

CAPÍTULO 10

PRINCIPIOS PARA EL MANEJO ECOLÓGICO DE PLAGAS

María Fernanda Paleologos y Claudia C. Flores

Introducción

Luego de la Segunda Guerra Mundial, con el advenimiento de la Revolución Verde, se produjo el desarrollo y uso masivo de plaguicidas químicos los que han sido, desde entonces, la estrategia predominante para el control de plagas a nivel mundial.

Actualmente, este uso intensivo de agroquímicos está siendo crecientemente cuestionado, no sólo por las consecuencias ambientales que los mismos generan, sino también por los impactos negativos en la salud de las personas (ver Capítulo 1). Además, su uso no ha logrado “eliminar” las plagas, tal como se asumió que sucedería.

Limitar o prescindir del uso de insecticidas en la agricultura, requiere un cambio filosófico para abordar la problemática de las plagas: la idea de eliminar los fitófagos potencialmente plaga de los sistemas agrícolas (que ha primado hasta el momento) sólo puede conducir al fracaso. Hay que asumir que los mismos son parte del agroecosistema, que biológicamente es prácticamente imposible eliminarlos y que, por lo tanto, hay que cambiar la lógica de “*eliminar y controlar*” por la de “*manejar y mantener*” las densidades de las poblaciones plaga en niveles que no produzcan un daño económico. Esto implica avanzar hacia un Manejo Ecológico de Plagas (MEP) que logre compatibilizar la regulación de insectos perjudiciales con la conservación de los recursos naturales y la salud de los consumidores y de los trabajadores rurales.

El objetivo de este Capítulo es analizar los principios básicos del MEP y su contribución al logro de la sustentabilidad de la agricultura.

El concepto de plaga

Durante muchos años se ha calificado como plaga a cualquier ser biótico que presentara cierta relación alimenticia con alguna especie vegetal de interés económico. Como consecuencia, se han considerado como tales a muchas especies raramente abundantes y cuyas densidades poblacionales eran insuficientes para ser consideradas verdaderamente plagas. De ahí la importancia de tener en cuenta el riesgo de daño económico para definir a un organismo como tal.

En este sentido, sólo pueden ser consideradas plagas *aquellas especies de artrópodos fitófagos presentes en un sistema agrícola que son capaces de desarrollar poblaciones abundantes y causar daños a los cultivos disminuyendo su producción o deteriorando la calidad del producto con el consiguiente perjuicio económico* (Greco *et al.*, 2002).

Nivel de Daño Económico y Umbral Económico

Para que una especie fitófaga genere riesgos de pérdidas significativas de producción (y, por lo tanto, pueda ser considerada plaga) deben darse ciertas condiciones que permitan el desarrollo de la población hasta densidades de riesgo. Por esto, es importante familiarizarse con algunos parámetros que permiten ampliar los conocimientos para definir la presencia de una plaga y tomar decisiones de manejo.

Entre estos parámetros, el concepto de nivel de daño económico ha sido el más exitoso. El nivel de daño económico (NDE) se interpreta como la *densidad poblacional de la plaga en la cual el costo de la medida de control iguala al beneficio económico esperado por la acción de la misma* (Figura 10.1). Es decir, que la acción de control “salva” una parte del rendimiento, el cual se hubiera perdido si no se hubiese tomado la decisión de hacer el control y cuyo valor económico es superior a la medida de control involucrada. Tal como lo señalan Greco *et al.* (2005), los valores de NDE son variables y deben

ser establecidos previamente teniendo en cuenta no sólo la plaga y las condiciones presentes para su desarrollo, sino también el cultivo, su estado de desarrollo, la zona geográfica de la cual se trate y los costos de control a utilizar, entre otras cosas. Es importante tener en cuenta que, al momento de analizar y trabajar con umbrales de daño, el cálculo de los costos debería contemplar otros aspectos adicionales al costo monetario de acceder al insecticida (ver Capítulo 3).

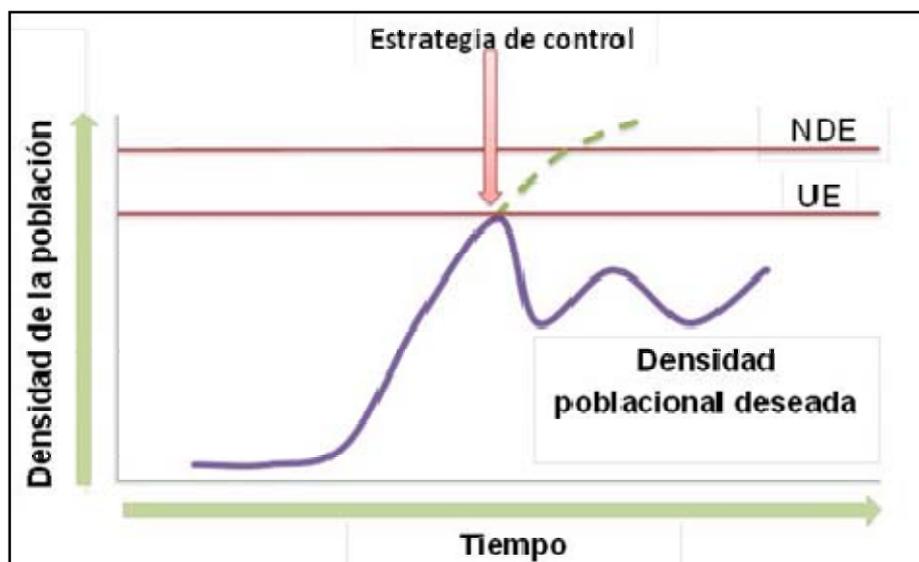


Figura 10.1: Nivel de Daño Económico (NDE) y Umbral económico (UE)

Para que una especie fitófaga sea considerada plaga su densidad poblacional debe ser tal que cause un perjuicio económico mayor al costo que implica utilizar una medida de control.

El concepto de NDE se ha usado, en general, para apoyar decisiones de manejo en el marco de la agricultura convencional con técnicas de control supresivas basadas en el uso de plaguicidas. Sin embargo, este concepto puede ser utilizado desde un enfoque más amplio, donde las técnicas de control estén destinadas a prevenir y mantener las poblaciones a niveles por debajo del NDE.

El concepto de NDE va asociado al concepto de umbral económico. El umbral económico o umbral de acción (UE) es la *densidad poblacional de la*

plaga en la cual se debe iniciar la acción de control para evitar que la población sobrepase el Nivel de Daño Económico en el futuro (Figura 10.1). El umbral de acción (UE) es una densidad menor que el NDE para brindar el tiempo necesario para que el método de control seleccionado ejerza su efecto (tiempo que transcurre entre la estimación de la densidad o monitoreo y el control efectivo de la plaga). El UE, tiene en cuenta el tiempo de acción que requiere la medida de control y la dinámica poblacional de la plaga. Esto dificulta su estimación, pero en forma práctica se determina como el 50 por ciento del NDE.

El NDE y el UE pueden tener valores muy diferentes o valores similares. Esto dependerá del tiempo de acción de la medida de control. El NDE y el UE serán muy parecidos cuando la medida utilizada para el control de la plaga tenga un tiempo de acción rápido (por ejemplo, el uso de un insecticida). Por el contrario, cuando la medida de control requiera un tiempo para actuar sobre la plaga (por ejemplo la liberación de un enemigo natural), el UE será un valor mucho más bajo que el NDE.

