

**M**<sub>ANEJO</sub>

**I**<sub>NTEGRADO DE</sub>

**P**<sub>LAGAS</sub> :

LAS **BASES**,  
LOS **CONCEPTOS**  
SU **MERCANTILIZACIÓN**

**F. Romero R.**

**Universidad Autónoma Chapingo**

**Colegio de Postgraduados:** Instituto de Fitosanidad, Montecillo.

Chapingo, Tezcoco, Méx. cp 56230

MÉXICO

Primera edición en español 2004  
ISBN: Felipe Romero R  
D. R. © Felipe Romero R  
Domicilio: Fco Sarabia 112, Sn, Juanito,  
Tezcoco, Méx.; MÉXICO. CP 56170  
Tel.: (95) 4 27 13  
Impreso en México

# Contenido

INTRODUCCIÓN	1
1. SISTEMAS INTEGRADOS DE CONTROL Y MANEJO: CIP Y MIP	7
1.1. El control integrado de plagas (CIP)	7
1.2. El manejo integrado de plagas (CIP)	8
1.2.1. El origen y la necesidad del MIP	9
1.2.2. El objetivo del MIP	10
1.2.3. Fundamentos ecológicos, agronómicos y económicos del MIP	10
1.2.3.1. Fundamentos ecológicos	10
1.2.3.2. Fundamentos agronómicos	11
1.2.3.3. Fundamentos económicos	11
1.2.4. La investigación básica al MIP y los modelos de predicción	11
1.2.5. EL MIP como sistema (estrategia) de control	13
2. EL ECOSISTEMA	19
2.1. El conocimiento ecológico	19
2.2. La biósfera y sus biomas	19
2.3. Ecología de poblaciones en un ecosistema	22
2.4. Contaminantes de los ecosistemas	23
3. EL AGROECOSISTEMA Y SUS POBLACIONES PLAGA	27
3.1. Invento de la agricultura; conciencia de las plagas	27
3.2. Ordenamientos ecológicos en biomas y agroecosistemas	27
3.2.1. Ordenamiento espacial	27
3.2.2. Ordenamiento temporal	28
3.2.3. Ordenamiento evolutivo	29
3.2.4. Ordenamiento trófico o nutricional	29
3.3. Clasificación de los agroecosistemas	29
3.4. Ecología de poblaciones plaga en los agroecosistemas	30
3.4.1. Fluctuación de poblaciones plaga	31
3.4.1.1. Factores independientes de la densidad poblacional	32
3.4.1.1.1. Ciclos de clima y tiempo meteorológico	32
3.4.1.1.2. Migración	32
3.4.1.1.3. Voltinismo y quiescencia	32
3.4.1.2. Factores dependientes de la densidad poblacional	33
3.4.1.2.1. Entomopatógenos, parasitoides y depredadores	33
3.4.1.2.2. Competencia interespecífica	33
3.4.1.2.3. Competencia intraespecífica	33
3.4.1.2.4. Dispersión	34
3.4.2. El crecimiento poblacional	34
3.4.2.1. Las tasas de crecimiento	34
3.4.2.2. El modelo exponencial del crecimiento poblacional	35
3.4.2.3. El concepto de tasa "instantánea de crecimiento"	36
3.4.2.4. las tablas de vida y los factores clave de mortalidad	37
4. EL MUESTREO DE ARTRÓPODOS	39
4.1. Muestreo: ¿al azar? ¿estratificado? ¿sistemático?	39

4.2. El tamaño de muestra	41
4.3. El número de muestras	41
4.4. Distribución estadística espacial	43
4.5. Los métodos de muestreo	44
4.5.1. Muestreo cuantitativo	44
4.5.1.1. Cuantitativo absoluto	44
4.5.1.2. Cuantitativo relativo	45
4.5.2. Muestreo cualitativo	46
4.6. Muestreo secuencial	47
<b>5. DINÁMICA DE POBLACIONES</b>	<b>51</b>
5.1. Fenología de las plagas	51
5.1.1. Taxonomía	51
5.1.2. Ciclos biológicos	51
5.1.3. Ecología poblacional	53
5.1.4. Comportamiento	53
5.2. Localización y temporalidad de las plagas	54
5.2.1. Localización	54
5.2.2. Temporalidad de las plagas	55
5.3. Dispersión	56
5.4. Migración	56
<b>6. CONTROL NATURAL ABIÓTICO Y BIÓTICO</b>	<b>59</b>
6.1. Introducción	59
6.2. Las bases del control natural	60
6.2.1. Teoría de la evolución	60
6.2.2. Ley de Hardy–Weinberg	61
6.3. Agentes de control natural abiótico	62
6.4. Factores bióticos de control natural	63
6.4.1. Protozoarios y nematodos	63
6.4.2. Virus	64
6.4.3. Hongos	64
6.4.4. Bacterias	65
6.4.5. Depredadores	66
6.4.6. Parasitoides	67
6.5. Competencia y resistencia	67
6.5.1. Competencia intra e interespecífica	68
6.5.2. Resistencia vegetal	68
6.6. Los factores clave del control natural	69
<b>7. EL UMBRAL ECONÓMICO</b>	<b>71</b>
7.1. Introducción	71
7.2. Aspectos negativos del combate químico de plagas	72
7.2.1. Resistencia, contaminación y control de residuos	72
7.2.2. El desarrollo de insecticidas	72
7.3. Costos, subsidios, umbrales y daños	74
7.3.1. Costos, subsidios y umbrales	74

7.3.2. Análisis de daños	76
7.3.3. Concepto poblacional del daño	76
7.4. Pérdidas de cosecha y aspectos bioeconómicos del umbral	77
7.4.1. Estudios con infestaciones naturales	78
7.4.2. Estudios de laboratorio	78
7.4.3. Estudios con daño simulado	78
7.4.4. Estudios con infestación artificial	79
7.4.5. Experimentación para cuantificar los daños	79
7.4.5.1. Experimentos de campo	79
7.4.5.2. Experimentos de invernadero y cámara de cría	80
7.4.5.3. Las variables experimentales	80
7.4.6. Aspectos bioeconómicos del umbral	80
<b>8. RESUMEN: CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA HACER MEP</b>	<b>83</b>
8.1. Conocimiento del ecosistema	83
8.2. Conocimiento del agroecosistema	84
8.2.1. Conocimiento del cultivar "x"	85
8.2.2. Conocimiento de la plaga "Y"	85
8.3. Conocimiento del patosistema (tácticas preventivas de control)	86
8.4. Conocimiento del umbral económico	87
8.5. Conocimiento de las tácticas curativas de control integrado	87
<b>REFERENCIAS</b>	<b>89</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>96</b>



## INTRODUCCIÓN

El manejo integrado de plagas (MIP) aún no acaba de nacer. Desde sus inicios, los pioneros R. Smith, y C.B. Huffaker previeron dificultades para su desarrollo; pero fue R. van den Bosch, quien en forma visionaria predijo que el MIP iba a tener que enfrentarse a la oposición de intereses muy poderosos.

Esos intereses están representados, en todo el mundo, por:

Los fabricantes que, al sintetizar los modernos insecticidas, acapararon el dominio de una actividad (el combate de insectos plaga), que antes fue agroecológica y que ellos simplificaron con sus productos, convirtiéndola en sólo química. Esto, en sí, no es malo; pero sí lo es su propaganda tendenciosa.

Las compañías vendedoras de insecticidas y los técnicos a su servicio, que no van a permitir la caída de su negocio y fuente de ingresos.

Los "plagueros" que sin preparación ecológica adecuada, gozan de "licencia" para diagnosticar plagas (eso no sería malo) e impunidad para prescribir productos de naturaleza sumamente peligrosa por ser biocidas más o menos universales (esto sí lo es).

Los aplicadores profesionales de insecticidas, especialmente los aéreos.

Las instituciones de crédito que sólo lo otorgan a quienes aplican "la tecnología más avanzada" (los plaguicidas que "garantizan" la recuperación del capital).

La industria de transformación de alimentos y de empacado de frutas y verduras de exportación, que exige una "fitosanidad cosmética" casi total o "tolerancia casi cero", contra huellas o restos de insectos, en todos los caso ilógica y absurda.

Las asociaciones y los productores agrícolas individuales que, estando permanentemente manipulados por la propaganda de la industria y el comercio de insecticidas, se convierten en fervientes creyentes de que únicamente con "sus" venenos y "su" libertad de usarlos, pueden producir lo que se exige de ellos.

