas que suceden alrededor de la raíz de la planta y los estudios se han enfocado a la reducción de la densidad del inóculo, reemplazo con saprófitos, interferencia a través de supresión de crecimiento o germinación, protección de sitios de infección e inducción de resistencia (Burbano, 1989 y Castaño et al., 1996).

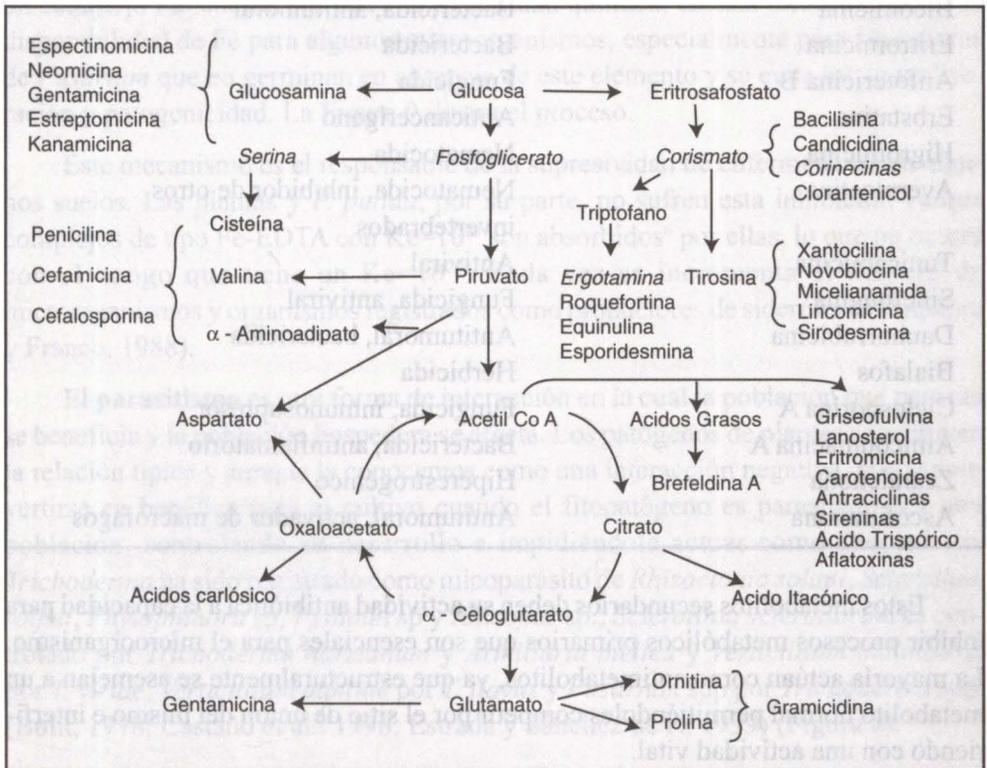
La relación de **competencia** posiblemente es el tipo más común de interacción negativa entre dos poblaciones y sucede por sustratos energéticos, minerales, factores de crecimiento, O_2 , H_2O , etc. Dentro de esta categoría el hongo *Trichoderma hartzianum* es posiblemente uno de los agentes de biocontrol más estudiados (Burbano, 1989) (Figura 8).

El **amensalismo** conocido también como **antagonismo**, es una interacción negativa en la cual una población microbiana produce una sustancia capaz de inhibir a otras poblaciones. Existen diferentes formas de amensalismo, entre las cuales las más conocidas son la inhibición por sustancias inorgánicas, la antibiosis, la fungistasis, la bacteriostasis, ciertos tipos de lisis saprofítica y la ejercida por las bacteriocinas.

Diversas especies de actinomicetos, bacterias y hongos son capaces de sintetizar antibióticos. De los 6.000 o más antimicrobianos conocidos, alrededor del 67% son producidos por actinomicetos y cerca del 90% proviene de diversas especies de *Streptomyces*. Los actinomicetos pueden sintetizar entre otros: estreptomycin, tetraciclina, clindamicina, gentamicina, vancomicina, rifamicina, etc.

cloranfenicol, cicloheximida y clorotetracilina. La antibiosis es común entre cepas de *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*. También tienen esta propiedad *Bacillus*, *Pseudomonas* y flavobacterias. Las especies fungosas *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* y *Fusarium* también excretan sustancias antibióticas. Hay estimativos según los cuales, cerca de la mitad de la microflora del suelo produce antibióticos. Para entender la producción de antibióticos por los microorganismos es necesario detenerse en su metabolismo secundario (Cuadro 3).

Cuadro 3: Vías de biosíntesis de diversos metabolitos secundarios con actividad antibiótica (Santana, Segura y Sánchez, 1994).



El Cuadro 4 muestra varios ejemplos de las actividades de algunos metabolitos secundarios de origen microbiano. Los antibióticos producidos por los actinomicetos son muy diversos en cuanto a su estructura química, mientras que los generados por bacterias son comúnmente péptidos (aislados de *Bacillus*, *Pseudomonas* y bacterias entéricas).

Cuadro 4: Ejemplo de actividades de metabolitos secundarios de origen microbiano (Santana, Segura y Sánchez, 1994).