Las plagas: una mirada desde el enfoque agroecológico

La aparición de plagas, al igual que otros problemas que enfrenta la agricultura, se debe a la creación de condiciones ambientales que propician su desarrollo y aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas. La creación de estas condiciones propicias para el desarrollo de las plagas está vinculada al enfoque reduccionista de la Revolución Verde, que siempre ha visualizado a las plagas como un problema al que había que controlar.

Desde el enfoque agroecológico se plantea un análisis sistémico para la comprensión de la problemática de las plagas. Los fitófagos potencialmente plagas se analizan como un componente más del agroecosistema, con características propias y que interactúan y se relacionan con el entorno (ver Capítulos 4 y 9).

Dentro de la trama trófica de un agroecosistema, la vegetación cultivada y espontánea conforma el primer nivel trófico, el de los organismos autótrofos. Luego, los fitófagos potencialmente plagas forman parte del segundo nivel trófico (organismos heterótrofos), dado que encuentran su fuente de alimentación en la vegetación. A su vez, estos organismos fitófagos son fuente de alimento para los predadores y parasitoides que conforman el tercer nivel trófico. Por último, es posible encontrar organismos que componen un cuarto nivel trófico. En este nivel encontramos, además de algunos predadores, a los hiperparasitoides, los que parasitan y se desarrollan alimentándose de los parasitoides. A aquellos organismos que a través de una relación de predación o parasitismo (parasitoides e hiperparasitoides) se alimentan de insectos perjudiciales y pueden contribuir a su control en los agroecosistemas se los denomina enemigos naturales (Figura 10.2).

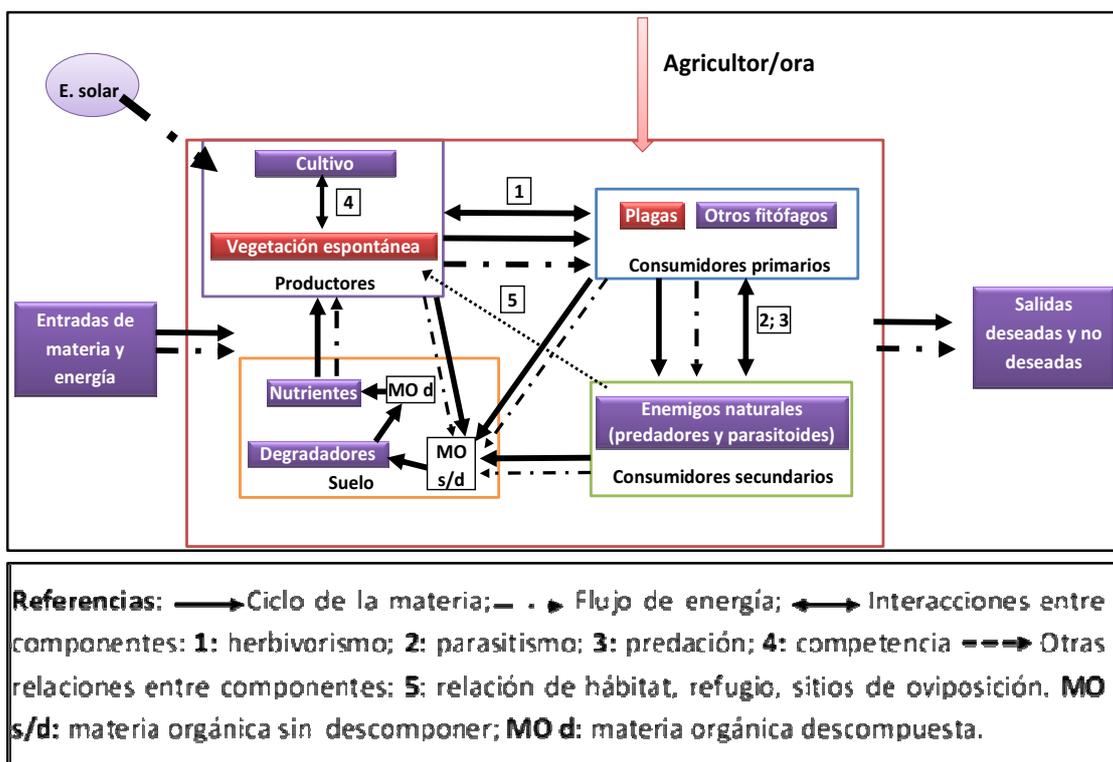


Figura 10.2: Diagrama simplificado de un agroecosistema hipotético: trama trófica, interacciones y relaciones entre componentes, ciclo de la materia, flujo de la energía

En el funcionamiento agroecosistémico, los componentes no sólo se relacionan a través de la trama trófica, sino que también se dan interacciones de competencia entre componentes diferentes y/o dentro de un mismo componente (ver Capítulo 9). Todas estas relaciones constituyen los factores bióticos que determinan la densidad de cada población presente.

El objetivo de este análisis sistémico, propio de la Agroecología, es comprender cómo funcionan estas relaciones y cuáles son los factores que favorecen el incremento de la densidad poblacional de los fitófagos potencialmente plaga dentro del agroecosistema. El objetivo es aplicar estrategias simultáneas que actúen, no sobre el problema en sí, sino sobre las causas que favorecen su desarrollo.

Desde el enfoque agroecológico, en lugar de intentar responder a la pregunta ¿cómo controlar la plaga una vez que ha aparecido?, pregunta central del enfoque de la Revolución Verde, se trata de responder a la pregunta de ¿por qué aparecen las plagas? con el objetivo de actuar para evitar su aparición.

Hipótesis que explican la aparición de las plagas en los agroecosistemas

A fin de entender por qué aparecen las plagas en los agroecosistemas, se han desarrollado varias hipótesis. Entre ellas se destacan la “Hipótesis de la concentración del recurso” y la “Hipótesis del enemigo natural” (Root, 1973).

Hipótesis de la concentración del recurso

En los sistemas agrícolas altamente simplificados, como los monocultivos, existe una reducción extrema de la diversidad, tanto específica, como estructural, funcional y fenológica (ver Capítulo 5). Esto lleva a que la vegetación cultivada, recurso alimenticio de las plagas, se encuentre disponible combinando una alta calidad alimenticia, alta disponibilidad y fácil localización. Por el contrario, en un sistema diverso (por ejemplo, un policultivo), la gran

gama de colores y olores liberados por la vegetación dificulta la ubicación del alimento por parte de los insectos. En un sistema simplificado, como los agroecosistemas actuales, la ausencia de esta condición favorece la localización del alimento por parte de los individuos fitófagos, dando como consecuencia la explosión de la población. Esto se explica si se tiene en cuenta que, en la naturaleza, todos los recursos disponibles tienden a ser utilizados. Es decir, una gran disponibilidad de alimento, como lo es un monocultivo para los fitófagos, llevará a que la densidad de la plaga crezca para poder hacer uso de todo ese alimento disponible.

