

CONTROL BIOLÓGICO: CIENCIA Y CONCIENCIA.

*Charles MacVean **

Este último trabajo del simposio trata de enfocar la pregunta ¿Cómo se puede asegurar el éxito del control biológico en Centroamérica? El trabajo es más un ensayo especulativo y conceptual que una presentación de datos concretos o hipótesis comprobadas, y el propósito de esta discusión es plantear metas y direcciones que puedan estimular el desarrollo del control biológico en instituciones de investigación y educación centroamericanas. Ya que mi ocupación es de profesor e investigador universitario, los puntos de vista que presento tienen indudablemente un sesgo académico. Además, existirá un sesgo guatemalteco en los argumentos que planteo, ya que mi experiencia centroamericana fuera de Guatemala es limitada. Sin embargo, espero que estos sesgos sirvan para estimular comentarios y argumentos desde otros puntos de vista.

Para contestar la pregunta planteada arriba, haré referencia a cuatro diferentes aspectos del control biológico, a saber:

- a) control biológico como ciencia ecológica vs. tecnología aplicada;
- b) el "arsenal" del control biológico en relación a la biodiversidad agro-forestal;
- c) el control biológico en relación al control químico con sustancias de origen natural;
- d) la educación y enseñanza del control biológico.

Antes de entrar a la discusión de estas cuatro áreas, quisiera enmarcar la discusión del control biológico dentro de un contexto de "paisaje ecológico" y no meramente en el contexto de un cultivo o agroecosistema en particular. Con "paisaje ecológico" me refiero a una unidad geográfica y ecológica que incluye un mosaico de ecosistemas interactuantes y que contempla además el papel que juega el hombre. Por ejemplo, un paisaje podría consistir de: bosque + cultivos agrícolas + río + hombre. La razón de enmarcar tan ancho panorama es que el desarro-

*Universidad del Valle de Guatemala, Apartado Postal 82, Guatemala, Guatemala 01901.

llo del control biológico necesita tomar en cuenta las inter-relaciones entre estos diferentes sub-sistemas; ecológicamente, los componentes son inter-dependientes, y además el hombre que utiliza el control biológico en el campo interactúa con todos los componentes simultáneamente. Por ejemplo, para un buen manejo de plagas en un cultivo anual que está bordeado por bosque en un lado y un campo de malezas en otro, será necesario comprender el flujo de plagas y agentes de control entre el bosque, las malezas y el cultivo. Asimismo, el control biológico de un vector de enfermedades, por ejemplo *Anopheles albimanus* Wiedemann, no podrá ser confiable si no se conoce el uso de plaguicidas en los cultivos adyacentes a los criaderos acuáticos de zancudos.

CONTROL BIOLÓGICO COMO CIENCIA ECOLÓGICA Y TECNOLOGÍA APLICADA

Los estudios ecológicos realizados desde fines del siglo pasado nos han demostrado que existen dimensiones ecológicas determinantes para el uso aplicado del control biológico. Estos factores incluyen el hiperparasitismo, el movimiento y comportamiento de búsqueda del parasitoide o depredador, el espectro de hospederos del agente biológico, la ecología química e interacciones tri-tróficas entre planta-plaga-parasitoide, y muchos otros aspectos (Kogan, 1986). Sin embargo, estos factores raramente se estudian o divulgan en Centroamérica antes de promover el uso de algún control biológico, y éste se impulsa más como una táctica de "prueba y error" a ciegas. En el mejor de los casos y teniendo mucha suerte, esta táctica elimina rápidamente los controles biológicos que no funcionan e indica cuáles sí funcionan. Sin embargo, en la mayoría de los casos, esta táctica produce gastos de tiempo y dinero innecesarios para llegar a conclusiones que podrían haber sido previstas por medio de experimentación controlada y científica, o simplemente por una buena revisión de la información ya disponible sobre el agente de control. El resultado más dañino de la "promoción a ciegas" del control biológico es la pérdida de credibilidad que infunde en el usuario. Por ejemplo, el patógeno *Nosema locustae* King & Taylor (Protozoa, Microsporidia) (un protozoario que ataca a diversas especies de ortópteros) sufre actualmente de una falta total de credibilidad en los Estados Unidos debido a la promoción y venta indiscriminadas hace unos cinco años. La investigación ha demostrado que *N. locustae* puede ser efectivo para reducir paulatinamente las poblaciones de saltamontes en pastizales si se identifica cuidadosamente la etapa susceptible del hospedero acrídido, se utiliza la dosis correcta de aplicación (Henry *et al.*, 1973) y se limita a especies de acrídidos susceptibles (MacVean & Capinera, 1992). Sin embargo, fue sobreendido como una herramienta que podía susti-