Pero hubo entomólogos profesionales que taimadamente se opusieron al MIP (todavía los hay), aparentando asumirlo, conocerlo y dominarlo. Fueron los administradores gubernamentales de la fitosanidad que, dejándose corromper por la industria y el comercio de plaguicidas, registraban productos a partir de estudios evidentemente amañados (cuando llegaban a hacerse); o disimulaban ante los abusos cometidos, con insecticidas, por personas físicas y morales; o inventaban campañas para envenenar, por su cuenta, grandes áreas "azotadas" por "implacables plagas" (cuando llegaban a aplicar los insecticidas, porque con mucha frecuencia los comerciaban ilegalmente, o los dejaban decaer en los almacenes). Fueron los científicos de los institutos oficiales de investigación, que jamás hacían estudios de impacto ambiental, y se limitaban a investigar lo que las compañías les indicaban. Fueron los jefes de esos investigadores y administradores, que recibían regalos, viajes para ellos o sus familiares por cuenta de las compañías, sin justificación moral alguna. Fueron los evaluadores nacionales e internacionales de proyectos de investigación, que aprobaron todo proyectos titulado con las palabras mágicas "integrado" o "sustentable", aunque sólo aparecieran en el título, pues el contenido frecuentemente estuvo vacío de agroecología. Fueron los defensores de la iniciativa privada y la libre empresa, carentes muchas veces de posición política o ecológica, simples "liberales"; lo peor es que también eran inconscientes, debido a su ignorancia. Fueron los entomólogos dirigentes de las sociedades agrocientíficas o tecnológicas que con su silencio, ignorancia o complicidad, permitieron que el término MIP se mercantilizara en sus eventos, hasta el grado de convertirlos en escaparates de venta y exposición: venta de insecticidas y equipo de las mismas empresas que los patrocinaban; exposición de proyectos de investigación, que únicamente en el título tenían (y aún tienen) algo de ecológico, de "MIP", o de "sustentable".

Fue la prensa especializada, al servicio de los anunciantes de insecticidas donde, en aras de la

“erradicar” las plagas, se propició contaminar el ambiente y se ocultó el efecto de la “erradicación”, especialmente el efecto mortal en los aplicadores terrestres, casi siempre peones.

Fue el mismo Norman Bourlag quien, en audiencia pública, y "sin comprender los mecanismos básicos de la naturaleza" (palabras de van den Bosch), testificó en pro del DDT, cuando este producto fue puesto en el "banquillo de los acusados"; y en contra de los "ambientólogos modernos" (en palabras de Bourlag) que lucharon por su prohibición; pero eso es explicable porque, no siendo entomólogo, no comprendió que el combate químico "alienta la posición competitiva de los insectos", ya que éstos "no tienen que pensar" y, como no piensan, no cometen errores.

Fueron, y aún son, los científicos serios y bien intencionados, pero ignorantes de la esencia del MIP que, en lugar de desentrañar sus bases ecológicas siguen perdiendo tiempo y recursos investigando tácticas químicas de control de insectos, favoreciendo a la industria de plaguicidas.

Y esto sucede en todos los países, los más y los menos avanzados. En realidad no hay países "avanzados" o "desarrollados" respecto al MIP, todos estamos más o menos subdesarrollados; pero los países ricos tienen dinero de sobra para cometer y corregir errores, para hacer manuales-receta-de-cocina, como los de la Universidad de California que **no** se basan en el umbral económico y la dinámica de poblaciones y el control natural biótico–abiótico, para llevar sus errores conceptuales a "los países en desarrollo", orillándolos a cometer errores equivalentes, que tarde o temprano tendrán que pagarse caro.

Debe reconocerse que los pioneros no tuvieron la visión de darle un nombre menos vulnerable al MIP, a pesar de haber previsto las vicisitudes que le esperaban.

El concepto de MIP fue escrito y publicado en inglés común y corriente por la National Academy of Science (NAS) de los EUA, y luego literalmente traducido al castellano corriente y común. Así, "integrado" fue un término que jamás debió utilizarse porque da la única idea de "unido a", "completo", "cabal", "combinado". El enunciado "manejo integrado de plagas", está fracasando como concepto, pues es inadecuado para transmitir las ideas de que su esencia científica es la ecología, su marco la teoría de los sistemas, y su operatividad el modelado de cada uno de los subsistemas componentes.

Cuando esa fácil pero "desconceptualizada" definición se divulgó, la mayoría de los entomólogos ni siquiera se tomó la molestia de estudiarla en el contexto que le dio origen (un contexto ecológico); "no era necesario", según ellos, porque:

**manejar** es "ser capaz de lidiar con...";

**integrar** "es unir o combinar (tácticas de combate contra...)"; y

**plaga** "es un insecto molesto".

*Ergo* (concluyeron), "manejo integrado de plagas es juntar métodos para enfrentar con éxito a una plaga. ¿Para qué leer al respecto estando todo tan claro?" Y claro; nunca supieron que se planteaba la necesidad de hacer agroecología (esto es: agricultura ecológica, y no ecología agrícola, como pretenden los colegas que se van al extremo de querer prescindir de los insecticidas); y la necesidad de proteger los productos agrícolas al mismo tiempo que se protege la salud humana y ambiental.

Tampoco supieron que, para manejar ecológicamente una plaga, es necesario conocer su ecología y la de su entorno, esto es: el *patosistema* que la plaga forma junto con su hospedante; el *agroecosistema* que incluye a todos los patosistemas y demás componentes de un campo cultivado; y el *ecosistema* donde se localizan los agroecosistemas. Además, dieron la impresión de no saber que esos conocimientos deben ser cuantitativos, es decir, basados en métodos de muestreo representativo.

Debieron haberlo llamado **Manejo Ecológico** de Plagas (MEP--de aquí en adelante, en estas notas usaremos indistintamente los acrónimos MIP y MEP como equivalentes); así hubiera sido más difícil el error, la ignorancia, la trampa, y la simulación alrededor del concepto; o mejor aún **Manejo Ecológico de Patosistemas** (patosistema: el sistema que, por coevolución, forma una planta con cada

una de sus plagas invertebradas –Robinson, 1986); porque así, desde la definición, hubiera quedado claro que la nueva estrategia se basaba en la agroecología y teoría de los sistemas. Nomás que el concepto de patosistema todavía no nacía.

Pero el MIP no acaba de nacer, fundamentalmente, porque ha sido utilizado como objeto mercantil. Y desgraciadamente su **primera** "mercantilización" fue académica; esto aconteció en ciertas universidades poco después de que el concepto "se virtualizara" (es "virtual" porque, en general, ahora mismo no es una realidad; porque incluso *hoy* no hacemos MIP sobre la base del umbral económico, *la* dinámica poblacional y *el* control natural; incluso los países desarrollados padecen esas deficiencias).

En efecto; el MEP comenzó a mercantilizarse en las universidades poco después que los libros de la NAS se publicaron. Profesores ya maduros y supuestamente expertos en esta "disciplina científica" (no lo es, es una **estrategia** de manejo), comenzaron a impartirla (venderla), siguiendo el orden del libro *Insect-Pest Management and Control* (de la NAS), que consiste de: una introducción; sendos capítulos de clasificación y muestreo; una reseña de cada táctica de control; una proposición, frente a los estragos causados por el mal uso de los insecticidas, para adoptar una *estrategia ecosistemática* de manejo de plagas sobre la base del conocimiento profundo de su ecología (la esencia central del libro); uno de economía del control y uno de organización y educación. Así, un libro ensayo, un libro análisis, un libro reporte de la situación ecológica cada vez más alarmante, un libro propositivo de una nueva estrategia para enfrentar a los insectos, lo convirtieron en libro de texto para impartir una "nueva disciplina científica".

Siendo sólo *otra* estrategia de combate, al igual que el control integrado de plagas (CIP), resulta ilógico impartirla como ciencia a *cualquier nivel*; pero fue absurdo cuando comenzaron a impartirlo como "base" de una maestría en "ciencias" (especialmente en universidades de países en desarrollo). **El MIP no es una ciencia**, en todo caso sería un arte, pero como aparecieron varios libros y artículos al respecto, esos profesores erróneamente lo tomaron como ciencia, y adoptaron un formato para "enseñar": minicursos de control legal, mecánico, físico, cultural, químico, etc., para plagas "modelo" de cultivos importantes; más un colofón pálidamente ecológico, y... ya; en total, un error, atribuible a falta de sensibilidad científica o a ignorancia, pero no a mala fe. Por fortuna para los estudiantes actuales (víctimas recientes), algunos de esos profesores recién aprendieron que lo esencial al MEP son sus bases, y comenzaron a hacer mención de ellas, pero configura una parte mínima de su curso de métodos de control.

De todos modos *es innecesario enseñar* MIP; tan innecesario como enseñar CIP, cosa que nunca se hizo, porque el contenido académico de esas estrategias se imparte en otros cursos de la especialidad de Entomología Agrícola y de la Maestría equivalente (a saber: ecología general, ecología de insectos, muestreo, entomología económica, control biológico, etc., etc.). Pero se justificaría donde no existen esas especialidades y se desea adquirir un criterio superficial de las tácticas de control.