Hipótesis del enemigo natural

La reducción de la diversidad en los sistemas agrícolas actuales lleva a una simplificación de la calidad y cantidad de microhábitats presentes. Estos microhábitats ofrecen las condiciones necesarias para el desarrollo y supervivencia (sitios de refugio, oviposición, fuentes de alimentos alternativas) de muchos grupos de organismos con funciones importantes, como los enemigos naturales. Es así que en agroecosistemas con baja diversidad, los organismos controladores de plagas no encuentran las condiciones óptimas para su presencia, afectando drásticamente su abundancia en el sistema.

Tanto la hipótesis de la concentración del recurso como la hipótesis del enemigo natural coinciden en que la principal causa de la aparición de plagas es la baja diversidad vegetal presente en los sistemas agrícolas.

Mecanismos “Bottom- up” y “Top- down”

La dinámica poblacional de la plaga está establecida por las características de su ciclo de vida, así como también por la intensidad y la forma de acción de los agentes de mortalidad bióticos y abióticos (ver Capítulo 9).

Existen factores naturales que modifican las tasas de natalidad y mortalidad de las poblaciones plaga. Estos están definidos por las interacciones entre la plaga y el nivel trófico inferior, el de los productores (mecanismos “*Bottom-up*”), y con el nivel trófico superior, el de los consumidores secundarios (mecanismos “*Top-down*”), mecanismos que suelen actuar conjuntamente con diferente intensidad relativa. Es decir que las poblaciones plaga están reguladas en su crecimiento por la disponibilidad de lo que comen y por quién las come en forma simultánea (Figura 10.3).

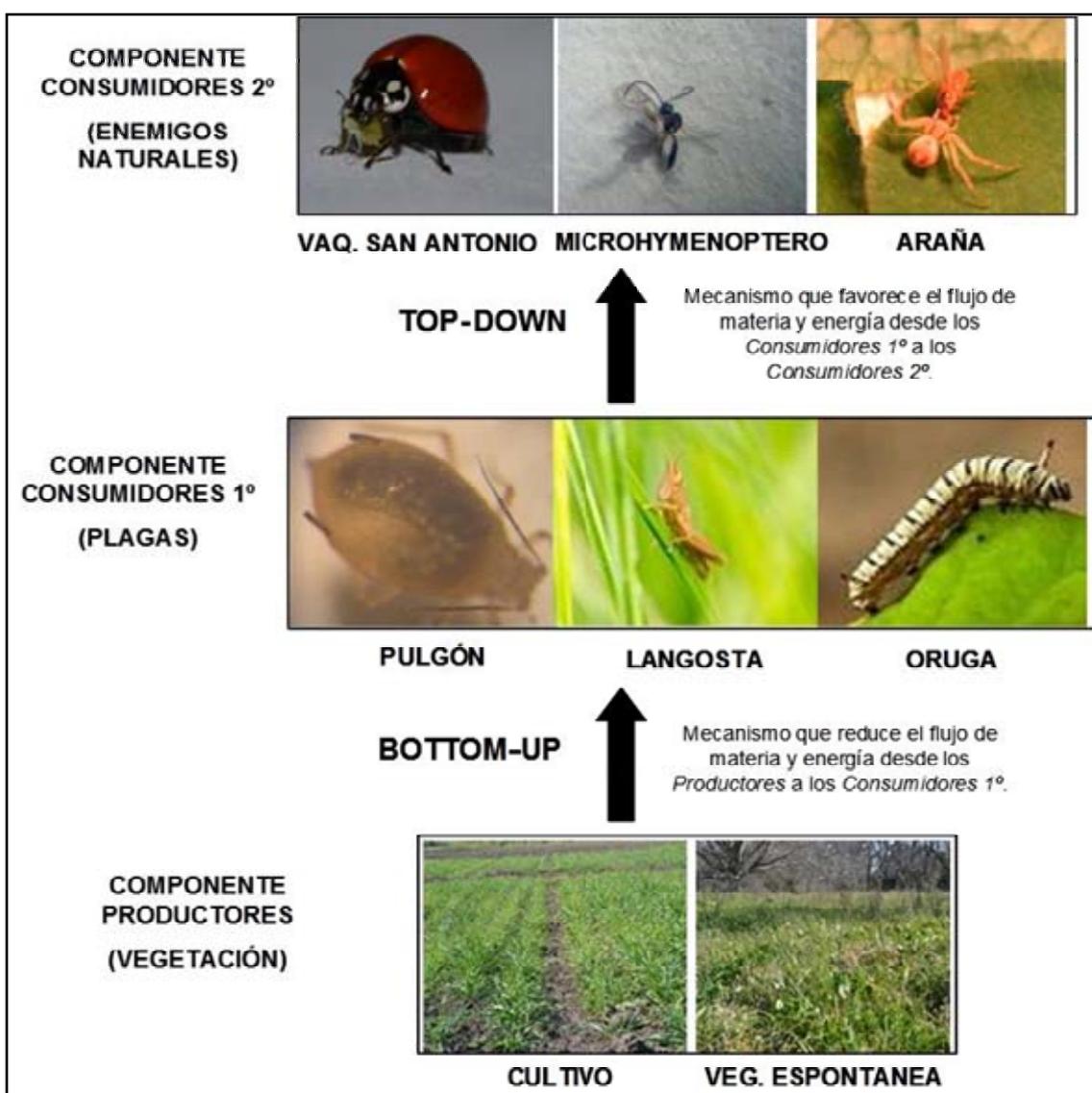


Figura 10.3: Mecanismos de control “*Bottom-up*” y “*Top-down*” y su efecto sobre el componente plaga.

Fotos: Luciana Saldúa

En los agroecosistemas, aquellas estrategias de manejo que buscan alterar esta relación de “comer” y “ser comidos” y favorecer así la regulación de insectos plagas son denominadas “*Bottom-up*” y “*Top-down*”.

Las estrategias “*Bottom-up*” son aquellas que tienden a modificar la calidad del recurso alimenticio (cultivo) para que no sea apetecible o fácilmente localizable por la plaga. Estas estrategias, en general, tratan de contrarrestar las causas del origen de las plagas asociada a la hipótesis de la “concentración del recurso”. Ejemplos de estrategias de control “*Bottom-up*” son la utilización de asociaciones de cultivos y/o de variedades resistentes.

Las estrategias “*Top-down*” son aquellas estrategias que tienden a contrarrestar las otras causas del origen de las plagas asociada a la hipótesis del “enemigo natural”. Un ejemplo de estrategias de control “*Top-down*” es el control biológico por enemigos naturales.

La Teoría de la Trofobiosis

La teoría de la Trofobiosis desarrollada por Francis Chaboussou, sostiene que una planta “sana” es menos atacada por insectos, nematodos, virus y bacterias que una planta “enferma”. Es decir, una planta cuyas funciones metabólicas se cumplen de manera óptima y eficiente presenta una mayor resistencia y se torna menos deseable para los organismos plaga y enfermedades (Chaboussou, 1967).