tuir rápidamente el control químico, sin tener claras las limitantes biológicas y ecológicas del patógeno. El agricultor que compró y creyó en *N. locustae* en un principio difícilmente será usuario y defensor del control biológico en el futuro.

En Guatemala, tiende a suceder actualmente con *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) lo que ha sucedido con *N. locustae*. La presión de venta y promoción ha creado la impresión entre algunos usuarios novatos que el Bt es un producto que se puede utilizar para casi cualquier plaga, y que utilizarlo es sinónimo con "manejo integrado de plagas"! He sabido de casos en que el Bt var. *kurstaki* se aplica para un supuesto control de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius). Este tipo de abuso de los agentes de control biológico representa pérdidas económicas y pérdidas de la credibilidad de productos buenos pero con usos limitados.

El caso de Bt requiere simplemente una buena difusión de información ya disponible sobre su biología y uso. Un caso en donde se necesita información ecológica nueva es la introducción a Guatemala del afelínido *Aphelinus mali* (Haldeman), importada hace algunos años para control del pulgón lanífero, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (J. Schuster, com. pers.). Si se estableció localmente o no, no se sabe. Si es un parasitoide efectivo o no, y por qué, tampoco se sabe. Muchas preguntas interesantes relacionadas con los factores determinantes mencionados al principio de este ensayo quedan sin contestar. Es necesario darle un enfoque de evaluación e investigación ecológica a las introducciones de parasitoides para poder llegar a hacer un uso racional y atinado de ellos.

A pesar de la falta de investigación básica en Centroamérica, el control biológico ha empezado a ser aceptado como concepto y como práctica, gracias a agentes como el Bt, ciertos VPN's (virus de polihedrosis nuclear) y algunos otros, que han demostrado que el control biológico funciona. Considero de suma importancia que este avance se entienda como un inicio positivo pero frágil, sujeto a ser perdido si la ciencia no acompaña el desarrollo de la tecnología. Además, la búsqueda de controles biológicos y la ciencia que los evalúa deberán convertirse gradualmente en procesos autóctonos de la región centroamericana, y depender menos de la importación tanto de agentes de control como de conocimientos y tecnología. La región centroamericana con su diversidad de micro-ambientes físicos y biológicos no es ecológicamente equivalente al Valle Imperial de California, ni Georgia, ni la Florida, etc. Los conocimientos sobre cuáles controles biológicos pueden tener buen resultado saldrán obligadamente de investigaciones locales, aun con plagas im-

portadas, ya que el comportamiento de estas plagas y sus enemigos naturales está condicionado por los ambientes locales. La investigación y tecnología extranjera deben utilizarse como puntos de partida y de referencia, pero no como sustitutos del conocimiento local. Por ejemplo, las moscas del gusano barrenador del ganado, Cochliomyia hominivorax (Coquerel), son genéticamente y etológicamente distintas en el sur de México que en el sur de Estados Unidos. Las cepas que se han usado para crianza, esterilización y liberación de estas moscas, así como la metodología de dispersión en el campo, han sido escogidas y desarrolladas conforme a estas variantes locales, lo cual ha conducido a un manejo sumamente exitoso de la plaga (Brenner, 1984; La Chance *et al.* 1982)

EL "ARSENAL" DEL CONTROL BIOLÓGICO: LA BIODIVERSIDAD AGRO-FORESTAL

Si el objetivo es desarrollar el control biológico autóctono, ¿dónde han de buscarse los agentes de control? A medida que ha avanzado el conocimiento de la riqueza biológica del planeta, la sistemática y la taxonomía han ido apuntando que los ecosistemas de mayor diversidad son los bosques tropicales (Wilson, 1989). Es decir, son los bosques los recintos de la mayor biodiversidad aun por conocer, y también con el mayor peligro de desaparecer. Por lo tanto, es lógico pensar que los bosques hospedan a un gran número de enemigos naturales todavía aguardando ser descubiertos y utilizados.