La **segunda** mercantilización del MIP significó, para la industria de los plaguicidas, especialmente la de insecticidas, el negocio de la última cuarta parte del siglo xx. El MIP fue convertido en gran argumento "ecológico" de ventas por esa industria, en todo el mundo, contando con el apoyo tal vez involuntario de organizaciones oficiales nacionales e internacionales (incluyendo al *Codex Alimentarius* de FAO), que nunca establecieron parámetros para medir el grado de cumplimiento o aproximación al enfoque ecológico pregonado por las empresas que manipulan la terminología del MIP para vender ecotóxicos (término aplicable a los insecticidas de los que intencionalmente se abusa o se induce el abuso).

En manos de ellos el manejo integrado es un engaño. La mayor parte de los técnicos de la iniciativa privada desconoce el MIP, pero aun cuando fueran los mejores expertos en él, no lo aplicarían científicamente porque va *en contra* de los intereses *actuales* de sus empresas. Y que quede claro que este autor no cree en una industria agrícola libre de insecticidas; no. Los plaguicidas

deben utilizarse, pero como el último recurso, no como el primero, y menos como el único. Y el control biológico–microbiológico, junto con el control cultural y la resistencia vegetal, deben ser la columna vertebral del MIP, previo al uso de insecticidas. En ese sentido la siguiente interpretación de MIP, plasmada en el “Mensaje Ambiental” de 1979 del presidente de los EUA, J. Carter resulta excelente:

“El MIP utiliza un enfoque de sistemas para abatir el daño por plagas a niveles tolerables, mediante una variedad de técnicas, incluyendo a los parasitoides y depredadores, a los hospedantes genéticamente resistentes, a las modificaciones ambientales y, cuando es necesario y apropiado, a los plaguicidas químicos. La estrategia de MIP generalmente descansa primero en las defensas biológicas contra las plagas, antes de alterar químicamente el ambiente”. Y esa definición no la inventó Carter; es una interpretación atinada, fiel a cualquiera de las definiciones, que le elaboró alguno de sus asesores.

La **tercera** forma de mercantilización se está dando en universidades y centros de investigación, donde ciertos entomólogos, nematólogos y fitopatólogos, adoptan la terminología MIP sin dominar sus conceptos y, adornándola con otras “palabras clave”, (como sustentabilidad, nuevo argumento ecológico que es descendiente directo del MIP), la manipulan en proyectos caza–recursos para obtener apoyos económicos y premios, sin aportes sustanciales a la agroecología. Creemos que, en general, esos investigadores y las instituciones que los apoyan no son malintencionados, pero sí ignorantes.

Finalmente, cabe aclarar que el concepto de MEP habiendo sido ideado por entomólogos, en este libro lo referiremos sólo a insectos y ácaros (creemos que también sería aplicable a nematodos). Aunque hoy lo refieren también a enfermedades y plagas en general, *el MIP es un concepto entomológico; ¿porqué entomológico?*:

primero, porque sus gestores lo pensaron en términos de *insectos*;

segundo, porque las malezas son competidores, no plagas;

tercero, porque aunque algunas aves, roedores, moluscos y lagomorfos son plagas agrícolas, los gestores mencionados eran todos artropodólogos, por no decir que entomólogos, mayoritariamente agrícolas y forestales. Esto significa que las plagas que tenían en mente eran insectos y ácaros agroforestales y, en menor grado, de importancia médica y veterinaria.

cuarto, porque aún no surgen ni el fitopatólogo ni el especialista en maleza que adapten cabalmente el concepto y las bases, a sus respectivas disciplinas.

Esto es lo que nos permite aseverar que el MIP nació en un contexto predominantemente entomológico. No sabemos qué tan válido es transpolarlo a otras disciplinas agrícolas fitosanitarias como la fitopatología y la ciencia de la maleza, pero sería un acierto científico adaptarlo, para contar con un lenguaje fitosanitario, unificado, hasta donde sea lógico.

En 1981 México se declaró listo para adoptar el MIP como estrategia nacional fitosanitaria; en ese año la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) ya tenía preparado un Plan Nacional Fitosanitario (para el manejo ecológico de plagas) que se llevó dos años de gestación y elaboración; el Plan pretendía reestructurar las funciones de esa Dirección, para que generara las bases del MIP, contra cada una de las plagas importantes en México.

Así es, se concibió que el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) y la DGSV generarían las bases ecológicas del MIP, para impulsarlo en el país como *estrategia fitosanitaria nacional*. Para ello, todas las Direcciones de área y Jefaturas de Departamento de la DGSV se reestructurarían, de tal suerte que Sanidad Vegetal haría investigación básica, ya que en ese entonces contaba con recursos materiales y humanos inigualables para tal fin. El INIA, entonces dirigido por el Dr. Ramón Claverán, estuvo de acuerdo en supervisar esa investigación, y aportar la propia.

Poco antes de la reestructuración, y en aras de la contracción del aparato burocrático, el señor Francisco Merino Rábago, Secretario de Agricultura (SARH), dispuso la desaparición de Sanidad

Vegetal, y la repartición de todos sus recursos entre Distritos de Riego y Distritos de Temporal (en aquel entonces Direcciones Generales). El Director de la DGSV, Ing. Jorge Gutiérrez Samperio, acató la orden sin objeción alguna y, contra mis convicciones, me comisionó para consumir la entrega. En el último momento, y después de mucho insistir en que se estaba cometiendo un error (reparable, pero estúpido), este autor, como último recurso, presentó el Plan al Subsecretario de Agricultura, Ing. Abelardo Amaya Brondo, persona técnicamente sensible y preparada, que evitó el desatino.

Eso "salvó la vida" a Sanidad Vegetal, y a la SARH la salvó del ridículo de cerrar y después tener que volver a abrir esa importantísima Dirección. El MIP, especialmente en el contexto ecológico–fitosanitario presentado, resultó tan impactante para el ingeniero Amaya Brondo, que él logró que se diera marcha atrás en semejante desacierto. Incluso obtuvo el ofrecimiento de los Directores de Riego y de Temporal (Ings. Alberto Zazueta y Ángel Castilla), de apoyar con recursos humanos todos los trabajos de investigación pertinentes.

Y alcanzamos a iniciarlos en Tlaxcala, a manos de un entusiasta grupo de jóvenes parasitólogos agrícolas entre quienes destacaban Javier Trujillo y Gustavo Larragoiti. Después, toda la SARH se contrajo drásticamente por razones presupuestales atribuibles a la crisis económica. Fuera de ese frustrado intento, poco es lo que ha logrado el MIP en México, destacando, entre lo positivo, los trabajos de control de mosca pinta de los pastos liderados por Velazco *et al*, allá por 1967–70, y el trabajo de Bujanos, Jaramillo, *et al.*, con *Plutella xylostella*. Ambos equipos de investigadores trabajando para la Secretaría de Agricultura.



## 1. SISTEMAS INTEGRADOS DE CONTROL Y MANEJO: CIP Y MIP

### 1.1. EL CONTROL INTEGRADO DE PLAGAS (CIP)

El control de insectos plaga en el mundo agrícola había sido integral, hasta que se generalizó el uso los insecticidas orgánicos sintéticos (1945-50) que, "de una vez por todas (creían honestamente la mayoría de los entomólogos), iban a resolver para siempre el problema de plagas". Se equivocaron; no sólo fueron incapaces de controlar las plagas por sí mismos si no que, además, crearon problemas toxicológicos insospechados y no permitieron que el antiguo control integral se restableciera, a tal grado que durante el último medio siglo xx el hombre *ya no pudo* controlar integralmente a las plagas y, menos aún, manejarlas.

Al inicio de la segunda mitad de los años 1940, entomólogos forestales de Alemania, Estados (EUA) y Canadá se vieron en la necesidad de buscar el momento más adecuado para que las aplicaciones de insecticidas que estaban haciendo, no continuaran exterminando las poblaciones naturales de parasitoides y depredadores. Sus tratamientos estaban causando anarquía biológica, las plagas se recobraban más rápido que sus enemigos naturales y cada vez eran más resistentes; estaban peor que antes de la "era del DDT". Así fue como se mencionó por primera vez la necesidad de *integrar* el control químico al control natural prevaleciente, para no interferir con él.

Durante los años 1950 los entomólogos agrícolas californianos conceptualizaron la práctica anterior, la nominaron control integrado de plagas (CIP) y le dieron sustentación teórica. Se dijo entonces que el CIP "es una combinación de medidas químicas, biológicas y culturales de combate, que tienden a disminuir las alteraciones de las plagas en un medio determinado". Para fines de esa década ya se conocía, entre esos mismos entomólogos, como "*la aplicación de dos o más tácticas de control para mantener una plaga por debajo de su umbral económico*". Sólo que no se conocía el umbral de la mayoría de las plagas en cada lugar (*ni ahora mismo se conoce*), y con frecuencia "era difundido" por comerciante de insecticidas, a partir de las "investigaciones" de los departamentos de "desarrollo" de fabricantes e importadores. Esos umbrales, los de las compañías, hasta la fecha son dudosos y, con demasiada frecuencia, artificialmente bajos.