Metabolito secundario	Actividad
Penicilina	Bactericida
Bleomicina	Bactericida, antitumoral
Eritromicina	Bactericida
Anfotericina B	Fungicida
Erbstatina	Anticancerígeno
Higromicina	Nematocida
Avermectina	Nematocida, inhibidor de otros invertebrados
Tunicamicina	Antiviral
Sinefungina	Fungicida, antiviral
Daunorrubicina	Antitumoral, bactericida
Bialafos	Herbicida
Ciclosporina A	Fungicida, inmunosupresor
Amicoumacina A	Bactericida, antiinflamatorio
Zearalenona	Hiperestrogénico
Ascofuranona	Antitumoral, activador de macrófagos

Estos metabolitos secundarios deben su actividad antibiótica a la capacidad para inhibir procesos metabólicos primarios que son esenciales para el microorganismo. La mayoría actúan como antimetabolitos, ya que estructuralmente se asemejan a un metabolito normal permitiéndoles competir por el sitio de unión del mismo e interfiriendo con una actividad vital.

Esta actividad antibiótica se puede dividir según el tipo de microorganismo sobre el cual actúe. Así, puede tener una acción bactericida tal y como ocurre con la vancomicina y la penicilina que inhiben la biosíntesis de la pared celular en bacterias Grampositivas; mientras que la mitomicina C y la bleomicina entre otros, se unen al DNA e inhiben la transcripción y la replicación del mismo. Otros, como la

estreptomycin, la gentamicina y la eritromicina inhiben la síntesis de proteínas, al nivel de los ribosomas bacterianos 70S, pero no tienen efecto sobre los ribosomas de los eucariotas. Otros como la anfotericina B poseen propiedades fungicidas; la viriplanina, la lantiopeptina y las pumilacidinas son antivirales y controlan el virus del herpes simple; la bafilomicina y setamicina además de ser fungicidas presentan actividad contra protozoarios. Ciertos antibióticos producidos por estreptomicetos actúan sobre algunos nematodos como por ejemplo la higromicina, antihelmicina y la destomicina (Santana, Segura y Sánchez, 1994).

Otro tipo de amensalismo o antagonismo lo presentan bacterias como *Pseudomonas putida*, la cual produce una mezcla de ácidos hidroxámicos (hidroxamatos) llamados sideróforos que poseen elevada afinidad con el Fe. La presencia de la bacteria en la rizosfera hace que este elemento sea quelatado y se forme un complejo Fe-sideróforos con alta estabilidad química; en esta forma se reduce la disponibilidad de Fe para algunos microorganismos, especialmente para las esporas de *Fusarium* que no germinan en ausencia de este elemento y se evita así su proliferación y patogenicidad. La Figura 9 ilustra el proceso.

Este mecanismo es el responsable de la supresividad de enfermedades en algunos suelos. Las plantas y *P. putida*, por su parte, no sufren esta inhibición ya que complejos de tipo Fe-EDTA con $K_e=10^{33}$ son absorbidos⁶ por ellas, lo que no ocurre con el hongo que tiene un $K_e=10^{29}$. Cada vez se incrementa el número de microorganismos y organismos registrados como productores de sideróforos (Siqueira y Franco, 1988).

El **parasitismo** es otra forma de interacción en la cual la población que parasita se beneficia y la población hospedera se afecta. Los patógenos de plantas constituyen la relación típica y aunque la conocemos como una interacción negativa, puede convertirse en benéfica para el cultivo cuando el fitopatógeno es parasitado por otra población, controlando su desarrollo e impidiéndole actuar como fitoparásito. *Trichoderma* ha sido registrado como micoparásito de *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii*, *Phytophthora* sp, *Pythium* sp y *Rhizopus* sp.; *Sclerotinia sclerotiorum* es controlado por *Trichoderma harzianum* y *Armillaria mellea* y *Verticillium dahliae* por *T. viride*; *Verticillium dahliae* por *T. flavus* y *Fusarium* spp por *Trichoderma* spp. (Bulit, 1978; Castaño et al., 1996; Estrada y Sánchez de P., 1999) (Figura 8).

6. K_e : Velocidad de absorción del elemento, en este caso Fe. El hongo al tener un K_e más pequeño que la planta no puede absorber el nutrimento a la velocidad adecuada, mientras que la planta y la bacteria lo pueden tomar adecuadamente.

Es frecuente encontrar en el campo *Ampelomyces* sp parasitando al hongo *Oidium* sp, agente causal de mildes polvosos en varios cultivos (observaciones personales).

Otra estrategia de control biológico la constituye la utilización de aislamientos no patogénicos que ocasionan un efecto de **protección cruzada o resistencia inducida en las plantas**. Esta posibilidad ha tenido muy poco uso. En el Japón se emplean cepas poco virulentas del virus del mosaico del tomate para proteger este cultivo contra cepas agresivas del mismo virus. En el Brasil se han protegido los cítricos contra el virus de la tristeza empleando la resistencia inducida. En Colombia, se ha logrado proteger frijol contra el ataque de roya (*U. phaseoli*) mediante inoculación con una cepa avirulenta de *Hemileia vastatrix*, agente causal de la roya del café (Castaño, 1988; Castaño et al., 1996, Torres, 1994).

La **predación**, relación ecológica en la cual un organismo, el predador, ingiere y digiere otro organismo, la presa, es otro mecanismo de control biológico que se ha estudiado en el suelo. La predación puede ser holozoica, en la cual ocurre la ingestión inmediata de la presa, o lítica, en cuyo caso los predadores emiten enzimas líticas que la destruyen y posteriormente consumen los productos de la lisis. Los protozoarios (por ejemplo amebas) ilustran el primer tipo, y los hongos (predadores de nematodos), el segundo.