Pero, ¿enemigos de quién? Si pensamos que los cultivos agrícolas anuales son los que representan el mayor uso de tácticas de control de plagas, ¿será de utilidad buscar agentes de control biológico en los bosques? Creo que sí, por varias razones. Primero, la predominancia de los cultivos anuales está empezando a ceder a nuevos cultivos forestales y agro-forestales. Las plantaciones comerciales de árboles están atrayendo poco a poco la atención del sector agrícola, y aunque actualmente la mayor parte de estas siembras son de especies exóticas (Eucalyptus, Gmelina, Casuarina, etc.), también incluyen un número creciente de coníferas nativas (Pinus, Cupressus), y a medida que se desarrolle el conocimiento para su cultivo, especies latifoliadas. Por ejemplo, plantaciones jóvenes del pino de ocote, Pinus caribea Mor., en el oriente de Guatemala sufren actualmente de ataques serios de cogolleros del género Rhyacionia, lo cual ha ocasionado un uso irracional de plaguicidas (Claudio Méndez, com. pers.). Estos cultivos arbóreos necesitan agentes de control biológico para plagas arbóreas.

Segundo, el manejo sostenible de bosques naturales como fuentes de productos maderables y no maderables, está recibiendo cada día más importancia como un área en la que necesitamos conocimientos científicos y tecnológicos. Los procesos de control natural de insectos fitófagos en los bosques, o sea las potenciales plagas de este "cultivo", son casi totalmente desconocidos en Centroamérica. Al conocerse, podrán ser utilizados para el manejo de plagas en un bosque natural. Por ejemplo, los gorgojos del pino, *Dendroctonus* spp., son plagas bien conocidas desde hace muchos años en Guatemala en bosques naturales, pero sus agentes de control natural no han sido estudiados ni utilizados (Dix et al. 1978).

Tercero, los sistemas agro-forestales de cultivo, sean de policultivos de especies anuales y de árboles, o bien mosaicos de cultivos anuales colindando con bosques, representan sistemas ecológicos en donde el flujo de plagas y sus enemigos naturales entre bosque y cultivo es casi desconocido por la ciencia. A medida que se establezca algún equilibrio (esperemos que así sea) entre la frontera agrícola y los bosques, lo que sucede en el ecotono bosque-cultivo se volverá importante para manejar las plagas de ambos ambientes. En todos los trópicos, el Plan de Acción Forestal mundial pretende lograr, entre muchos otros objetivos, este equilibrio entre bosque y agricultura. En el caso particular del Plan de Acción Forestal para Guatemala (PAFG, 1992) el reto de los planteamientos del Plan para la protección y el desarrollo del recurso boscoso se ha aceptado con seriedad por muchas organizaciones nacionales y es de esperarse que el equilibrio mencionado se empiece a manifestar en la década venidera.

Ahora bien, ¿qué razones existen para decir que las plagas y los enemigos naturales de los bosques tengan vínculos ecológicos con los habitats vecinos, sobretodo los agrícolas? El siguiente ejemplo anecdótico ayudará a plantear el razonamiento.

En cafetales de Guatemala, se dan cada año explosiones de población del "chalunero" (especie no identificada de Lepidoptera, Noctuidae), cuya larva defolia severamente los árboles de sombra, *Inga* spp. Los brotes de chalunero se dan de julio a agosto o septiembre, y luego la palomilla desaparece dramática y totalmente del cafetal. Hemos encontrado varias especies de himenópteros parasíticos (Braconidae e Ichneumonidae) que probablemente contribuyen al colapso de la población. ¿Dónde se encuentran o desarrollan los chaluneros y sus parasitoides el resto del año? Posiblemente en un hospedero alterno anual, o perenne, en cultivos o bosques vecinos, no sabemos. En cualquier caso no se encuentran en ninguna planta de la comunidad vegetativa del cafetal, lo