Esto se basa fundamentalmente en la síntesis y lisis de proteínas. Cuanto más eficiente sea la síntesis de proteínas en el metabolismo de la planta cultivada, menor será la cantidad de aminoácidos y moléculas simples que queden circulando por su savia y mayor será la resistencia de la planta (Restrepo Rivera, 1994). En consecuencia, la resistencia de la plantas al ataque de plagas y enfermedades es favorecida por una nutrición equilibrada, diversa en nutrientes, que promueve la proteosíntesis (formación de proteínas) o sustancias complejas en su savia, que organismos simples como las plagas y patógenos no pueden digerir.

Contrariamente, la descomposición de proteínas o proteólisis provoca un exceso de sustancias solubles en la savia, como aminoácidos, azúcares y minerales solubles, los que reduce la resistencia de la planta a las adversidades. Esta mayor disponibilidad de sustancias simples torna a la planta más atractiva para los insectos, nematodos, hongos y bacterias. Esto es porque en las plantas “enfermas” estos organismos encuentran su alimento parcialmente digerido, permitiéndoles así metabolizarlo más rápido ahorrando una gran cantidad de energía, la que quedará disponible para su reproducción.

Hay varios aspectos que determinan que una planta crezca de manera sana o enferma, es decir existen aspectos que favorecen una proteosíntesis adecuada y otros que la alteran o favorecen la proteólisis, dejando una savia rica en compuestos simples (Tabla 10.1).

Uno de los ejemplos más estudiados en relación a estos procesos es el de los desequilibrios causados por la aplicación de fertilizantes inorgánicos de alta solubilidad (por ejemplo urea y triple quince). Estos provocan un elevado contenido de N no proteico en las plantas el cual parece ser un indicador de la calidad de la planta hospedante para los herbívoros (Hernández Medina *et al.* 2009). Por ejemplo, Schupan (1974) en un estudio de largo plazo, comparó los efectos de la fertilización orgánica y sintética en el contenido nutricional de cuatro hortalizas (espinaca, papa, zanahoria y repollo crespo) y encontró que las hortalizas orgánicas contenían niveles más bajos de nitratos y niveles más altos de potasio, fósforo y hierro que las convencionales. Esto se relacionaba con una menor incidencia de plagas en los sistemas orgánicos. En el mismo sentido, Altieri *et al.* (1998) encontraron que los monocultivos de brócoli fertilizados convencionalmente fueron más susceptibles a los ataques de *Phyllotreta cruciferae* y de *Brevicoryne brassicae* que los sistemas de brócoli fertilizados orgánicamente. Esto se atribuyó a los bajos niveles de nitrógeno libre en el follaje de las plantas fertilizadas orgánicamente. Por su parte, Brodbeck *et al.* (2001) encontraron que las poblaciones del trips *Frankliniella occidentalis*, fueron significativamente altas en tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada.

Un ejemplo de susceptibilidad al ataque de plagas relacionado con el desequilibrio hídrico en las plantas es el que describe Polack (2008). Este autor observó que, en cultivos de pimiento, aquellas plantas que habían sufrido un pequeño o leve stress hídrico se volvían más apetecibles para los pulgones y mostraban, en consecuencia, un mayor daño que aquellas plantas que no habían sufrido ningún tipo de stress durante su crecimiento.

Aspectos determinantes	Acción sobre el metabolismo	Estrategia de manejo
Variedad adaptada a las condiciones del lugar	Mayor capacidad de absorción de nutrientes por las raíces y mayor capacidad fotosintética de las hojas.	Buscar variedades nativas
Condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.	Una estructura adecuada, variedad de nutrientes y diversidad biológica aumentan la disponibilidad de nutrientes, su absorción y permiten una selección adecuada por parte de las plantas.	Abonos orgánicos Bajo uso de agroquímicos
Disponibilidad de luz y humedad	Una luz adecuada favorece una correcta síntesis de proteínas.	Variedades adaptadas a las condiciones de la zona. Buscar condiciones adecuadas de luz y humedad en función a los requerimientos del cultivo.
Bajo uso de insumos tóxicos	Favorece una adecuada respiración, fotosíntesis y proteosíntesis.	Reducir el uso de insecticidas y herbicidas
Apropiada fertilización	Permite una adecuada concentración de nutrientes disponibles favoreciendo el crecimiento, el funcionamiento metabólico y la síntesis adecuada de proteínas.	Abonos orgánicos

Tabla 10.1: Aspectos que determinan el crecimiento de plantas sanas: acción sobre el metabolismo y estrategias de manejo deseables (basada en Chaboussou, 1967)

En síntesis, el grado de resistencia o sensibilidad que un cultivo presente ante las adversidades estará relacionado fundamentalmente al tipo de manejo productivo. Un manejo de tipo convencional, basado en pocas variedades universales y un alto uso de insumos químicos, altera las condiciones del suelo y, en consecuencia del propio cultivo, haciéndolo a este último más susceptible al ataque de plagas. Un manejo basado en principios agroecológicos, que

priorice los procesos naturales del agroecosistema permite el crecimiento de cultivos más sanos y con mayor resistencia a las plagas y enfermedades.

Manejo ecológico de plagas

Las dificultades que presenta el uso de pesticidas para el control de plagas hace necesario el desarrollo de estrategias de manejo basadas en principios más ecológicos. El Manejo Ecológico de Plagas (MEP) se refiere al manejo de un conjunto de técnicas adecuadas que en base a la diversidad biológica y a la calidad del suelo estimulan y protegen el equilibrio biológico y ecológico (Olivera, 2001). A través del mismo se pretende prevenir, limitar, o regular los organismos nocivos en los cultivos, aprovechando todos los recursos y servicios ecológicos que la naturaleza brinda (Pérez Consuegra, 2004).

Un manejo ecológico de plagas (MEP) implica un cambio filosófico frente al problema de plagas. La idea de eliminar o erradicar las plagas de los sistemas agrícolas sólo nos llevará al fracaso, debemos aceptar que las plagas son parte del agroecosistema.

El manejo ecológico de plagas requiere cambiar el pensamiento de “eliminar y controlar” por el de “manejar y mantener” la densidad de la población a niveles aceptables, es decir, por debajo del NDE.

Hay rasgos que definen al MEP (Pérez Consuegra, 2004):

1) Los individuos plaga son considerados parte integral del agroecosistema. Esto requiere un conocimiento del agroecosistema y de cómo los procesos naturales son alterados por los objetivos agrícolas. Conocer el agroecosistema nos permitirá desarrollar estrategias de manejo que permitan

reducir o aumentar los factores naturales de natalidad (estrategias “*Bottom-up*”) y mortalidad de la plaga (estrategias “*Top-down*”).

2) Conocer, en la medida que sea posible, el nivel de daño económico de la plaga. Esto permitirá determinar a qué densidad de la población se espera una pérdida económica. No todas las densidades de una población causan suficiente pérdida como para justificar un esfuerzo de manejo. Entender y dimensionar los “costos ocultos” (ver Capítulo 3).

3) Se deben usar estrategias de control simultáneas, que tiendan a actuar sobre los estados más vulnerables de la plaga. Las técnicas utilizadas deben evitar un impacto negativo sobre otros componentes del sistema.