Los nematodos que se alimentan de hongos y bacterias son más abundantes que los fitoparásitos, la mayoría de ellos pertenece a los géneros *Aphelenchus*, *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Neotylenchus* y *Paraphelenchus*. Hay registros en alfalfa de control de patógenos radicales como *Pythium arrhenomanes*, *R. solani* y *F. solani* por el nematodo *Aphelenchus avenae*. También se tiene el caso contrario, los hongos *Nematophora gynophilia* y *Verticillium clamidosporium* que parasitan hembras y huevos de *Heterodera avenae*; la bacteria *Pasteuria penetrans* reduce el ataque de *Meloidogyne* en tomate (Burbano, 1989; Barea y Azcón-Aguilar, 1982).

Una gran cantidad de microartrópodos que incluyen a los ácaros y colémbolos se ha encontrado que se alimentan de hongos y bacterias y podrían tener valor como agentes de control biológico (Lee y Pankhurst, 1992). En el campo es común encontrar ácaros alimentándose de esporas de hongos.

2.2 Insectos

La mayoría, si no todos los conceptos que se han introducido en relación con el manejo ecológico de fitopatógenos, tiene validez cuando se trata del control de insectos que afectan la productividad de los cultivos.

2.2.1. Alternativas desde la planta en sí misma

Si hacemos referencia a mecanismos de la planta en sí, adquiridos en un largo

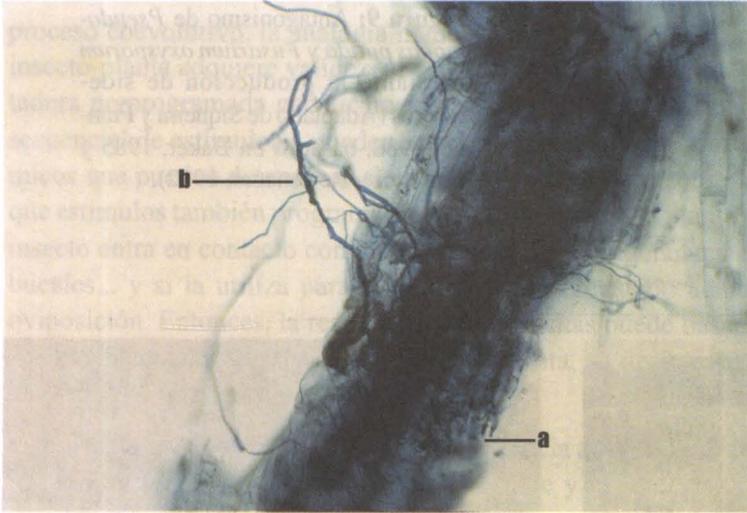


Figura 7. La simbiosis raíz de planta–hongos, llamada endomicorriza juega un papel fundamental en la nutrición y sanidad de las plantas. a) raíz secundaria de café, b) hifas del hongo micorrícico (Foto: Hugo Sierra)

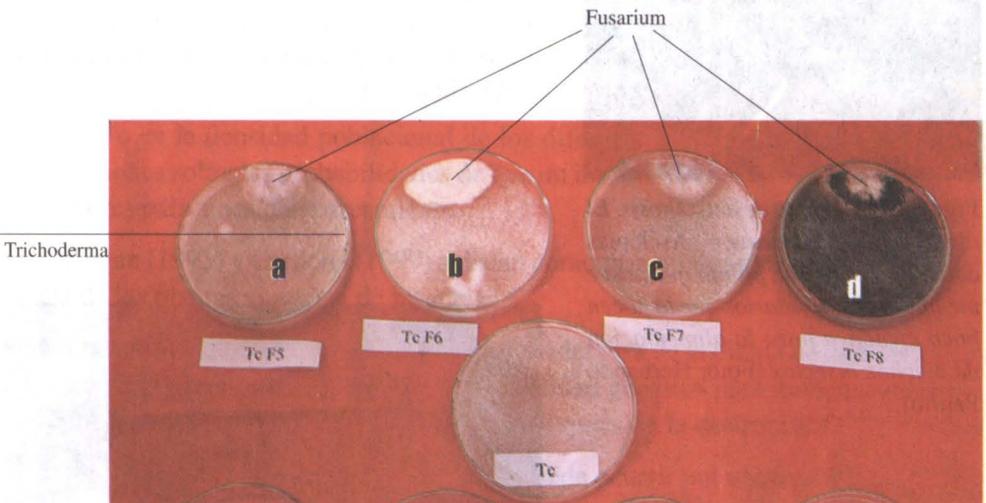


Figura 8. El hongo *Trichoderma* sp es habitante natural de la rizosfera de muchas plantas. Establece relaciones de competencia y de parasitismo con *Fusarium* spp, agente causal de muerte descendente con muchos cultivos y otros hongos patógenos (Foto: E.D. Gómez). a, b y c son relaciones de antagonismo y competencia; d, es un ejemplo de relación parasítica, en la cual *Trichoderma* invade a *Fusarium*.

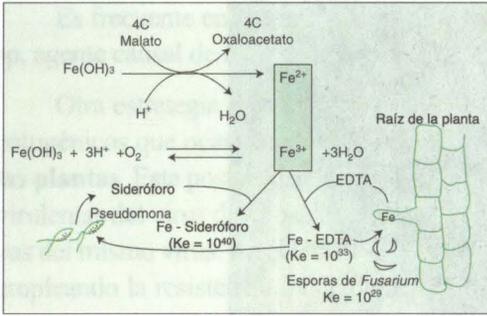


Figura 9: Antagonismo de *Pseudomonas putida* y *Fusarium oxysporum* mediante la producción de sideróforos (Adaptado de Siqueira y Franco, 1988, basados en Baker, 1985 y Jáuregui y Reisenauer, 1982).