cual demuestra que los insectos están migrando de un medio agroecológico a otro. Es decir, el control biológico aparente del chalunero en cafetales está ligado a procesos de intercambio con otros ecosistemas. Aparte de ejemplos descriptivos como el del "chalunero", hay poca evidencia concreta de vínculos dinámicos entre bosques y agro-sistemas con respecto a agentes de control biológico. Sin embargo, la existencia de tales vínculos se puede deducir de las siguientes observaciones. Muchos de nuestros cultivos domesticados tienen su origen en bosques de alguna clase, por ejemplo el algodón, arroz, maíz, frijoles, camote, sorgo, y gramíneas de pastizal (Janzen, 1989). Es lógico pensar que los enemigos naturales que han evolucionado con estas plantas en su habitat de origen podrían tener valor como agentes de control biológico en los cultivos derivados de estos ancestros.

Además de esta conexión evolutiva entre cultivos y bosques, existe un buen número de familias de insectos representadas tanto por especies boscosas como agrícolas. Entre las familias con insectos plagas en ambos ambientes podemos considerar como ejemplos Tortricidae, Noctuidae, Geometridae y Pyralidae (Lepidóptera); Curculionidae, Scarabaeidae (Coleóptera); Aphididae (Homóptera); Tetranychidae (Acari). Entre grupos de organismos benéficos tenemos Carabidae y Coccinellidae (Coleóptera); Chrysopidae (Neuróptera); Tachinidae, Syrphidae, Asilidae (Diptera); Vespidae, Formicidae, y muchas avispas parasíticas (Hymenóptera); Steinernematidae y Heterorhabditidae (Nematoda); y sin duda muchos otros. A veces, el mismo género ocurre en ambos ambientes, como por ejemplo los depredadores del género *Calosoma* (Carabidae), o el género *Epinotia* (Olethreutidae) que se conoce principalmente como plaga de árboles pero que se encuentra en ejote francés (hortaliza) en Guatemala. En el caso de insectos acuáticos vectores de enfermedades humanas, los simúlidos (*Simulium* spp., vectores de oncocercosis) y zancudos (*Anopheles* spp., vectores de malaria) se encuentran tanto en ambientes boscosos como agrícolas. Los vectores de leishmaniasis (*Phlebotomus* spp.) habitan el bosque y el ecotono agrícola-forestal y constituyen una plaga importante en ambos ambientes.

Necesitamos determinar hasta qué punto existen enemigos naturales de tipo generalista, que podrían derivarse del bosque para un uso en control biológico en cultivos agrícolas (o viceversa). Considero de particular interés estudiar los procesos de control natural en los ecotonos bosque-cultivo, en donde existe contacto físico y traslape de los dos ambientes, y en los claros de bosque, ocasionados por la caída de un árbol o por el fuego, ya que aquí se dan eventos de colonización y crecimiento rápidos que podrían atraer especies con atributos ecológicos similares a las que colonizan un cultivo anual.

En conclusión, el bosque debe considerarse como un recurso para la agricultura, no solo como fuente de nuevos genotipos de plantas silvestres para mejorar los cultivos, sino como fuente de enemigos naturales para las plagas agrícolas y forestales. La actual corriente mundial que clama por catalogar y proteger la biodiversidad del planeta debería llamar el interés de los "MIPólogos" tanto como el de los ecólogos.

EL CONTROL BIOLÓGICO Y EL CONTROL QUÍMICO CON SUSTANCIAS DE ORIGEN NATURAL

Hoy en día sucede que los practicantes y promotores del control biológico rechazan al control químico como un concepto anticuado y peligroso. Sin embargo, a veces pasa desapercibido el hecho que el éxito del *Bt* se debe a su naturaleza como un control químico! Aunque está claro que el control químico tradicional, a base de productos sintéticos, está dejando de ser efectivo y ha producido grandes problemas de contaminación ambiental, también es cierto que el control químico con bio-plaguicidas, o sea sustancias químicas de origen natural, está actualmente en su infancia y promete alcanzar un desarrollo significativo. En este sentido, el control químico tradicional nos lega un conocimiento rico en conceptos y tecnología (por ejemplo, Matsumura, 1985) que se pueden utilizar para el desarrollo de sustancias bio-químicas. Lejos de rechazarlo como inútil, debemos aprovechar sus logros en toxicología, producción, formulación, y aplicación de productos para el desarrollo de una nueva generación de plaguicidas.