Estrategias para el Manejo Ecológico de Plagas

Cuando se piensa de manera sistémica, se pueden identificar estrategias de manejo a distintos niveles. Podemos encontrar estrategias de manejo a nivel cultivo y estrategias de manejo a nivel de agroecosistema. En las primeras estrategias se intenta alterar la capacidad intrínseca la planta cultivada de responder o hacer frente a un insecto plaga. Por otro lado, a nivel de sistema, se encuentran aquellas estrategias que intentan modificar o alterar el ambiente buscando reducir su susceptibilidad al ataque de plagas.

Estrategias a nivel de cultivo

Variedades resistentes: Son variedades de cultivo que poseen características que las hacen menos susceptibles al ataque de plagas, o que pueden mantener su rendimiento a pesar de sufrir daño. Su utilización forma parte de las estrategias de tipo “*Bottom-up*”:

Según los mecanismos de resistencia las plantas pueden clasificarse en 3 tipos:

No- preferenciales: las plantas poseen ciertas características que la hacen menos atractiva como alimento y lugar de oviposición para los insectos.

Tolerantes: plantas que logran compensar el daño causado por los insectos, recuperando gran parte de la biomasa perdida y manteniendo su rendimiento.

Antibióticas: plantas con defensas físicas (pelos, espinas, tricomas) o químicas (toxinas) que resultan en un aumento de la mortalidad o reducción en la longevidad y reproducción del insecto plaga. Las defensas físicas causan daño mecánico e impiden el movimiento y oviposición de los insectos. Las defensas químicas consisten en compuestos químicos que se vuelven secundariamente tóxicos al ser digeridos por el herbívoro, afectando su supervivencia y fecundidad. Estos compuestos tóxicos suelen encontrarse en las partes jóvenes de la plantas o en lugares que requieren de mayor protección. Como ejemplo de variedades antibióticas encontramos ciertas variedades de maíz y de avena con resistencia a insectos vectores del virus que produce el llamado “mal de Río Cuarto” (Costamagna *et al.*, 2005) una de las enfermedades más importantes del maíz.

Si bien la interacción planta - plaga es la base de estas estrategias, se requiere el conocimiento de otras interacciones que ocurren en el sistema, por ejemplo las tritróficas (en las que interviene la planta, la plaga y el EN). Greco *et al.*, (1998) encontraron que, aunque en caña de azúcar, la pilosidad en las hojas parece ser un carácter que reduce el ataque de plagas, en el cultivo de maíz, dicha pilosidad no sólo no afecta la oviposición por parte de la plaga (*Diatraea saccharalis*), sino que, además, afecta negativamente la tasa de parasitismo por parte de su enemigo natural (*Trichogramma* sp.). Es así que, la comprensión de estas interacciones tritróficas permite optimizar las medidas de control.

Plantas genéticamente modificadas: Las plantas transgénicas se encuentran dentro de la clasificación de variedades resistentes de antibiosis. Las mismas contienen uno o más genes que han sido insertados en forma artificial en lugar de que la planta los adquiriera mediante cruzamiento. La

secuencia génica insertada (llamada el transgen) puede provenir de otra planta no emparentada o de una especie por completo diferente: por ejemplo, el maíz *Bt* (utilizado para el control de lepidópteros, en especial *Diatraea saccharalis*), que produce su propio insecticida, contiene un gen de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*). Los cultivos transgénicos podrían clasificarse como plantas con resistencia de tipo antibiótica aunque, a diferencia de éstas, poseen la toxina a lo largo de todo el cuerpo vegetal, por lo que la exposición del insecto a la misma es completa. Esto puede favorecer, debido a la alta presión de selección ejercida sobre la plaga, la aparición de formas resistentes (ver Capítulo 6). Además, favorece la aparición de plagas secundarias (ej.: fitófagos no lepidópteros)

Si bien algunos cultivos transgénicos permiten reducir el uso de insumos químicos en el campo y, por lo tanto, el efecto dañino de estos productos sobre los enemigos naturales y sobre el ambiente, presentan otros riesgos y efectos negativos que deben tenerse en cuenta:

- Riesgo de escape de transgenes hacia otras especies silvestres emparentadas haciéndolas resistentes a insecticidas y difíciles de controlar.

- Generación de resistencia de la plaga: La alta presión de selección generada sobre la población plaga por la presencia de la toxina en todo el cultivo genera, en unas pocas generaciones, una alta resistencia de la plaga a dicha toxina (ver Capítulo 6).

Estrategias a nivel de agroecosistema

Control biológico: El control biológico consiste en el uso de uno o más organismos para reducir la densidad de una planta o animal que causa daño al hombre (DeBach, 1964). Así, el control biológico puede definirse como el uso de organismos benéficos (enemigos naturales) contra aquellos que causan daño (plagas) (Nicholls Estrada, 2008). El control de plagas por medio de enemigos naturales forma parte de las estrategias de tipo “*Top-down*”:

Van den Bosch *et al.* (1982) utilizan la expresión “control biológico” con dos acepciones: 1) la introducción de los enemigos naturales por el hombre y el

manejo que éste hace de ellos para controlar las plagas, al que llaman control biológico aplicado y 2) el control espontáneo en la naturaleza, sin la intervención del hombre, que denominan control biológico natural.

La utilización de enemigos naturales como estrategia para el control de plagas se basa en mecanismos “*Top-down*”. Para un control por enemigos naturales, es importante conocer la biología de la plaga y de su/s enemigos naturales. Además, la simple condición de que un organismo se alimente de la plaga no lo convierte en un eficaz enemigo natural. En general se ha asociado la efectividad de los enemigos naturales al cumplimiento de características como la especificidad, la alta capacidad de búsqueda y tasa de ataque, así como a la alta tasa de crecimiento y persistencia en la interacción con la plaga.

Los enemigos naturales pueden ser clasificados, según su modo de acción en predadores y los parasitoides (Tabla 10.2).

Existen diferentes formas de uso de los enemigos naturales en los agroecosistemas:

Importación de especies exóticas: estas especies pueden utilizarse para controlar plagas exóticas (Control biológico clásico) o plagas nativas (Control biológico neoclásico). Sin embargo, es importante considerar cuál será el rol de este individuo exótico en el nuevo ecosistema al que se incorpora. Se deben explorar previamente tanto los nichos que se encuentran disponibles para su establecimiento, previniendo una posible competencia, desplazamiento o extinción de especies nativas, así como los potenciales mecanismos naturales de control, reduciendo las posibilidades de que dicha especie exótica se transforme en plaga.

Aumento de individuos de especies ya establecidas: busca aumentar la densidad de la población de enemigos naturales ya presentes en el agroecosistema y favorecer así su eficiencia en el control. Esta estrategia se basa en la idea de que existe un potencial de regulación biótica en el agroecosistema, pero el mismo se encuentra debilitado y debe ser fortalecido. Consiste en la liberación periódica de individuos criados en laboratorio en

momentos específicos en los que la plaga ha aumentado su densidad y los enemigos naturales no logran aumentar su número rápidamente.