Dentro de los primeros 10 años posteriores a la síntesis y uso masivo de los insecticidas orgánicos, comenzaron a notarse problemas, como:

- resistencia de los insectos a los insecticidas,
- inducción de plagas artrópodos que antes no lo eran, y
- abatimiento de poblaciones de aves y mamíferos que forman parte de las cadenas tróficas.

Junto con estos impactos, negativos a la estabilidad ecológica, se empezaron a detectar perjuicios a la salud humana:

- por residuos en el ambiente,
- por contaminación de alimentos y
- por razones ocupacionales entre productores agrícolas, aplicadores, bandereros, pilotos y trabajadores de las fábricas y formuladoras de insecticidas.

Sin embargo, a pesar de las pruebas científicas contra ellos, su uso siguió aumentando; la mercadotecnia, contra los intereses de los productores y consumidores, y contra la vida en el planeta, eclipsaba a la ciencia. En ese contexto apareció, en 1962, el libro de Rachel Carson "La primavera silenciosa" que, en forma valiente y bien documentada, hizo pública una situación conocida por, relativamente, pocas personas, y despertó la conciencia ecológica estadounidense y mundial. Además de su consternación científica por los atentados que se cometían en contra del suelo o "manto verde de la tierra", sus organismos y las aguas todas, por el uso indiscriminado de los "elíxires de muerte", y por el potencial carcinogénico de muchos plaguicidas especialmente los clorados y fosforados; Carson se preocupó por la resistencia de los insectos, y marcó la necesidad de

volver "a la otra ruta": el antiguo control integral.

La industria y comercio de insecticidas (empresarios, entomólogos comerciales y plagueros) fueron los principales detractores de esta "calumniosa" autora y quienes más la vilipendiaron, seguidos de aquellos del sector oficial y ciertos universitarios; a pesar de ello su obra tuvo eco, pues poco tiempo después de escrita, el problema fue abordado por la Academia Nacional de Ciencias de los EUA dando origen a comités de análisis, discusión, y conclusiones que aparecieron publicadas en una serie de libros entre 1968 y 1972; entre ellos *Insect-Pest Management and Control*, donde se intenta conceptualizar por primera vez el MIP dentro de la teoría de los sistemas, y *Pest Control: Strategies for the Future*, ambos libros resultado de encuentros entre entomólogos nacionales y extranjeros (a los Estados Unidos): universitarios, del sector oficial, de la industria química y de fundaciones. Poco después, el mismo presidente de los EUA (J. Carter) se referiría al MIP en su Mensaje ambiental a la nación. Así de "calumniosa" resultó la obra de Carson.

Pero volvamos al origen. Aun cuando fue *definido por entomólogos* californianos apenas en los años 1950, el CIP se ha practicado desde hace miles de años, o por lo menos cientos, sin que nadie intentara impartir cursos de eso, pues es evidente que sería ilógico *predeterminar* la aplicación de *tácticas* de combate contra plagas que son ecológicamente coyunturales, y que tienen características singulares a cada lugar (*Estrategia*: arte de disponer todos los recursos. *Táctica*, arte de usar alguno de esos recursos en un lugar y momento determinado –las definiciones originales son de uso bélico; aquí las ofrecemos en un contexto de combate de insectos). Así es, el *daño de una plaga en un lugar determinado cambia año con año* y, sin el conocimiento de su biología, ecología y comportamiento en el contexto fenológico del cultivo (conocimiento que no tenemos en la mayor parte de los casos), sería absurdo tratar de predecir todas sus posibilidades en ese lugar, para luego instruir a técnicos o agricultores respecto a las tácticas de combate a integrar en un ciclo de cultivo. Los agricultores y técnicos *de cada lugar* aprenden a adaptarse a las características *de cada plaga*, para combatirlas con mayor o menor eficiencia y eficacia, según se presentan *en cada temporada*, y con los recursos al alcance de *cada uno de ellos*.

En rigor, el CIP californiano nunca fue universalmente aplicado por desconocimiento o menosprecio del umbral económico. Para conocerlo debe investigarse el consumo y daño por individuo, colonia y población; es decir, hay que estudiar y muestrear a los insectos, y aún hoy no lo hacemos a cabalidad. Las empresas de plaguicidas inventaron umbrales artificialmente bajos para obligar a los productores, especialmente de cosechas rentables, a “proteger sus intereses”. En rigor los convirtieron en “adictos”, sin enseñarlos a muestrear, y mucho menos a definir umbrales económicos objetivos; no les conviene.

El CIP, habiendo en general fracasado (hay muy buenos ejemplos de CIP en el mundo, especialmente en países desarrollados, pero fueron elaborados, con pocas excepciones, a muy alto costo por instituciones de investigación y/o enseñanza), tiene como alternativa prioritaria el combate químico, acompañado del biológico; pero esa prioridad a veces se convierte en unicidad y, a pesar de ello, le siguen llamando CIP; por eso está dejando la mencionada secuela de problemas. Y por eso es la triste realidad fitosanitaria actual, en nada parecida al concepto ideal (Figura 1).

## 1.2. EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)

El MIP enfrenta muchos obstáculos que impiden su nacimiento y su establecimiento real (en lo científico y comercial). Además, para su desarrollo y aplicación depende de un paquete de conocimientos respecto a cómo el ecosistema y el agroecosistema influyen en los artrópodos plaga y sus agentes naturales de control, y pretende utilizar ese conocimiento para modificar el patosistema (el binomio plaga-hospedante), de tal forma que se puedan abatir las plagas mediante alguna táctica de control *antes de tener que llegar al combate químico* (a menos que no quede otra alternativa). El

MIP es el *objetivo fitosanitario del mañana*, pero la ignorancia y las compañías de plaguicidas lo han convertido en el *argumento comercial de hoy*.

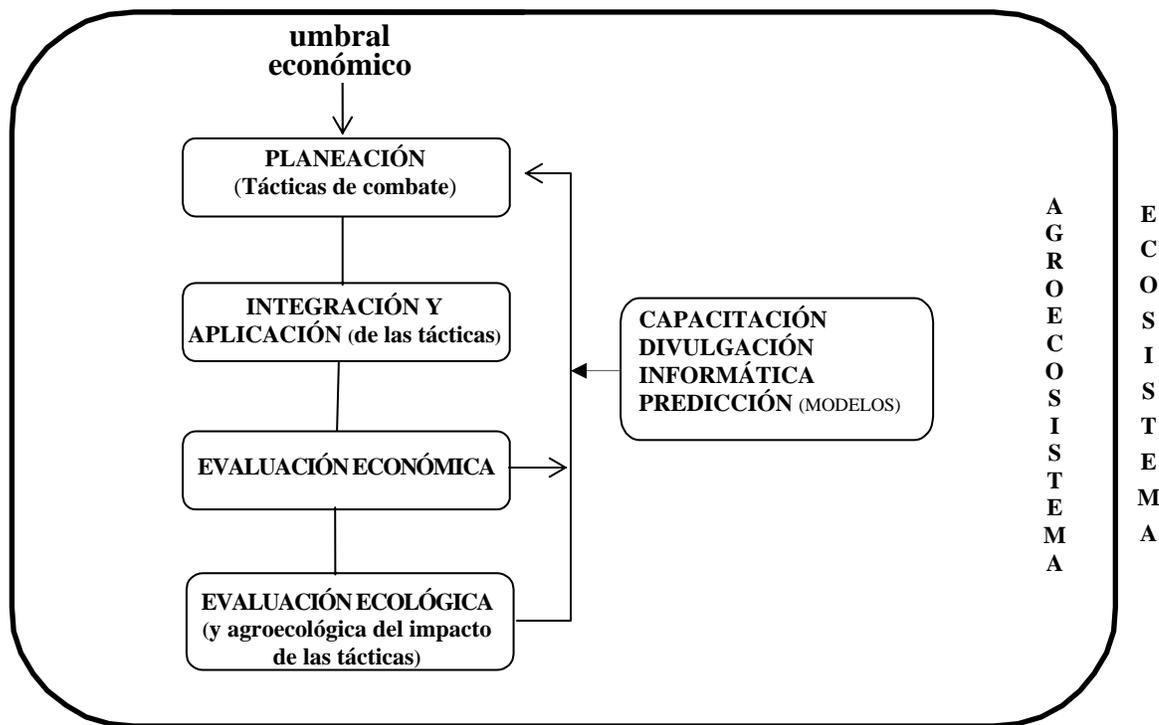


Figura 1. Secuencia de un sistema *ideal* de CIP en los agroecosistemas de un ecosistema. En la práctica (“gracias” a las industrias de plaguicidas y a la incapacidad organizativa y económica gubernamental), generalmente no se parte del umbral económico, no hay planeación de tácticas, se acude casi exclusivamente al combate químico y se atenta contra la ecología; además de que la capacitación y la divulgación son escasas, hay poca información científica y son raros los modelos de predicción.