Figura 10. Ejemplo de antixenosis. El algodóncillo o bencenuco –*Asclepias curassavica*– es una planta que posee metabolitos secundarios que la hacen poco atractiva para la alimentación de muchos insectos (Foto: Hernando Patiño).

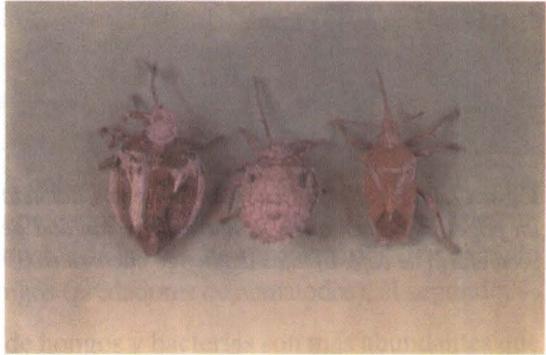


Figura 11: El parasitismo del hongo *Paecilomyces lilacinus* sobre diversas plagas como chinchas y nematodos lo convierte en biocontrol importante dentro del manejo integrado del cultivo de flores (Foto: Hugo Sierra)

Figura 12. La relación depredador-presa es fundamental cuando se trata del control ecológico de insectos plaga (Foto: J. I. Zuluaga).



proceso coevolutivo, la analogía manejada por Kogan (1993) en torno a la relación insecto-planta adquiere validez, al considerar al insecto como “una pequeña computadora preprogramada genéticamente para responder de manera simple a una serie secuencial de estímulos... pueden ser el color de la planta, su forma y estímulos químicos que pueden determinar si el insecto se posa o no sobre la planta ...”, es decir que estímulos también programados genéticamente en la planta van a determinar si el insecto entra en contacto con ella, si prueba sus componentes a través de sus piezas bucales... y si la utiliza para su alimentación en estado adulto, en larva y/o para oviposición. Entonces, la resistencia de las plantas puede basarse en la interferencia de los sistemas de comunicación insecto-planta, es decir, en la interrupción de los mecanismos de comunicación.

También la planta puede mostrar resistencia a través de factores antibióticos que se manifiestan una vez el insecto la consume y se altera su fisiología. En ambos mecanismos, compuestos del metabolismo primario y secundario (terpenoides, productos fenólicos, taninos, flavonoides, cumarinas y alcaloides) juegan un papel fundamental (Cuadro 2).

Torres (1994) sostiene que cambios en la dieta de insectos herbívoros, inducidos por factores ecológicos, han demostrado que la teoría de la coevolución química no basta para explicar la especialización de los herbívoros y que, sin negar el efecto de los productos del metabolismo secundario de las plantas en la preferencia alimentaria o de oviposición de insectos, es necesario reconocer el papel de factores de índole ecológica en estos comportamientos. Como ejemplos cita variaciones en el microclima, en la oferta de determinadas especies de plantas, de espacios libres de depredadores o parásitos o en la densidad poblacional de los diferentes posibles hospedantes y sus implicaciones sobre las probabilidades de que un insecto se encuentre con individuos congéneres para fines de apareamiento.

Kogan (1993) y Cardona (1999) señalan como principales mecanismos de resistencia de las plantas al ataque de insectos:

- **La tolerancia**, en la cual los mecanismos de defensa de la planta no afectan directamente al insecto, sino que ésta tiene habilidad genética para resistir y sobreponerse a un ataque, formando nuevo tejido después de la destrucción.
- **La antixenosis o “no preferencia”**, que puede ocurrir por presencia de una serie de características que hacen que una variedad no sea atractiva para la alimentación del insecto y postura de sus huevos. Por ejemplo, la presencia de tricomas, dureza de tejidos, deposiciones de sílice o superficies cerosas pueden dificultar la oviposición. Otro factor puede ser repelencia hacia los adultos, debida a contenido de aceites esenciales, azúcares, resinas, gomas o néctares (Figura 10).

- **Antibiosis**, en la cual se afecta la fisiología del insecto. Algunos de los factores de antibiosis conllevan disminución de la ingestión por el insecto, y otros la aumentan y producen alargamiento de su ciclo de vida, por lo cual queda expuesto a la acción de sus enemigos naturales por mayor tiempo. Ocurre por la presencia de alomonas, que afectan negativamente al insecto y favorecen a la planta, o por la ausencia de queromonas o kairomonas, sustancias que benefician o favorecen al insecto.
- **Defensas inducidas**, que sólo ocurren como consecuencia del ataque de insectos, a diferencia de la antixenosis y antibiosis que preexisten independiente de la presencia del ataque. Una de las formas más conocidas es la producción de fitoalexinas, que se presentan también ante el ataque de fitopatógenos.

2.2.2. *Alternativas de defensa a partir de la nutrición de la planta*

Si examinamos las defensas de la planta en función de su nutrición, al igual que en fitopatógenos, se acepta que los nutrientes pueden aumentar o disminuir la resistencia de la planta a insectos, debido al efecto de ellos en su desarrollo, en su morfología y anatomía (células epidérmicas más gruesas, mayor lignificación) y en particular en su composición química (mayor producción de sustancias repelentes o inhibidoras).