Enemigo Natural	Grupos más importantes	Características generales
PREDADORES	Coccinellidae Carabidae Staphylinidae Arañas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los adultos e inmaduros son usualmente generalistas y no específicos. ➤ Generalmente son de mayor tamaño que su presa. ➤ Matan a su presa casi instantáneamente. ➤ Matan numerosas presas a lo largo de su vida. ➤ Consumen total o parcialmente a la presa. ➤ Tanto los individuos inmaduros como los adultos pueden ser depredadores. ➤ Atacan presas inmaduras y adultas. ➤ Para su presencia, no requieren de polen y néctar como recurso alimenticio adicional.
PARASITOIDES	Diptera Tachinidae Hymenoptera Parasítica (Microhymenópteros)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Son específicos en cuanto a su hospedero. ➤ Son más pequeños que su hospedero. ➤ Las hembras ponen sus huevos sobre o dentro de varios hospedadores y es la larva del parasitoide la que consume lentamente al hospedador vivo a medida que se desarrolla. ➤ Insectos cuyas formas adultas son de vida libre y se alimentan de polen y néctar. ➤ Las larvas sólo matan a un hospedador para su desarrollo.

Tabla 10. 2: Características generales de predadores y parasitoides. Grupos más importantes

Conservación de especies establecidas: Esta estrategia se basa en brindar las condiciones en el agroecosistema para favorecer la supervivencia, fecundidad y longevidad de los enemigos naturales presentes. Consisten en manipular el ambiente para aumentar los sitios de refugio, hibernación y alimento para los enemigos naturales. Dentro de estas estrategias, todas

aquellas que impliquen un aumento de la diversidad en algunas o todas sus dimensiones pueden ser positivas para favorecer la conservación de enemigos naturales ya presentes. Dentro de estas estrategias se pueden nombrar los policultivos, plantas trampa, borduras, corredores, rotaciones, etc.

A su vez, la liberación de enemigos naturales en los sistemas agrícolas puede ser de manera *inoculativa* o *inundativa*. La primera consiste en liberar pequeñas cantidades de enemigos naturales buscando que las mismas se establezcan en el sistema y comiencen a crecer en número. En este caso, para que funcione este tipo de liberación es necesario que el sistema le ofrezca a los organismos las condiciones necesarias para su supervivencia y desarrollo. En la forma inundativa se busca un control rápido de la plaga por lo que se liberan grandes cantidades del enemigo natural de una vez.

A diferencia de un control por conservación, el control biológico por liberación de enemigos naturales posee un mecanismo de acción similar a un insecticida, es decir el efecto es rápido y en el momento de aplicación y, por lo tanto, los enemigos naturales deben ser incorporados permanentemente para el control de la plaga, tal como ocurre con un insecticida.

Sin embargo, si se piensa el problema de plagas desde una visión holística y sistémica, el control por conservación, permite, además, reducir la dependencia al uso de insumos, reduciendo así, no sólo los costos, sino también el impacto o riesgo ambiental asociado a los mismos (Anexo 10.1). En este tipo de control la acción complementaria y simultánea de varios enemigos naturales que actúan en diferentes estados de desarrollo de la plaga, permite mantener la población fluctuando alrededor de un valor medio de densidad, evitando explosiones repentinas de la plaga. Por ejemplo, para viñedos de la zona de Berisso, se observó que la estructura y densidad de la cobertura vegetal determina las condiciones de temperatura y humedad del suelo y en consecuencia, la abundancia y diversidad de los organismos edáficos de hábito predador que favorecen la regulación de plagas (Paleologos, 2012). De la misma forma, para la zona de Arana (Argentina), en sistemas hortícolas bajo invernáculo, Baloriani *et al.* (2009), encontraron que la presencia de una mayor

diversidad vegetal aumentó el número de coleópteros predadores y arañas, favoreciendo el potencial de regulación biótica del sistema.

Anexo 10.1 Control biológico y sustentabilidad

Si bien las estrategias de control biológico son utilizadas en el mundo desde hace más de un siglo, hace poco tiempo que la discusión sobre esta estrategia de control adquiere real relevancia en el medio científico, técnico y productivo. Sin dudas, esto ha venido de la mano de la creciente puesta en cuestión acerca del uso intensivo de agroquímicos por sus consecuencias sobre la salud de las personas y el ambiente.

Existen diferentes formas de control biológico. Sin embargo, la que predomina hoy se basa en la sustitución de insumos químicos por biológicos. Así, el control biológico se ofrece como una alternativa “limpia” para el reemplazo de los agroquímicos en el control de los organismos plagas en diferentes cultivos. Sin embargo, poco se ha reflexionado sobre las potencialidades y dificultades (ecológicas, económicas y sociales) que pueden derivarse de esta nueva alternativa antes de proponer su adopción en forma masiva.

El control biológico se asume *per se* como una alternativa para incrementar la sustentabilidad de la agricultura dado que, entre otras ventajas, se resalta que los enemigos biológicos no dejan residuos tóxicos ni contaminan el medioambiente y no se produce generación de resistencia por parte de las plagas a sus enemigos naturales. Sin embargo, y sin desmerecer estas ventajas sobre los químicos, el aumento de la sustentabilidad ecológica puede ser cuestionado en tanto y en cuanto el control biológico se encare bajo la lógica de sustitución de insumos, sin plantear un cambio en el enfoque agrícola. De hecho, no sabemos casi nada sobre las consecuencias de la liberación masiva de enemigos naturales sobre el equilibrio de las relaciones bióticas de los ecosistemas en los cuales son liberados lo que implica un riesgo ecológico.

Por otra parte, el uso de controladores biológicos sin un replanteo del diseño de los agroecosistemas actuales, conducirá indefectiblemente a una elevada y permanente dependencia de estos insumos biológicos por parte de los productores y al desarrollo de empresas que produzcan estos insumos en forma masiva. Esto se debe a que en los planteos productivos “modernos” la diversidad es tan escasa (o nula) que impide la supervivencia de los enemigos naturales liberados quienes necesitan sitios de oviposición, refugio y alimento alternativo que brindan otro tipo de vegetación que no es la habitualmente cultivada.

La dependencia permanente de estos insumos implica un costo elevado que restringe el acceso para los productores más empobrecidos, tal como ha sucedido con tantas otras tecnologías desarrolladas bajo el actual paradigma agrícola. Y sin duda favorece, nuevamente, a las empresas proveedoras de agroinsumos e impacta negativamente en el costo de los alimentos que llegan al consumidor, aspectos que atentan contra la sustentabilidad del sector agropecuario si se entiende a la misma en un contexto de sustentabilidad fuerte (ver Capítulo 3).

Sin embargo, el control biológico podría ser concebido con una lógica diferente a la de sustitución de insumos. Avanzar en este sentido requiere un cambio profundo en el diseño de los sistemas agrícolas “modernos” para planificar nuevos sistemas que permitan potenciar los mecanismos naturales de control de plagas. En este sentido, el aumento de la biodiversidad (tanto cultivada como no cultivada, a través de diferentes estrategias) juega un rol central no solo para favorecer la permanencia de los enemigos naturales que se liberan al medio sino para potenciar el desarrollo de enemigos naturales nativos que pueden regular a las potenciales poblaciones plaga.

En este contexto, el control biológico puede ser una herramienta estratégica no solo para disminuir el impacto ambiental de la producción agropecuaria actual sino también para disminuir los costos de producción, la dependencia de insumos externos, incluir en su utilización a todos los productores del sector, producir alimentos sanos y más baratos. Aspectos todos que contribuirían a incrementar la sustentabilidad de la agricultura en su sentido más amplio.