### 1.2.1. El origen y la necesidad del MIP

Como consecuencia directa del mal uso de insecticidas y de las denuncias hechas por biólogos y entomólogos científicos, dedicados a la agroecología profesional y al estudio del ambiente (de ninguna manera calificables como ambientalistas o ecologistas, pues estos movimientos son esencialmente políticos y por lo mismo científicamente pobres), durante los años 1960, y sobre la base del trabajo de verdaderos expertos en entomología económica, se amplió la definición de CIP dándole connotación ecológica. Es así como nace el MIP.

Es necesario manejar integralmente las plagas para evitar problemas que derivan de su combate químico, táctica casi única y universal que, especialmente desde la segunda mitad del siglo xx, se aplica para asegurar la protección de cosechas. Por lo menos debemos aprender a convivir con las plagas y reducir las aplicaciones al mínimo estrictamente necesario, pues es universalmente conocido que los insecticidas pueden:

- Producir envenenamientos agudos fuera y dentro del ámbito agrícola;
- producir envenenamientos crónicos, carcinogénesis, teratogénesis o esterilidad, entre aplicadores y personal en fábricas, formuladoras, distribuidoras y almacenes;

- producir contaminación ambiental, interfiriendo en las cadenas tróficas y amenazando la supervivencia de especies "inocentes";
- inducir plagas resistentes a los insecticidas, por selección de las más adaptadas desde los puntos de vista morfológico, fisiológico y conductual;
- inducir nuevas plagas por selección de aquellas que eran secundarias, como ha sucedido con el complejo heliotis, muchos ácaros, pulgones y mosquitas blancas;
- inducir severas reinfestaciones de las plagas químicamente combatidas porque estas se recuperan más pronto que sus enemigos naturales, lo que obliga a nuevas aplicaciones; y
- encarecer cada vez más la producción por abatimiento artificial del umbral económico, ya que este es frecuentemente "definido" por los vendedores de insecticidas; definición, ya se dijo, absolutamente dudosa.

Los puntos anteriores establecen, explícitamente, que la utilización de insecticidas debería ser el último recurso de combate después de agotar las demás tácticas económicamente aplicables; es decir, que los plaguicidas deberían ser "acomodados" en los agroecosistemas, y no ser "impuestos a ellos".

### 1.2.2. El objetivo del MIP

De lo anterior se puede asumir que el MIP tiene como objetivo (o filosofía, como le dicen quienes pretenden ser "entomofilósofos") proteger al máximo las cosechas, al menor costo y con el mínimo riesgo al hombre, sus animales, sus agroecosistemas, los ecosistemas, y la biosfera.

### 1.2.3. Fundamentos ecológicos, agronómicos y económicos del MIP

#### 1.2.3.1. Fundamentos ecológicos

En primer lugar, se deben conocer profundamente los ecosistemas en que están enclavados los agroecosistemas, sobre la base de un monitoreo permanente del ambiente *físico* (luz, humedad, temperatura); *químico* (pH y nutrientes del suelo, contaminación), *mecánico* (textura, estructura del suelo), *meteorológico* (vientos, precipitación); y *biótico* (toda suerte de miembros de las cadenas alimentarias, enemigos naturales, y competidores como la maleza). Esto último implica el estudio de las comunidades animales y vegetales y sus interacciones como individuos y poblaciones, de orden inter, e intraespecífico.

En segundo lugar, se debe modelar el agroecosistema con funciones descriptivas de los factores más impactantes del ecosistema: humedad, temperatura, fotoperíodo-nubosidad, competidores herbívoros, parasitoides, depredadores, entomopatógenos, maleza y meteoros o siniestros más frecuentes. Esto permitirá conocer y llegar a utilizar los factores bióticos y abióticos del control natural local preexistente en el ecosistema, para generar mayor resistencia ambiental a las plagas clave en el agroecosistema. De este modo, hasta los fenómenos meteorológicos (su probabilidad de ocurrencia), pueden conjugarse para evitar aplicaciones innecesarias de plaguicidas.

Las aplicaciones de insecticidas tienden a simplificar los agroecosistemas y a aumentar las probabilidades de plaga, lo que ilustra la necesidad de mantener agroecosistemas complejos, aunque sean de alta tecnología. Éstos, con mínimo grado de complejidad, incluirían: un monocultivo **resistente**; sus plagas en el ámbito tolerable; sus entomopatógenos, parasitoides y depredadores; y la maleza ecológicamente útil, aun cuando haya necesidad de permitir o inducir la presencia de aquella maleza que atrae y alberga insectos benéficos. Pero los policultivos serán, tal vez, la forma ideal de cultivar en la futura agricultura a cielo abierto.

Un sistema agrícola como el anterior será moderadamente estable, por lo que se deberá evitar simplificarlo, especialmente mediante el uso de insecticidas. Cuando una plaga de estos agroecosistemas comience a liberarse de la presión del control natural, biológico y cultural, y tienda a explotar poblacionalmente, lo mejor será tratar de restituir el factor de presión que está fallando. Cuando esto ya no sea económicamente factible por rebase del umbral, antes de aplicar un insecticida que simplifique más el medio, y genere "adicción" a este u otros productos, podrá intentarse una táctica de control no desestabilizadora, en caso de contar con ella. Cuando la única alternativa restante sea el control con insecticidas, deberá usarse uno selectivo, en caso de contar con él.

### 1.2.3.2. Fundamentos agronómicos

Siempre que sea posible se debe tratar de obtener un modelo del agroecosistema, que incluya la caracterización de las variables:

- Físicas, químicas y meteorológicas;
- Agrotécnicas (especies y variedades, manejo y fenología de todo el ciclo de cultivo, disponibilidad y uso de insumos, maquinaria, equipo e implementos);
- Humanas (tipo de productores, técnicos, ayudantes y obra de mano);
- Organizativas (integración de los recursos para optimizar la agrotecnia); y,
- Fitosanitarias (todo el conocimiento "clave" de cada patosistema, así como las tácticas disponibles de combate, comenzando con las preventivas).

### 1.2.3.3. Fundamentos económicos

La introducción de cualquier especie o variedad debe responder a estudios de adaptación agronómica y viabilidad económica a largo plazo, que incluya el análisis de riesgo por plagas y sus costos de control. En ocasiones no existe una plaga clave, pero sí varias secundarias que, combinadas, haría incosteable el cultivo; otras veces no se prevé el peligro de invasión por plagas exóticas, pero inminentes por la vecindad con zonas ya plagadas y por la deficiencia del control legal, especialmente en las áreas bien comunicadas; otras más, no se toman en cuenta las taxativas no arancelarias nacionales o internacionales que dependen de plagas o no.

No es raro concluir que la zona "x" es económicamente favorable al cultivo "y", para encontrarse, al poco tiempo, con que la plaga "z", que no era problema, lo vuelva antieconómico.

Este fenómeno rara vez se da por falta de capacidad fitosanitaria; normalmente ocurre por una irresponsable selección por resistencia a plaguicidas después de ciclos de abuso de estos productos; México ha sufrido este tipo de malas experiencia en varias regiones y con varios cultivos. Esto hace necesario el manejo toxicológico de áreas agrícolas, sobre la base de las características de los plaguicidas, al conocimiento existente de las familias de insecticidas y al conocimiento de la inducción de resistencia cruzada. Según los fundamentos descritos y las definiciones de MIP, para aplicar este sistema es imprescindible desarrollar tecnología y modelos, a partir de investigar la dinámica de poblaciones, el control natural, los umbrales de daño y económico, y las tácticas de control con su impacto ecológico (Figura 2).

### 1.2.4. La investigación básica al MIP y los modelos de predicción

En un sistema de manejo ecológico de patosistemas, el conocimiento básico de una plaga

determinada permitirá planear, programar, organizar, integrar y predecir las tácticas de combate utilizables, cuando la plaga sobrepase su marco preventivo. Ese marco (resistencia vegetal, control cultural y control macro y microbiológico) debe entenderse como complemento del control natural, y debe servir para predecir el impacto, de cada una de las tácticas que lo integran, en el control natural biótico.

Todo lo anterior define la necesidad de capacitar a productores, asistentes, técnicos y especialistas fitosanitarios en agroecología; estos últimos a nivel de postgrado.

Un manejo adecuado de la información que se genere permitirá diagnosticar las plagas antes de su aparición real, basándose en el cómputo de modelos estocásticos capaces de funcionar bien, idealmente hasta con un mínimo de datos bioecológicos. Esto constituye otra área de investigación: la "masa crítica" de conocimiento necesario.