Altas concentraciones de nitrógeno reducen la producción de compuestos fenólicos y de lignina en las hojas, al mismo tiempo se incrementa la producción de aminoácidos libres que no llegan a proteínas por desbalance mineral, situación que estimula el ataque de insectos chupadores (Figura 6).

La deficiencia de K provoca acumulación de aminoácidos (que contribuyen a la degradación de fenoles) y azúcares solubles, apetecidos por los fitopatógenos e insectos, también retardan la cicatrización de heridas. Micronutrientes como Cu, B, Mn, Fe, Zn están relacionados con el metabolismo de fenoles y lignina, moléculas básicas en la defensa de las plantas. Además de los anteriores, hay registros de Mg, B, P y Ca como nutrientes que disminuyen el ataque de insectos cuando están balanceados (Castaño et al., 1996; Yamil L., 1998).

2.2.3. *Alternativas de defensa a partir de interacciones con otros organismos*

Al igual que en el caso de patógenos, las relaciones que las plantas y los insectos que se alimentan de ellas establezcan con otros seres vivos pueden convertirse en herramientas de biocontrol, como por ejemplo, interacciones planta-planta, insectos-insectos, insectos-microorganismos e insectos - otros organismos y entidades (Figuras 11 y 12).

• Relaciones planta-planta o las plantas para proteger las plantas

Nuestros aborígenes en la época precolombina (hace alrededor de 500 años) manejaban plantas repelentes para contrarrestar el ataque de insectos. Hace aproximadamente 200 años se conocen los extractos de nicotina y posteriormente el piretro con sus piretrinas y otras plantas como alternativas de control.

En cuanto al control de insectos, éste es, tal vez, el campo que más se ha estudiado, teniendo en cuenta que los metabolitos controladores de insectos presentes en una planta, además de beneficiarla individualmente, pueden convertirse en mecanismos de defensa de otra, a través de asociaciones vegetales o mediante la obtención de sus extractos y/o principios activos (Figura 3).

Algunos de ellos pueden actuar como insecticidas, por ingestión o por contacto. Otros pueden obrar como repelentes y causar la dispersión de los insectos. Otros más, pueden impedir la alimentación o sea que actúan como inhibidores alimentarios. Por último, algunos pueden tener efectos hormonales y afectar la metamorfosis y/o atraer a otro insecto y estimular su actividad controladora.

Es muy amplio el número de plantas cuyos extractos se han estudiado como controladores de plagas: barbasco –*Lonchocarpus nicou*–, repollo –*Brassica oleracea*–, girasol –*Helianthus annuus*–, caliandra –*Calliandra*– (control de *Spodoptera frugiperda*), Alchornea triplinervia (control de *Manduca sexta* y *Antonomus grandis*), chamico –*Datura stramonium*–, especies de *Lycopersicon*, melia –*Melia azaderach*–, cardo santo –*Argemone mexicana* (control de *Spodoptera frugiperda*), marco –*Ambrosia peruviana*–, muña –*Minthostachis* spp–, eucalipto –*Eucaliptus* sp–, lantana –*Lantana cámara*–, entre otras (Mejía, 1994; Vergara, 1994 y Gómero, 1994).

En este campo, la práctica ha superado ampliamente el conocimiento de los principios básicos: “...En el caso de la papa en la zona de Boyacá, hay una plaga que ha molestado siempre –la famosa pulguilla o epitrix–, si uno siembra la papa y cada cien metros hace un surco de maíz, el olor del maíz evita que el epitrix ataque la papa... Otro caso es el del tabaco con la yerbabuena. La yerbabuena atrae palomilla o mosca blanca. Si tenemos tabaco negro o rubio, en el momento que comienzan a florecer las hojas se vuelven totalmente pegajosas, entonces nos sirve como planta trampa; pero si tenemos problema de palomilla podemos utilizar caléndula que, a pesar de ser una planta repelente de mosca blanca, al mezclarla con yerbabuena tiene efectos nematocidas en forma secundaria...el rábano rojo que comemos en las ensaladas tiene la ventaja de eliminar la chiza, ...la única explicación técnica que hemos podido encontrar es que el rábano en el momento que comienza a germinar, produce un gas que debilita la piel de la chiza; entonces empiezan a actuar sobre las chizas una serie de hongos y microorganismos que hay en el suelo... Cuando queramos utilizar un insecticida que sea nematocida lo podemos extraer del paico... (Mejía, 1994).

- **Interacciones insectos-insectos; insectos-microorganismos e insectos - otros organismos y entidades como alternativas de defensa de las plantas.**

Dentro de esta potencialidad de control, instituciones como los ingenios azucareros, ICA, CIAT, Cenicafé, las Federaciones de diversos cultivos y las Universidades han sido sitios donde se ha construido el conocimiento que hoy permite que el control biológico de insectos con base en este tipo de interacciones, ocupe un lugar importante dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP), a través del estudio y la utilización sistemática de los enemigos naturales de los insectos: predadores, parasitoides (parásitos) y entomopatógenos.

Zuluaga y Duque (1994) resumen hasta el año 1988 los principales organismos estudiados como controles biológicos en los trabajos de la Sociedad Colombiana de Entomología (Socolen) (Cuadro 5).

Cuadro 5: Principales organismos estudiados como controles biológicos en los trabajos de Socolen 1973-1988 (Zuluaga y Duque, 1994).