En el control por enemigos naturales, también es importante tener en cuenta no sólo la relación del enemigo natural con la plaga, sino también, la relación entre el enemigo natural y el componente planta. La presencia o selección de determinados caracteres de las plantas, independientemente de su acción sobre la plaga, pueden afectar positiva o negativamente la acción de los enemigos naturales (Greco *et al.*, 1998).

Técnicas culturales: Encarar el problema de plagas desde un enfoque sistémico implica tener en cuenta que las plagas no habitan solamente en las parcelas de cultivo y que sus relaciones no son únicamente con las plantas de cultivo. Existen varias prácticas agrícolas que pueden ser útiles para manejar la llegada, establecimiento y desarrollo de organismos plaga. Todas ellas se basan en un manejo de la diversidad en todas sus dimensiones y a diferentes niveles (parcela, finca), teniendo en cuenta la importancia del paisaje circundante, buscando generar condiciones adversas para la supervivencia de las poblaciones plaga y favorables para las poblaciones de enemigos naturales. Estas estrategias son difíciles de definir exclusivamente como “*Bottom-up*” o “*Top-down*”, ya que, en general, actúan simultáneamente enmascarando el recurso para la plaga y favoreciendo la presencia de enemigos naturales. Entre ellas pueden describirse:

Aumento de la diversidad a nivel de parcela cultivada: un aumento de la biodiversidad (cultivada o espontánea), ya sea específica, varietal, genética o fenológica dentro de la parcela de cultivo puede contribuir a la disminución de los artrópodos plaga, al enmascarar el recurso alimenticio. Los diferentes olores, colores, estratos, hormonas, etc., dificultan la localización del alimento por parte de la plaga y así evitan un aumento en la densidad de la misma. Los policultivos o la presencia de vegetación espontánea en determinados momentos del ciclo constituyen prácticas que han mostrado importantes efectos supresivos sobre las plagas.

Por ejemplo, García & Altieri (1992) estudiaron, con pulgillas (*Phyllotreta cruciferae* Goeze) marcadas y liberadas en monocultivos de brócoli y en

policultivos de brócoli-Vicia, el comportamiento del movimiento y la tendencia a salir o quedarse en el sistema (o incluso a migrar de un sistema a otro) y encontraron que el policultivo brócoli-vicia era menos preferido por las pulgillas que el monocultivo de brócoli.

Aumento de la diversidad a nivel de finca: Las borduras o corredores de vegetación espontánea permiten no sólo enmascarar el recurso para las plagas, sino que además ofrecen sitios de refugio e hibernación para los enemigos naturales. Además, ofrecen fuentes de polen y néctar para los adultos parasitoides y presas alternativas para los predadores. Estas son condiciones necesarias para su presencia y continuidad en el agroecosistema.

Por ejemplo, Thomas & Marshall (1999), Asteraki *et al.* (2004) y Marasas *et al.* (2010) demostraron que diferentes tipos de borduras y coberturas vegetales proveen hábitat para la hibernación de macrofauna edáfica, en su mayoría predadora, y que ésta realiza un permanente intercambio entre el campo cultivado y sus bordes contribuyendo a la regulación de plagas.

Aumento de la diversidad a nivel de paisaje: El éxito del manejo de la biodiversidad a nivel de finca para un manejo ecológico de plagas se encuentra asociado directamente con el grado de biodiversidad presente en el paisaje que rodea la finca. La presencia en el paisaje de corredores, parches de vegetación y zonas poco disturbadas cumple un rol fundamental en asegurar la presencia de fauna benéfica dentro de las fincas que se disponen en dicha área (Swift *et al.*, 2004). Por ejemplo, Thies & Tschardtke (1999) encontraron que la simplicidad estructural de paisajes agrícolas en el norte de Alemania, se correlacionó positivamente con mayores niveles de daños causados por el escarabajo de la colza (*Meligethes aeneus*).

Aumento de la diversidad temporal: Las rotaciones de cultivos o la alternancia de cultivos hospederos con no-hospederos son prácticas efectivas para cortar el ciclo de la plaga. También, ajustar las fecha de siembra y/o cosecha constituyen estrategias que pueden evitar determinados períodos de actividad de los insectos. Las variedades de maduración temprana o período corto son convenientes para este fin.

Otras técnicas: Las prácticas de arada y labranza exponen a los insectos del suelo a condiciones adversas, favoreciendo su desecación, congelamiento y depredación. Por otro lado, el uso de insecticidas en determinados momentos puede ser una alternativa para el control de plagas. Sin embargo, los mismos deben ser selectivos reduciendo su impacto sobre los organismos benéficos.

Se debe tener en cuenta que el aumento de la diversidad de por sí no es una solución al problema de plagas. Es necesario identificar qué aspectos de la diversidad deben ser favorecidos en cada sistema en particular. Para esto es necesario conocer la biología de la plaga y del enemigo natural, es decir, su fenología, qué comen, qué condiciones requieren para su presencia, qué medio y capacidad de dispersión poseen, etc. Estos aspectos nos permitirán tener los criterios necesarios para la elección de estrategias de diseño y manejo que busquen favorecer la presencia de los insectos benéficos y reducir las poblaciones de fitófagos. Por ejemplo, las condiciones del hábitat generadas por la vegetación pueden influir de manera diferente sobre la fauna edáfica y epífita, en función a sus requerimientos (Paleologos *et al.*, 2008). Para la fauna que vive sobre la vegetación (epífita), como los microhimenópteros, una estructura vegetal que asegure la presencia de sitios de refugio, disponibilidad de presas y recursos adicionales, como polen y néctar constituyen aspectos importantes para su presencia (Altieri & Letourneau, 1982). Se ha señalado que ciertas familias vegetales como Fabaceae (Leguminosas), Apiaceae (Umbelíferas) y Asteracea (Compuestas) favorecen la presencia de enemigos naturales de plagas epífitas, tal como lo observó Polack (2008) en invernáculos de tomate. En cambio, para la fauna de suelo (edáfica), interesan más ciertas características de la vegetación como su estructura y densidad, así como también la composición del mantillo, la disponibilidad de presas y el tipo y calidad de suelo (Paleologos *et al.*, 2008, Paleologos, 2012). Conocer estos aspectos nos permite tenerlos en cuenta cuando se busca favorecer la presencia de fauna benéfica en el agroecosistema.

El aumento de la diversidad es una condición necesaria pero no suficiente para solucionar el problema de plagas. Es necesario diseñar y manejar la diversidad de manera tal que la misma favorezca la presencia de los insectos benéficos y reducir las poblaciones de fitófagos atendiendo a las características biológicas de las plagas y sus enemigos naturales.

Conclusiones

Las prácticas agrícolas intensivas aumentan la vulnerabilidad de los agroecosistemas y conducen a numerosos problemas entre ellos, la aparición de plagas, debido al debilitamiento de los mecanismos “*Bottom-up*” y “*Top-down*”.