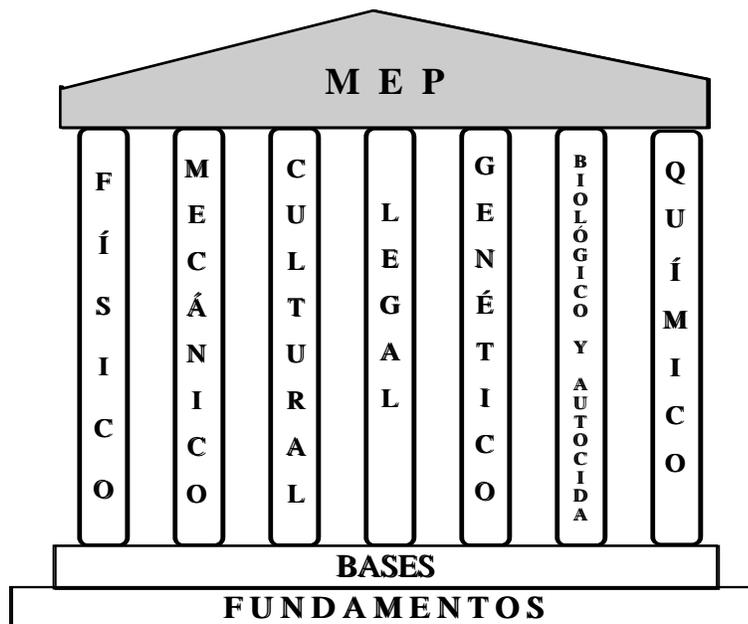


Figura 2. Integración de los fundamentos (ecológicos, agronómicos, económicos ), bases (control natural, dinámica de poblaciones, umbral económico) y tácticas del control (físico, mecánico, etc.), en un sistema de manejo ecológico de patosistemas (MEP).

El cotejo de las condiciones de tiempo y clima prevalecientes, contra los más antiguos registros de cada zona o región, establece las variables meteorológicas favorables o desfavorables para una población plaga, de la que se deben conocer, adicionalmente, los parámetros bióticos que afectan su densidad. De aquí surgiría otro mínimo de datos requeridos por los modelos de predicción.

Para algunos autores, el MIP ha fracasado porque, según ellos, no está basado en una sólida estructura teórica o conceptual. Este autor sostiene que esa estructura existe y ha existido desde la aparición de los libros ya mencionados de la NAS y, más concretamente, con la adopción por parte de la FAO de una definición *ecológica* de CIP, que puede aceptarse como la definición de MIP, junto con la definición-directriz del expresidente de los EUA, J. Carter.

No, no ha fracasado el MIP. Estamos fracasando quienes deberíamos haberlo desarrollado (los investigadores), y sus usuarios reales y virtuales (productores y gobiernos). Estamos fracasando quienes hacemos el juego a la industria de plaguicidas; sea consumiendo sus productos con criterio

manipulado por la propaganda; sea no estableciendo marcos de actuación o conducta y sanciones al abuso de sus productos; sea no denunciando a los entomólogos ignorantes o mal intencionados, en cuanto a usufructuarios espurios de la terminología del MIP.

La solución de todo problema científico o tecnológico comienza con su *definición* a partir de observaciones; continúa con la *investigación* básica o experimental de ciertas hipótesis, y culmina con la aplicación (*implementación*) de medidas adecuadas, según las *conclusiones* de los análisis. Los entomólogos, en general, hemos definido adecuadamente cada problema entomológico que se nos ha presentado; pero también, en general, *no hemos hecho la suficiente investigación básica requerida* para hacer MIP; es decir, nos ha faltado análisis científico. En consecuencia, no habiendo alcanzado conclusiones agroecológicas adecuadas, únicamente hemos aplicado remedios experimentales químicos y antiecológicos.

Pero, suponiendo que fuese cierto que falta sustento teórico para hacer MIP; tómesese este trabajo como una modesta contribución para empezar a llenar el supuesto vacío.

Un buen modelo agroecológico puede comenzar con el individuo vegetal, y cómo su crecimiento se ve afectado por la temperatura, humedad, suelo, fertilización, el tiempo meteorológico, etc. De ese nivel se puede pasar al de múltiples plantas, y el efecto que esos y otros factores, tienen en el cultivo. Así, el modelo inicial puede llegar a convertirse en modelo de patosistema incorporando **una** plaga, y en modelo de agroecosistema incorporando prácticas culturales, control, maleza, etc.

### 1.2.5. EL MIP como sistema (estrategia) de control

Los componentes bióticos (BIOT) interactuando con los abióticos (materia y energía, ABIOT), producen sistemas biológicos (SIST. BIOL.), según el espectro (modificado) de Odum (Figura 3.). El patosistema encaja perfectamente, a nivel poblacional, en ese espectro. Un sistema de MIP se basa en el patosistema, modificado por los factores de mortalidad que a su vez son subsistemas abióticos y bióticos; todos forman parte del ecosistema, interaccionando entre sí, y además con los subsistemas de combatir al parásito.

Si realmente es necesario hacer del MIP la fitosanidad del futuro, entonces hay que aceptar que ello no será posible sin el auxilio de la teoría de los sistemas. En primer lugar porque el MIP, por sí mismo, es un sistema compuesto de:

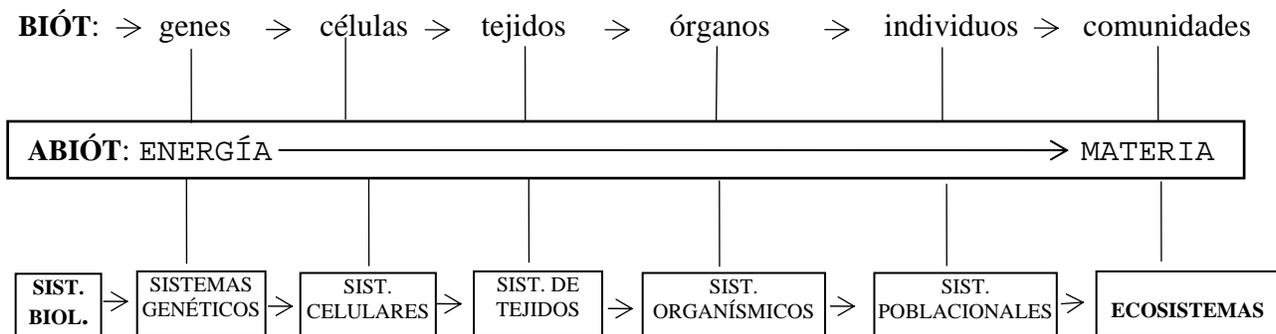


Figura 3 Espectro de los niveles abióticos (ABIOT) de energía y materia que sustentan los bióticos (BIOT), y sus sistemas biológicos (SIST. BIOL.). (modificado de Odum)

- patosistema (insecto y hospedante en contexto fenológico);
- subsistemas cohabitantes, que incluyen maleza, parasitoides, depredadores, entomopatógenos, hiperparásitos, etc.;
- subsistemas de muestreo y evaluación de daño y poblaciones;
- subsistemas de combate (por lo menos dos tácticas de control que dependen, para su aplicación con probabilidades de éxito, de subsistemas de investigación, sin los que sería imposible evaluar adecuadamente su potencial de éxito).

En segundo lugar porque el MIP forma parte de un sistema mayor, el agrosistema, que a su vez es parte, quiérase o no, del ecosistema que lo alberga.

El conocimiento científico de la interacción de esos dos grandes sistemas (agro y eco), es lo que, por definición, permitirá alcanzar la meta de hacer *manejo ecológico de una plaga*, pues de ahí surge el conocimiento de la dinámica poblacional que resulta de todos los factores de control natural; el que a su vez, cuando empieza a fallar, define los daños biológicos, a partir de los cuales se definen los umbrales económicos. Sólo conociendo éstos se pueden integrar las tácticas suplementarias que abatirán las poblaciones dañinas *de una plaga* a niveles tolerables.

Por lo anterior, debe quedar claro que **el MIP es específico para cada especie**. Lógico; cada especie establece relaciones específicas con su hospedante y con cada uno de los factores bióticos con quienes interacciona. En otras palabras, *cada cultivo origina tantos sistemas de MIP como plagas tiene*. Por lo tanto, para manejar integralmente las plagas de un cultivo *tendrían que desarrollarse antes* tantos sistemas de MIP como plagas tuviese. Y conste que sólo nos estamos refiriendo a las plagas. Las enfermedades requerirían de sistemas adicionales de MIP (y no nos referimos a la maleza por considerarlo competidor, no plaga, puesto que no depende del cultivo para sobrevivir). Visto así, no hay lugar en el mundo que cuente con un solo cultivo comercial cuyas plagas, todas, se estén manejando integralmente. ¿En qué se basan entonces, ciertos investigadores, para aseverar que están manejando integralmente a un cultivo? Un sistema de MIP es el nivel más alto de organización concebible en el combate de *una plaga*; más arriba solamente se concibe la integración de MIP's, para dos o más plagas en *un cultivo*; nomás que primero hay que generar cada uno de los MIP's integrables. Quienes dicen estar haciendo "manejo integrado de cultivos", están trabajando con otra cosa que tiene poco o nada que ver con el MEP; sólo están usando (espuria o ignorantemente) la misma terminología, o más bien el mismo idioma, sin que haya coincidencia de conceptos.