Creo que el panorama para el desarrollo de bio-plaguicidas seguirá el curso que muestra la Figura 1, en el que el descubrimiento y uso de las toxinas del *Bt* y los extractos de neem, proveniente del árbol *Azadirachta indica* Juss, son sólo un inicio. Así como el bosque tropical es un recinto de diversidad de especies, es también un arsenal químico enorme de compuestos producidos por plantas (Farnsworth, 1989; Simposio de Plaguicidas Botánicos, este volumen), insectos (Eisner, 1990) y microorganismos como *Bt*. Apenas se ha empezado a conocer y explotar esta riqueza química, pero esfuerzos como los de Merck en Costa Rica para buscar nuevas drogas en plantas demuestran una tendencia creciente.

Es importante señalar que la riqueza no yace únicamente en las plantas, sino en los conocimientos etnobotánicos de las poblaciones indígenas que han hecho uso del bosque a través del tiempo (Pöhl, 1992). La búsqueda de nuevos bio-plaguicidas debe aprovechar este conocimiento, por anecdótico o informal que sea, ya que representa décadas,

sino siglos, de observaciones e interacción con la naturaleza por los pueblos nativos.

A medida que se van cerrando las puertas del control químico sintético, las oportunidades y mercados para el uso de nuevos productos de origen natural aumentarán, tanto en Centroamérica como en el resto del mundo. Es importante que el desarrollo del control biológico y de este nuevo control químico se den en concierto, ya que se afectan mutuamente. Las interacciones tri-tróficas mencionadas al principio de este ensayo vienen al caso. Por ejemplo, ciertos compuestos químicos producidos en los tejidos de una planta pueden conferirle cierta resistencia frente a una especie de plaga, pero ser tóxicos para los parasitoides que atacan a la plaga (Duffey & Bloem, 1986). Por otro lado, si la plaga es un insecto que ha evolucionado junto con esta planta, puede tener mecanismos para detoxificar el compuesto y utilizar efectivamente la planta como su hospedero (Ehrlich & Raven, 1964; Spencer, 1988; Young, 1982). Es decir que todas estas relaciones implican un manejo integrado de un sistema que incluye química vegetal, plaga y enemigos naturales. A su vez, este manejo integrado implica tener un buen conocimiento científico del sistema en cuestión, lo cual depende de investigación rigurosa y dedicada por las instituciones de la región.

¿Cómo podemos llegar a conocer y utilizar el "arsenal" del control biológico y del control químico de origen natural?

El primer paso es aprovechar la oportunidad que ofrece la corriente actual de conocer, justificar y salvar la biodiversidad de la región centroamericana. Los especialistas en MIP y en control biológico, y los agrónomos pueden concertar esfuerzos con los ecólogos conservacionistas para buscar nuevos agentes de control. El beneficio es mutuo, ya que el uso aplicado de una especie nueva ofrece credibilidad a los esfuerzos por conservarla, y el control biológico necesita de la búsqueda taxonómica y la evaluación ecológica para ampliar la gama de agentes de control disponibles. Las universidades e instituciones de investigación biológica de la región centroamericana tienen una responsabilidad importante en llevar a cabo esta unión de ecología y agronomía.

LA EDUCACION Y EL CONTROL BIOLOGICO

He mencionado que una unión entre agrónomos y ecólogos podría ser muy productiva. Este esfuerzo compete a las universidades, instituciones internacionales y el sector profesional privado. Existen casos en que se da esta colaboración, pero en general la ecología conservacionista, protectora de biodiversidad, y la agronomía son mundos aparte. A

pesar de que la práctica del MIP y del control biológico está principalmente en manos de agrónomos (o de personas con una formación totalmente ajena a las ciencias biológicas y agrícolas), la formación de éstos no incluye los ingredientes ecológicos ni químicos necesarios para el desarrollo que se ha planteado en este ensayo. Por otro lado, los biólogos faltos de conocimientos agrícolas son malos asesores y consejeros para el desarrollo de una agricultura ecológica. Las universidades pueden contribuir enormemente a cerrar la brecha, enfocando el currículum de biólogos y agrónomos de manera integrada; el objetivo debería ser formar profesionales que al graduarse puedan comprender y operar efectivamente tanto en el campo ecológico como en el agrícola. Desafortunadamente, esto sucede en pocas instituciones.