Parasitoide	Cultivo
<i>Trichogramma</i> spp.	<i>Zea mays</i> , <i>Sacharum officinarum</i> , <i>Gossipium hirsutum</i> , <i>Glycine max</i> , <i>Oryza sativa</i> , <i>Lycopersicon sculentum</i> , <i>Manihot esculenta</i> .
<i>T. australicum</i>	<i>G. hirsutum</i> , <i>M. Esculenta</i>
<i>T. semifumatum</i>	<i>G. hirsutum</i> , <i>M. esculenta</i> , <i>Desmodium tortuosum</i>
<i>T. armigera</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>T. pretiosum</i>	<i>Z. mays</i> , <i>G. hirsutum</i> , <i>L. sculentum</i> , <i>Amaranthus</i> spp.
<i>T. beckeri</i>	<i>Cupresus lusitanica</i> , <i>Pinus patula</i>
<i>T. minutum</i>	<i>Pinus elliotii</i>
<i>T. exiguum</i>	<i>G. hirsutum</i> , <i>L. sculentum</i> , <i>M. esculenta</i>
Predador	Cultivo
<i>Amblyseius aerialis</i>	<i>Manihot esculenta</i>
<i>A. herbicolus</i>	<i>Rosa</i> spp.
<i>Eseiis concordis</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>E. naindaimeii</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>Galendromus annectens</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>G. helveolus</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>Iphiseiodes zuluagay</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>Neoseilus anonymus</i>	<i>M. esculenta</i> , <i>Rosa</i> spp.
<i>N. chilensis</i>	<i>M. esculenta</i> , <i>Rosa</i> spp.
<i>N. idaens</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>Typhlodromalus limonicus</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>Phytoseiulus persimilis</i>	<i>M. esculenta</i>
<i>P. macropilis</i>	<i>M. esculenta</i>

Hongos entomopatógenos	
<i>Beauveria bassiana</i>	<i>B. tenella</i>
<i>Spicaria</i> spp.	<i>Metarrhizium anisopliae</i>
<i>Noumorea rileyi</i>	<i>Entomophthora</i> spp.
<i>Paecilomyces fumoso-rosseus</i>	<i>P. lilacinus</i>
<i>P. farinosus</i>	<i>Verticillium lecanii</i>
<i>Sporotrix insectorum</i>	<i>Aschersonia</i> spp.
<i>Hirsutella thompsoni</i>	
Bacterias entomopatógenas	
<i>Bacillus thuringiensis</i>	<i>B. popilliae</i>
<i>B. lentimorbus</i>	<i>B. cereus</i>
<i>B. circulans</i>	<i>Bacillus</i> spp.
Virus entomopatógenos	
Virus Poliédrico nuclear	Virus de la Granulosis VG
<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>B. phtorimaea</i>
Nematodos entomopatógenos	
Neoplectana (<i>Steinernema</i>) sp.	<i>Aganomermis</i> sp.
<i>Hexameris</i> sp.	

Según información del profesor Zuluaga⁷, en el último decenio se han registrado otros organismos. Sin embargo, los avances más importantes se centran en estudios básicos que permiten entender el comportamiento de los agentes de control biológico, con especial énfasis en entomopatógenos.

7. ZULUAGA C., José Iván. Entomólogo, Profesor Asociado. Universidad Nacional-Sede Palmira. Nov. 1998.

A esta actividad ha contribuido de manera notable Cenicafé con sus investigaciones sobre el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* para el control de la broca del café: *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Bustillo y Posada, 1994).

“En el XXV Congreso de Socolen (1998) se observó la irrupción de trabajos con componentes biotecnológicos como por ejemplo el uso de marcadores moleculares. Los estudios sobre *B. bassiana* continúan predominando, al igual que estudios sobre *Baculovirus* para el control de plagas en soya y yuca, de *Metharrizium*, *Trichoderma* y de *Steinernema*”.

Se ha pasado de la parte experimental a la industrial con producciones masivas de *Bacillus thuringiensis* con sus diferentes cepas y formulaciones que trabajan en unas especies más que en otras; *Metharrizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces fumoso-rosseus*, entre otros (cabe citar a Cenicafé, Laverlam y Coinbiol).

3. Algunas reflexiones

El desarrollo de los insecticidas, fungicidas y otros agroquímicos mejoró las producciones agrícolas y contribuyó al decrecimiento de las enfermedades humanas transmitidas por vectores de patógenos (caso de insectos). Sin embargo, los desequilibrios que ocasionaron en los agroecosistemas se manifestaron más tarde en problemas tales como la salud humana, aumento de la resistencia en las poblaciones de insectos y microorganismos, la contaminación ambiental, descontrol del balance natural, etc. Durante el auge de su uso, la investigación y manejo del control biológico como alternativa para el manejo de las plagas pasó a segundo plano; a pesar de ello, ha estado allí en forma natural o manejado en la periferia por algunos visionarios.

En este breve recorrido por las bases del manejo ecológico de patógenos e insectos que causan daño a las plantas, uno logra entender que hay un gran potencial por explorar dentro de estas alternativas que pueden constituir soluciones. Sin embargo, para su manejo se requiere una concepción agroecológica, que permita comprender la biología, la ecología, el comportamiento de los organismos y sus interacciones con el ambiente abiótico y con otros organismos con los cuales comparten hábitat, nicho o ambos (Figura 3). Se entiende también que es necesario integrar conocimientos, pues algunos de estos mecanismos biológicos pueden tener acción tanto sobre fitopatógenos como sobre insectos dañinos.