El manejo adecuado de esa información, conformada por variables estocásticas (¿o determinísticas en ciertos casos?), permitirá configurar modelos de predicción para cada plaga, y prevenir a los productores o a quienes dan servicio de asistencia técnica. Asimismo, la información permitirá planear, operar y evaluar las tácticas de control complementarias. Cuando se desconozca el nivel de control alcanzable por alguna táctica, esta no será desechada; se aplicará, y se medirá su efecto en las poblaciones.

¿Cómo se integra la información útil para definir los sistemas? Adelantos científicos como:

- la *cibernética*, basada en los principios del comportamiento autocontrolado y la retroalimentación;
- la *teoría de la información* como magnitud cuantificante de un fenómeno;
- la *teoría de los juegos*, que mide la competencia entre dos antagonistas en pos de una máxima ganancia o mínima pérdida;
- la *teoría de la decisión*, que analiza la elección de opciones y sus posibles consecuencias;
- la *topología matemática relacional*, que incluye las teorías de conjuntos, redes y gráficas;
- y
- y el *análisis factorial o aislamiento por análisis matemático* de fenómenos multivariados,

prepararon el camino para la teoría general de los sistemas (TGS), enunciada por primera vez en 1937 por Ludwig von Bertalanffy.

En efecto, los adelantos citados habían propiciado un cambio en el clima intelectual y se estaban poniendo de moda la multidisciplinariedad, las generalizaciones y los modelos, pero fue hasta diez años después que la TGS empezó a popularizarse.

La TGS tiene como objetivo la formulación de principios que sean válidos para cualquier sistema ("conjunto de componentes que interactúan, independientemente de su número y las relaciones entre ellos").

Una característica de los sistemas es el isomorfismo o paralelismo, que llega a darse en sistemas diferentes entre sí, pero afines. Esto permite visualizar mejor la utilidad de la TGS en el MEP, ya que todos los patosistemas, siendo diferentes, se parecen.

Para diseñar un sistema de MIP se requieren datos de cada subsistema; es decir, información resultante de su *análisis*; lo cual es difícil, especialmente el análisis de la fracción biótica. Esa información debe ser procesada matemáticamente, así sea a través de modelos simplificados. En rigor, un sistema de MIP es un problema biológico simplificado al máximo para ajustarlo a la TGS.

Cada subsistema dentro del MIP interactúa con los demás, demostrando características que no eran obvias cuando estaba aislado; por lo tanto hay propiedades intrínsecas para cada subsistema y sus componentes, y otras inherentes a sus interacciones; por eso se dice que, en los sistemas, el *todo* puede ser mayor que la suma de las *partes*.

La información contenida en un sistema de MIP puede organizarse en una red de "cajas" que reciben información, la procesan, y emiten nueva información. Cuando no se conocen las leyes o procesos que transformaron a la información incidente en la emergente, se dice que la caja que la procesó es una "caja oscura" (o negra). El objetivo final de la *estrategia* de MIP es explicar todas las cajas negras, o al menos las que sean *clave* para entender su funcionamiento; sólo así podrá optimizarse hasta el extremo de predecir poblaciones, momentos, y *tácticas de control* asumibles. En su desarrollo actual, incluyendo a los países desarrollados, el MIP contiene muchas cajas oscuras; eso se debe en gran medida a que el desarrollo de las teorías de la cibernética, de la informática, de los juegos, etc. es especialmente pobre, insistimos, en el área agroecológica.

En la aplicación de la estrategia de MIP:

- la teoría cibernética incluye el diseño general del sistema, su número de cajas y sus conexiones (alimentación y retroalimentación);
- la teoría de la información permite analizar la calidad y cantidad de datos que ingresan y surgen, p.e., de cada caja;
- la teoría de los juegos permite "apostar" o no al combate químico de la plaga después de un muestreo (idealmente secuencial);
- la teoría de la decisión permite determinar el momento más adecuado de la aplicación de esa medida; y
- la topología permite ponderar el valor de cada uno de los integrantes de la red (*las partes*) y el valor del resultado finalmente obtenible (*el todo*).

Un sistema de MIP empieza en el patosistema, modificado por subsistemas abióticos y bióticos, que son factores de mortalidad natural formando parte del agroecosistema, e interaccionando todos entre sí, y con los subsistemas de combatir al parásito. Por esto, en el sistema de MIP *los subsistemas más importantes son los de control natural*, pues cuando estos fallan (o están ausentes) se manifiestan las plagas por aumento de la anarquía biológica (ausencia de control natural biótico). Cada factor de control natural, especialmente los bióticos, es muy inestable en los agroecosistemas simplificados modernos. Y cuando falla alguno de los que son clave, surgen las plagas. Por eso son tan frecuentes en ellos; su homeostasis es muy precaria.

Después del control natural, los más importantes subsistemas son la *dinámica de poblaciones* y el *umbral económico*.

La dinámica de poblaciones incluye la taxonomía, *biología y comportamiento* de la plaga (subsistemas); *en el contexto fenológico del cultivar* (otro más), junto con los métodos de muestreo para determinar la distribución espacial, temporal y estadística de la plaga (otros subsistemas). Su dispersión y migración, forman otros subsistemas básicos.

Las bases del MIP se complementan con la *investigación local* (a veces regional), de umbrales económicos basados en el análisis de daños y en el de costos.

Algo, muy poco, hemos avanzado en el país y en el mundo para establecer las bases del MIP; pero eso es atribuible, más que nada, a la falta de apoyo de los productores, de la administración fitosanitaria nacional e internacional, de la industria y comercio de plaguicidas, y de los sistemas de enseñanza e investigación, de quienes dependen los investigadores y técnicos capacitados para establecer las bases. En pocas palabras, los apoyos del sistema son los que han fallado más rotundamente. Y sin apoyo no será posible lograr el MIP; en primer lugar porque se necesita que los técnicos estén mejor preparados que nunca y en número marcadamente mayor; en segundo lugar porque el MIP va a depender de la cantidad y calidad de la difusión y divulgación que se haga entre productores y técnicos de campo; y en tercero porque la información crítica que le dé vida será de una naturaleza jamás conocida hasta hoy; tal vez demasiado técnica para el productor medio.

El último nivel del sistema, el que permite decidir qué subsistemas de combate se han de asumir, una vez que se demostró que el control natural falló irreversiblemente al rebasar la plaga sus umbrales, casi siempre funciona con el control químico como primera, y a veces como única alternativa. Visto así, pareciera que el MIP no tiene futuro.

Como nivel de organización máxima bajo el agrosistema, el MIP puede incluir los subsistemas de:

- manejo del fitoparásito (control químico, físico, mecánico y legal),
- manejo de los niveles tróficos (control biológico y microbiológico),
- manejo del hospedante (control genético, cultural y legal).

Mención especial merecen los subsistemas de control *natural biótico* y control *natural abiótico*, que también se pueden manejar, hasta cierto punto.

No está por demás resaltar que el control biológico y la resistencia vegetal (entendida como manejo cultural y mejoramiento genético del hospedante) serán la columna vertebral del MIP, que se define como:

“la aplicación de dos o más tácticas fitosanitarias para mantener a **una plaga** por debajo de su umbral económico (hasta aquí es idéntica a la definición de CIP) **basadas en el conocimiento del control natural y de la dinámica de poblaciones**. Esta parte, en "negritas", es la gran diferencia con la definición de CIP, y la gran similitud con la definición de FAO, quien dice que es:

"un sistema de manejo que, **en el contexto ambiental y dinámico-poblacional**, utiliza todas las técnicas y métodos disponibles y compatibles para mantener a **una población plaga** por debajo de los niveles que causan daño económico". Esta definición de CIP fue elaborada por algunos de los científicos que conceptualizaron el MIP en el seno de la Academia de Ciencias de los EUA; en realidad es una definición de MIP, pues considera al contexto ambiental y a la dinámica poblacional. Pero ni en ese entonces ni ahora se ha tomado en cuenta al contexto ambiental ni a la dinámica poblacional al tratar de combatir las plagas agrícolas.

"un sistema que en el contexto del ambiente y la dinámica de población de la especie plaga, utiliza todas las técnicas y métodos de control para mantener a las poblaciones de **una plaga** debajo de los niveles que causan daño económico".

"el uso de dos o más tácticas de control ecológicamente orientadas y armónicamente combinadas dentro de un sistema (estrategia) para mantener a **una plaga** por debajo de su umbral económico".