La responsabilidad de producir profesionales que promuevan el desarrollo del control biológico y el uso racional de recursos naturales no es solo de la educación superior, sino puede iniciarse con la formación primaria del individuo. ¿Por qué esperar hasta la universidad para enseñar el concepto de control biológico? Esto equivale en cierta manera a enseñar un idioma extranjero a un adulto en vez de empezar en la niñez, y todos sabemos el resultado de esto! Me temo que la actual falta de responsabilidad en el manejo de recursos naturales se debe en parte al mismo problema.

De hecho, la enseñanza del control natural de poblaciones al niño no es una idea nueva. Existe en Guatemala una serie de guías curriculares y planes de trabajo para la educación primaria y secundaria en recursos naturales, que incluye temas de control biológico (Universidad del Valle de Guatemala, 1976). Hasta la fecha, este material no ha sido bien recibido por el sistema de educación pública en el país, pero se está preparando una nueva presentación revisada (Gloria Aguilar, com. pers.).

Es difícil cambiar hábitos y formas de percibir el mundo natural en el adulto. Creo que el utilizar un agente de control biológico, así como no talar innecesariamente un árbol, no tirar basura en la calle, o no contaminar un río con desechos tóxicos, son consecuencias de valores y actitudes tanto como resultantes de la enseñanza tecnológica y científica a nivel profesional. Sugiero que la educación primaria podría facilitar el desarrollo del control biológico, introduciendo conceptos de niveles tróficos, enemigos naturales, contaminación ambiental, etc. antes de la formación técnica y profesional del individuo. Facilitaría mucho el desarrollo del control biológico el que el agrónomo profesional considerara como intrínsecamente más deseable el uso de una táctica de control natural que la aplicación de un plaguicida sintético, y por lo tanto buscara en primera instancia los métodos biológicos. Actualmente, sucede

lo contrario: el control biológico se utiliza principalmente cuando el control químico falla.

CONCLUSIONES

1. El éxito del control biológico en Centroamérica requiere mejores vínculos con las ciencias ecológicas, que deben buscarse a través de las universidades y otras instituciones de investigación. La promoción y comercialización con tácticas de prueba y error dominan actualmente el desarrollo del control biológico, y ofrecen logros muy limitados a largo plazo.
2. La corriente de protección de biodiversidad y de desarrollo agroforestal ofrece oportunidades valiosas para incrementar el arsenal de agentes de control biológico para el área centroamericana. Los bosques y los sistemas agroforestales constituyen una riqueza poco explorada de parasitoides, depredadores patógenos, y de sustancias químicas de origen natural con acción plaguicida.
3. Al reducirse el uso de plaguicidas sintéticos, se irá abriendo el uso de plaguicidas de origen natural. La ciencia y tecnología creada a base de productos sintéticos debe aprovecharse, en vez de rechazarse, para el conocimiento y desarrollo de productos naturales.
4. La educación juega un papel importante en el éxito del control biológico. La formación profesional de agrónomos y ecólogos debe integrarse para lograr colaboración estrecha en la búsqueda, evaluación y comercialización del control biológico. La educación ambiental a nivel primario puede hacer mucho por crear en el niño los conceptos, valores y actitudes que favorecen la aceptación y desarrollo del control biológico por el profesional adulto.

LITERATURA CITADA

- BRENNER, R. J. 1984. Dispersal, mating and oviposition of the screwworm (Diptera: Calliphoridae) in southern Mexico. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 779-788.