No se ha hecho mención a los logros biotecnológicos a través de los cuales se han transformado plantas y se les ha incorporado genes de resistencia a insectos plagas, introduciéndoles por ejemplo aquella parte del genoma de la bacteria *Bacillus thuringiensis* donde está la información que codifica las toxinas encargadas del control, y en otros casos, resistencia a herbicidas, entre otros. Esta ya es una realidad y es uno de los temas principales de investigación por parte de empresas transnacionales, universidades y diversas instituciones. La pregunta es: ¿Será ésta la mejor solución al problema de plagas? ¿Será simplificando los agroecosistemas como se obtiene el remedio? ¿Dejaremos desaparecer nuestras especies sin conocer sus usos y potencialidades? El profesor Patiño (1984) señalaba los sistemas selváticos tropicales y el resto de ecosistemas derivados de aquellos como un banco inmensurable de germoplasma de plantas, insectos, microorganismos, micorrizas, etc. Las investigaciones básicas de recursos que luego se convierten en fruto de industrias (medicinas, antibióticos, etc.) han partido de estos bancos inmensurables. ¿Será que nosotros estamos llamados a verlos salir enteros y que nos los devuelvan empacados?

Cabe el peligro de que pasemos de la revolución verde a la revolución biotecnológica sin comprender todas sus implicaciones y no le demos espacio, además del conocimiento científico, a una reflexión ética que asuma que la superviven-

cia de nuestro planeta está en juego y que si agotamos su resiliencia el futuro está comprometido. Es la primera vez en la historia de la humanidad que, conscientemente, el equilibrio depende de responsabilidades.

Algunos autores citados por el profesor Vergara (1994) plantean que en la química moderna se han aislado unos diez mil metabolitos de plantas, pero se cree que ellos pueden llegar a cuatrocientos mil metabolitos secundarios como glicósidos, quinonas, fenoles, cumarinas, alcaloides, esteroides, poliacetilenos, algunos de los cuales pueden actuar como antialimentarios, otros como repelentes, como disuasores alimenticios, y otros como estimulantes.

Si hablamos del conocimiento acerca de organismos benéficos –insectos (allí se han centrado los mayores avances, posiblemente), microorganismos, nematodos, etc.– la lista se amplía. Se requiere entonces un esfuerzo investigativo enorme y apoyo económico decidido para acercarnos a esta realidad.

Los grupos de fitomejoradores, fitopatólogos, biólogos y biotecnólogos, bioquímicos y fitoquímicos, entre otros, trabajando en equipo, tienen un inmenso campo de acción cuando se trata de explorar y poner al servicio todas estas posibilidades de defensa de las plantas.

Bibliografía

- AGRIOS, G.N. 1996. *Fitopatología*. Editorial Limusa. México. pp 93-105.
- ÁNGEL M., A. 1996. *El reto de la vida*. Ecosistema y cultura. Una introducción al estudio del medio ambiente. Ecofondo, 109p.
- ATEHORTÚA, L. 1994. *Retrospectiva de los plaguicidas de origen vegetal*. Simposio sobre extractos de plantas con poder insecticida. XXI Congreso de Socolen. Julio 27 al 29, pp 186-224.
- BENJUMEA, C., SÁNCHEZ de P., M. y MIRANDA, J.C. 1996. *Actividad microbiana en tres agroecosistemas en Rozo (Valle)*. Ascolfi Informa. 22(1): 5-7.
- BIOLOGICAL CONTROL. Capítulo 15 de libro. p.177-185 (fotocopia)
- BULIT, J. 1979. *La utilización del antagonismo de los microorganismos en la lucha biológica*. Revista Extensión Agraria. p. 90-94.
- BURBANO O., H. 1989. *El suelo: una visión sobre sus componentes biogénicos*. Un. de Nariño. Pasto. 127-131.
- BUSTILLO, A.E. y POSADA, F.J. 1994. *El control biológico como un componente del manejo ecológico de la broca del café*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. p.155-160.
- CARDONA, C. 1999. *Entomología económica y manejo de plagas*. Material para docencia. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. 99p.
- CASTAÑO Z., J. 1988. Resistencia inducida en frijol *Phaseolus vulgaris* L. contra roya *Uromyces phaseoli* (Reben) Wint con un aislamiento avirulento de *U. phaseoli* o de *Hemileia vastatrix* Berk et Br. *Fitopatología Colombiana* 12(1 y 2): 14-19.
- CASTAÑO Z., J.; VILLEGAS E., B.; GAVIRIA S., J. L.; VILLEGAS G., C.; MÁRQUEZ S., M. y PÉREZ N., J.C. 1996. *Manejo de enfermedades en plantas: una revisión*. *Fitopatología Colombiana* Vol. 20, No. 2 pp 69- 80.
- CHABOUSSU, F. 1987. *Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: A teoria de trofobioses*. Ma. J. Guazzell (Trad). Porto Alegre. L & PM. 256p.
- CHILTON, M. 1983. *Un vector para introducir genes en vegetales*. Investigación y Ciencia. p.20-30.
- COREA, J. A. 1994. *Función protectora de los metabolitos secundarios en las plantas*. Simposio sobre extractos de plantas con poder insecticida. XXI Congreso de Socolen. Julio 27 al 29, pp 226-251.
- ESTRADA, A.M. y SÁNCHEZ de P., M. 1999. Antagonismo "in vitro" del agente causal de la secadera del maracuyá – *Fusarium sp* y cepas de *Trichoderma* spp. Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Trabajo Especial (Inédito). 20pp.
- GARCÍA, J.A. y BUSTAMANTE, E. 1993. Efecto del fósforo y del calcio en la severidad del tizón temprano *Alternaria solani* en tomate, al nivel de invernadero. *Manejo Integrado de plagas (Costa Rica)* No. 29. p1-5.
- GOMERO O., L. 1994. *Experiencias de alternativas agrícolas aplicables en la zona andina*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. pp 104-114.
- GÓMEZ Z., J. 1994. *Estrategia nutricional para el manejo sanitario del cultivo del manzano en zona cafetera*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. pp 122-125.
- GROS, E.G.; POMILIO, A.B.; SELDES, A.M. y BURTON, G. 1985. *Introducción al estudio de los productos naturales*. OEA, Washington, 145p.