El manejo de plagas, en el marco de una agricultura sustentable requiere una reformulación de la forma de abordaje del problema. No se trata sólo de cambiar las estrategias de control de las plagas por otras “más benignas” sino comprender que es imposible su erradicación (tal como se ha planteado hasta el momento) y avanzar en estrategias de manejo que permitan mantener sus poblaciones dentro de niveles de daño no perjudiciales para los cultivos.

Para ello es necesario comprender el funcionamiento del agroecosistema y de las interacciones ecológicas que se dan en el mismo para priorizar estrategias que tiendan a aumentar y conservar los enemigos naturales de presencia espontánea y a modificar la calidad del recurso para que no sea preferido por las plagas.

Preguntas para el repaso y la reflexión

- 1- *¿Por qué algunas especies de artrópodos fitófagos se convierten en plagas en los agroecosistemas?*
- 2- *¿Cómo se aborda la problemática de plagas desde un enfoque convencional y desde uno agroecológico? Señale las principales diferencias.*

- 3- ¿Es correcto usar el mismo umbral de daño económico para una plaga cuando se controla con un insecticida químico que cuando se utiliza la liberación de un enemigo natural (EN)? ¿Por qué?
- 4- ¿En qué factores naturales se basan los mecanismos de control denominados "Bottom-up" y "Top-down"?
- 5- ¿Qué prácticas de manejo se asocian con el crecimiento de plantas "sanas" y cuáles no? Fundamente su respuesta.
- 6- ¿Qué tipo de control biológico (clásico, neoclásico, por conservación) le parece más apropiado en el marco de una agricultura sustentable? Fundamente su respuesta.
- 7- Un ácaro depredador de la plaga "arañuela roja" es muy frecuente en los cultivos de frutilla. Este depredador, que se alimenta también de polen y ninfas de trips, es un muy buen agente de control de la arañuela y por lo tanto su presencia en el sistema tiene mucho valor en las estrategias de manejo de esta plaga. Existen situaciones, sin embargo, en las que la cantidad de depredadores presentes no es suficiente para mantener a las poblaciones de la plaga por debajo del NDE. En este contexto: ¿Qué acciones de manejo podrían llevarse a cabo en el cultivo de frutilla para favorecer la acción de este enemigo natural?
- 8- ¿Qué efectos puede tener la diversidad vegetal circundante al cultivo sobre las plagas? ¿Y sobre los enemigos naturales?
- 9- ¿Qué influencia puede tener la biodiversidad a nivel de paisaje en el éxito del manejo ecológico de plagas a nivel de finca?
- 10- ¿Cuáles son los inconvenientes que usted puede identificar en el uso de plantas transgénicas para el control de plagas?
- 11- ¿Qué estrategias de manejo "top-down" y "bottom-up" le parecen apropiadas para trabajar en un manejo sustentable de plagas? Fundamente su respuesta.

Bibliografía citada

- Altieri MA & DL Letourneau (1982) Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection*. 1:405-430.
- Altieri MA, LL Schmidt & R Montalba (1998) Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli insect pest populations. *Biodynamics*, 23-26.
- Baloriani G, MF Paleologos, ME Marasas & SJ Sarandon (2009) Abundancia y riqueza de la macrofauna edáfica (Coleoptera y Araneae) en invernáculos convencionales y en transición agroecológica. Arana, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología* 4 (2). 5pp.
- Brodbeck B, J Stavisky, J Funderburk, P Andersen & S Olson (2001) Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon esculentum*. *Entomol. Exp. Appl.* 99 (2): 165–172.
- Chaboussou F (1967) La trophobiose ou les rapports nutritinnels entre la Plante-hôte et ses parasites. "Ann. Soc. Ent. Fr.", 3(3): 797-809.

- Costamagna AC, AM M de Remes Lenicov & M Zanelli (2005) Maize and Oat Antixenosis and Antibiosis Against *Delphacodes kuscheli* (Homoptera: Delphacidae), Vector of "Mal de Rio Cuarto" of Maize in Argentina. *Journal of Economic Entomology* 98 (4):1374-1381.
- DeBach P (1964) *Biological control of insect pests and weeds*, Londres, Chapman y Hall. 844 pp.
- García MA & MA Altieri (1992) Explaining differences in flea beetle *Phyllotreta cruciferae* Goeze densities in simple and mixed broccoli cropping systems as a function of individual behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 62: 201-209.
- Greco NM, SJ Sarandón & PC Pereyra (1998) Parasitism of *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Pyralidae) eggs by *Trichogramma exiguum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): Influence of *Zea mays* leaf pubescence. *Ecología Austral*, 8 (1): 31-35.
- Greco NM, NE Sánchez & PC Pereyra (2002) Principios de manejo de plagas en una agricultura sustentable. En "AGROECOLOGIA: El camino hacia una agricultura sustentable", SJ Sarandón (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. Capítulo 13: 251-274
- Hernández Medina CA, J Días Sánchez & JR Gómez Souza (2009) Influencia de la fertilización nitrogenada y potásica sobre algunos parámetros biológicos del áfido *Sipha flava* Forbes en caña de azúcar Centro Agrícola, 36(1): 47-51. Disponible en: http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V36-Numero_1/cag081091657.pdf. Último acceso: enero 2014
- Marasas M, SJ Sarandón & A Cicchino (2010) Semi-natural habitats and field margins in a typical agroecosystem of the Argentinean pampas as a reservoir of carabid beetles. *Journal of Sustainable Agriculture*, 34:1-16.
- Nicholls Estrada C (2008) Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. Universidad de Antioquía. Colombia. 294 pp. Disponible en: <http://globalalternatives.org/files/Control%20biologico%20de%20insectos,%20un%20enfoque%20agroecologico.pdf>. Último acceso: septiembre de 2013.
- Olivera J (2001) Manejo Agroecológico del Predio. Guía de Planificación. 1^{era} Edición. Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología: 121-130.
- Paleologos MF (2012) Los carábidos como componentes clave de la agrobiodiversidad. Su rol en la sustentabilidad de los agroecosistemas de vid de la costa de Berisso, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. UNLP. 225 pp.
- Paleologos MF, CC Flores, SJ Sarandon, SA Stupino & MM Bonicatto (2008) Abundancia y diversidad de la entomofauna asociada a ambientes seminaturales en fincas hortícolas de La Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Brasileira de Agroecología*. 3 (1): 28-40.
- Pérez Consuegra N (2004) Manejo Ecológico de Plagas. CEDAR. Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. ISBN: 959-246-083-3. 292 pp.
- Polack LA (2008) Interacciones tritróficas involucradas en el control de plagas de cultivos hortícolas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. 172 pp.
- Restrepo Rivera J (1994) Teoría de la trofobiosis. Plantas enfermas por el uso de agroquímicos. Disponible en: <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/presentacion/documentos/trofobiosis.pdf>. Último acceso: septiembre de 2013. 31 pp.
- Root RB (1973) Organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (*Brassica oleracea*). *Ecological Monographs* 43: 95-124.
- Schuphan W (1974) Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments: results of 12 years experiments with vegetables (1960-1972). *Qual. Plant Plant Foods Human Nutr.*, 23: 333-358.

Thies C & T Tschardtke (1999) Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285: 893-895.

Thomas MB & EJP Marshall (1999) Arthropod abundance and diversity in differently vegetable margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 131-144.