- DIX, M., J. M. RIDELMAN y C. MACVEAN. 1978. El gorgojo del pino: seria amenaza de nuestros bosques. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.
- DUFFEY, S. S. and K. A. BLOEM. 1986. Plant defense-herbivore-parasite interactions and biological control. In: Kogan, M. (editor). Ecological theory and integrated pest management practice. John Wiley and Sons. New York.
- EISNER, T. 1990. Chemical ecology: new frontiers, new responsibilities. Plenary address, Annual meeting of the Entomological Society of America, New Orleans, LA, USA.
- EHRlich, P. R. and RAVEN, P. H. 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution* 18: 586-608.
- FARNSWORTH, N. R. 1989. Screening plants for new medicines. In: Wilson, E. O. (editor). Biodiversity. National Academy Press. Washington, D.C.
- HENRY, J. E., TIAHRT, K., and OMA. E. A. 1973. Importance of timing, spore concentration, and levels of spore carrier in applications of *Nosema locustae* (Microsporida: Nosematidae) for control of grasshoppers. *J. Invert. Pathol.* 21:263-272.
- JANZEN, D. H. 1989. Tropical dry forests, the most endangered major tropical ecosystem. In: E. O. Wilson (editor). Biodiversity. National Academy Press, Washington, D.C.
- KOGAN, M. 1986. Ecological theory and integrated pest management practice. John Wiley and Sons. New York.
- LA CHANCE, L. E., A. C. BARTLETT, R. A. BRAM, R. J. GAGNÉ, O. H. GRAHAM, D. O. MCINNIS, C. J. WHITTEN, and J. A. SEAWRIGHT. 1982. Mating types in screwworm populations? *Science* 218: 1142-1143.
- MATSUMURA, F. 1985. Toxicology of insecticides. Plenum Press. New York.
- MACVEAN, C. M. and CAPINERA, J. L. 1992. Field evaluation of two microsporidan pathogens, an entomopathogenic nematode, and carbaryl for suppression of the Mormon cricket, *Anabrus simplex* Hald. (Orthoptera: Tettigoniidae). *Biol. Control* (2:59:65).

- PAFG, 1992. Plan de Acción Forestal para Guatemala. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Memoria, Mesa Redonda Internacional. Litografía Van Color. Guatemala.
- PÖLL, E. 1992. Plantas medicinales de El Petén, Guatemala. Presentación en el Congreso Internacional sobre Plantas Medicinales, Maastricht, Holanda.
- SPENCER, K. C. 1988. Introduction: chemistry and coevolution. In: Spencer, K. C. (editor). Chemical mediation of coevolution. Academic Press, San Diego, California.
- UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. 1976. El ambiente en que vivimos. En: Guía curricular, educación para el desarrollo humano, 1° a 5° grados de primaria (publicados de 1974 a 1976). Editorial José Pineda Ibarra, Ministerio de Educación, Guatemala.
- WILSON, E. O. 1989. The current state of biological diversity. In: Wilson, E. O. (editor). Biodiversity. National Academy Press, Washington, D.C.
- YOUNG, A. M. 1982. Population biology of tropical insects. Plenum Press. New York.

El futuro de pesticidas naturales

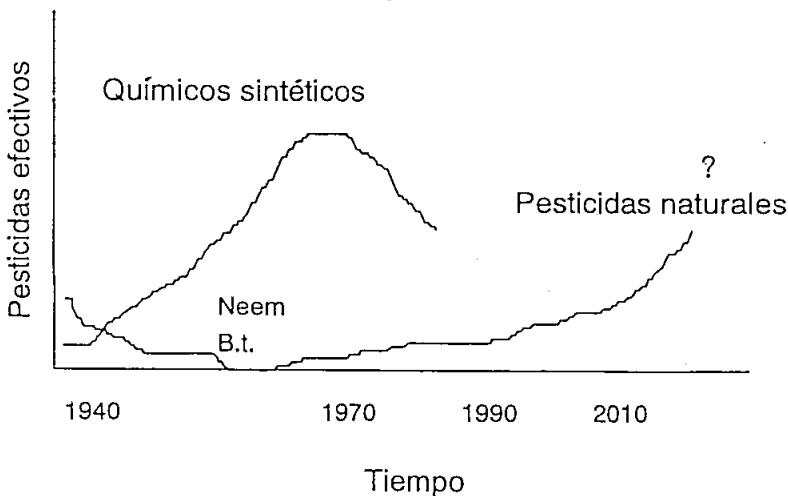


Figura 1. Extrapolación del futuro desarrollo de plaguicidas naturales.