- KAUFMAN, D.D. y WILLIAMS, L.E. 1964. *Effect of mineral fertilization and soil reaction on soil fungi*. Phytopathology vol. 54. p134-139.
- KOGAN, M. *Principios de la relación insecto-planta y su aplicación en la resistencia varietal*. 1993. En: Reyes, J.A. (Edit). Yuca: control integrado de plagas. Pnud-Ciat. Palmira. p 33-44.
- KUNO, G.; MULETT, J. y DE HERNÁNDEZ, M. 1982. *Patología de insectos con énfasis en las enfermedades infecciosas y sus aplicaciones en el control biológico*. Universidad del Valle. 2a. de. Cali. 212p.
- LEE, K.E. y PANKHURST, C.E. 1992. *Soil organisms and sustainable productivity*. Aust. J. Soil Res. 30: 855-892.
- MEJÍA, J. 1994. *Experiencias con el uso de extractos orgánicos en el manejo de enfermedades y plagas agrícolas*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. pp 136- 141.
- OROZCO de A., M.; GARCÉS de G., E. y ARBELÁEZ, G. 1988. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno, potasio y pH en el desarrollo de *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi*, agente causal del marchitamiento vascular del clavel. Agronomía Colombiana. pp 90-102.
- PATIÑO C., H. 1984. *Las micorrizas como componentes simbióticos de los sistemas selváticos tropicales. Implicaciones ecológicas y agronómicas*. En: Sieverding, E., Sánchez de P., M. y Bravo O., N. (Edit). Memorias I Curso Nacional sobre Micorrizas. U. Nal. Palmira. 11p.
- SANTANA, C; SEGURA, D. y SÁNCHEZ, S. 1994. *Síntesis, función y origen evolutivo de los metabolitos secundarios producidos por microorganismos*. Rev. Lat.-Amer. Microbiol. 36: 13 -158.
- SÁNCHEZ de P., M. 1999. *Endomicorrizas en algunos agroecosistemas de Colombia*. Editorial Universidad Nacional - Sede Palmira. 227p.
- SIQUEIRA y FRANCO, 1988. *Biotecnología do solo. Fundamentos e perspectivas*. Ministerio de Educación. Lavras. p111-112.
- TORRES, E. 1994. *Enfoques para un manejo ecológico de poblaciones de fitopatógenos*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. p. 161-169.
- YAMADA, T. 1995. *La nutrición mineral y la resistencia de las plantas a las enfermedades*. Informaciones Agronómicas Inpofos. No. 23 - Abril 1996. 4p.
- YAMIL R., L.E. 1998. Relación entre nutrición mineral y resistencia de las plantas a enfermedades. Universidad Nacional de Colombia. Seminario estudiantes de posgrado. 9p.
- VERGARA, R. 1994. *Investigaciones sobre extractos de plantas con propiedades insecticidas*. En: Memorias II Simposio Internacional y III Nacional: "Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud humana". Mayo 23-25/94. U. Nacional - Sede Palmira. pp 174-180.
- ZULUAGA C., J.I. y DUQUE, N.C. 1989. *La investigación sobre control biológico a través de quince años de Socolen. Caracterización y enfoque*. En: Palacios, F.; Arciniegas, I.C. y Astudillo, A.M. (Edit). 1994. El control biológico en Colombia. Historia, avances, proyecciones. U. Nal de Colombia - Palmira. p.10-17.

MARINA SÁNCHEZ DE PRAGER

Es ingeniera agrónoma vinculada a la Universidad Nacional – Sede Palmira, institución en la cual realiza actividades de docencia, investigación y extensión en las áreas de sanidad vegetal, biología y microbiología del suelo. Ha orientado su trabajo de investigación hacia la búsqueda de sistemas de agricultura con manejo agroecológico, en los cuales el componente suelo sea validado como recurso fundamental.

MARTÍN PRAGER MOSQUERA

Es ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira, vinculado a programas de desarrollo rural en regiones de economía campesina, desde donde lideró proyectos orientados a generar opciones tecnológicas para los agricultores. Trabajó en instituciones como CIAT, participando en investigación al nivel de fincas. Actualmente labora en la Universidad Nacional – Sede Palmira en el área de Agroecología, en la cual realiza actividades de docencia, investigación y transferencia.

**En la medida en que analicemos
holísticamente
los agroecosistemas
encontraremos soluciones
sostenibles para el manejo
de los problemas fitosanitarios.**

M&M

ISBN 958809507-7



9 789588 095073