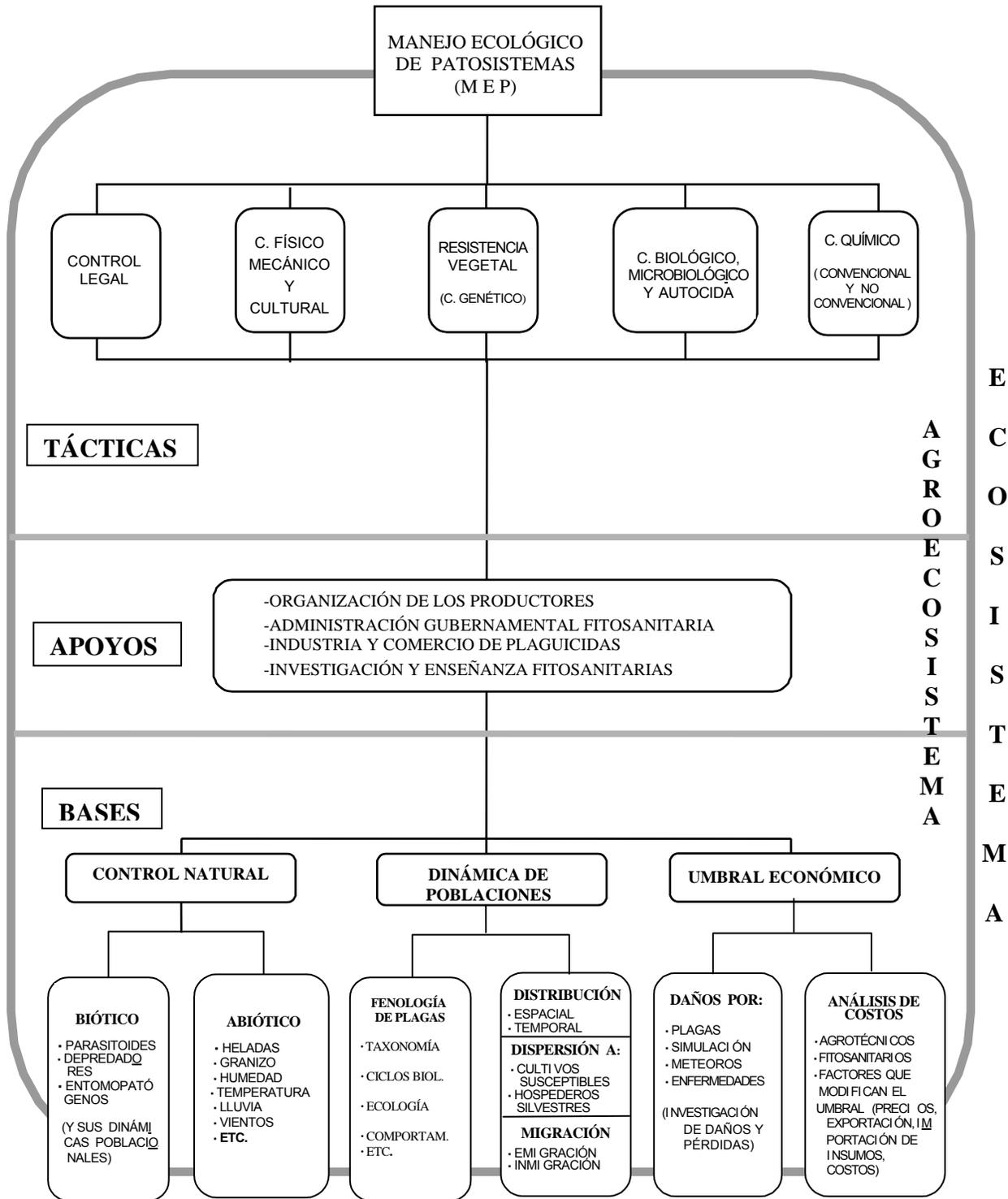


Figura 4. Modelo de manejo ecológico de patosistemas (MEP) que se basa en el conocimiento, para cada patosistema, del control natural biótico y abiótico, la dinámica de poblaciones, y el umbral económico. Los apoyos del sistema y el muestreo, son sus partes más débiles.

"el acomodo ecológico de dos o más tácticas fitosanitarias en un sistema para mantener a **una plaga** por debajo de su umbral económico, apoyado en el conocimiento de la dinámica de poblaciones, el control natural y el umbral económico de la plaga".

"la selección, integración e implementación de control de plagas basadas en consecuencias económicas, ecológicas y sociológicas predecibles".

Y hay más definiciones, entre ellas la que aparece con el número tres en el capítulo 17 de Insect Pest Management and Control de la NAS de los Estados Unidos:

"Un programa de manejo de poblaciones artrópodos designado para mantener las plagas bajo niveles económicos tolerables, mediante la maximización de la resistencia ambiental, *suplementada* con el uso de insecticidas selectivos cuando los niveles de tolerancia se ven amenazados".

En rigor, esa publicación no lanzó su propia definición de MIP, y se limitó a publicar cuatro diferentes definiciones de control integrado que ya existían en la época.

Si se observa que *las definiciones* se refieren a **una plaga**, ¿de dónde sacan los neoseudoteóricos del MIP (especialmente los no entomólogos) que el MIP es el manejo de *las* plagas y *las* enfermedades de un cultivo?, o peor aún, que el manejo integrado se refiere a **cultivos** (¡ni siquiera a sus plagas y enfermedades, sino a todo un cultivo!). Considerando nuestro pobre nivel científico y tecnológico actual, el manejar integralmente un cultivo equivaldría a contar con robots capaces de hacer cirugía de la retina;... y probablemente esto es más fácil que manejar un cultivo.

El MIP y el CIP se podrían considerar sinónimos conceptuales (ver la definición de CIP de la FAO), pero en virtud de que muchos entomólogos que se refieren a ellos no conocen las diferencias originales, ni la teoría de los sistemas, ni el lugar ecológico asignable a los plaguicidas, ni la importancia de las bases (por eso mismo no les dan el valor fundamental que tienen), es mejor verlos como dos estrategias diferentes de control.

En virtud de que el umbral económico depende de la dinámica y fluctuación de las poblaciones (y otras consideraciones económicas), las que a su vez dependen del control natural, *el verdadero MIP será practicable cuando se conozcan las tres bases para cada plaga. Esta es la tesis central del presente trabajo.* El MIP es, por lo tanto, el control de plagas de un futuro aún lejano; mayor razón para iniciarlo ahora.

Por lo anterior, no sería adecuado discutir las tácticas de control potencialmente útiles al MIP sin antes analizar sus bases y sus componentes (Figura. 4.). Las presentes notas se centrarán en el análisis de esas bases; y no nos ocuparemos, en absoluto, de las tácticas de control, de sobra(?) conocidas.

## 2. EL ECOSISTEMA

### 2.1. EL CONOCIMIENTO ECOLÓGICO

Los posibles lectores a quien se dirigen estas notas son entomólogos agrícolas o están en camino de serlo. Pero para lograrlo a cabalidad, deben contar con sólidas bases ecológicas. Un entomólogo agrícola profesional es, en rigor, un ecólogo profesional y un especialista en *sustentabilidad* (sustentabilidad: no expoliar el bioma hasta dejarlo exhausto; más bien cuidarlo para que llegue a las siguientes generaciones con el mismo potencial productivo); esto significa que debe conocer a fondo el bioma (ecosistema) en que está ubicado el agroecosistema donde pretende hacer manejo integrado de plagas; después de establecer las bases.

Cuando un entomólogo agrícola profesional ignora estos conceptos y bases, demuestra una pobre preparación. Esto es más bien raro, porque la mayoría los conoce a mayor o menor profundidad, pero *pocos* tienden a aplicarlos, especialmente cuando trabajan en el comercio de insecticidas. Los que trabajan en la investigación y enseñanza, estando sujetos a presiones de "productividad" cuantificable para ser considerados en los sistema de financiamiento de la investigación, de becas, y demás pseudoestímulos inventados por el sistema, rara vez "se atreven" a proponer proyectos ecológicos; pues si son honestos y proponen un proyecto donde se establece que el trabajo es a largo plazo, difícilmente se los financian, aunque incluyan las palabras mágicas "manejo", "integrado" o "sustentabilidad".

Este capítulo pretende (como todos los incluidos en este libro), resaltar algunos conceptos y bases ecológicas que el entomólogo agrícola profesional debe dominar para entender la agroecología fitosanitaria, no es un tratado de ecología. En rigor, tratamos de presentar un paquete crítico de conocimiento ecológico básico para entender y *utilizar* los conceptos. Mencionaremos esos conceptos y bases, así sea brevemente.

### 2.2. LA BIOSFERA Y SUS BIOMAS

Si quitásemos la "cáscara del planeta" y la extendiésemos en una superficie plana, veríamos un mosaico donde sería fácil identificar océanos, mares y golfos; continentes, penínsulas e islas; lagos, lagunas y ríos. Del ecuador a los polos notaríamos que, "en secuencia", la biosfera *terrestre* (biosfera: todas la regiones de la tierra que sustentan vida permanente, incluidas profundidades marinas y alturas montañosas o atmosféricas) se divide en selvas tropicales, sabanas, chaparrales, desiertos, pastizales templados, bosques deciduos, taigas, tundras y casquetes polares con sus respectivas zonas de transición. Estos son los grandes *clímax* comunitarios (por ser los de máxima estabilidad natural en una enorme área geográfica) llamados *biomas* terrestres, que aparecen (algunos se repiten) en las seis diferentes zonas biogeográficas del planeta. La parte estrecha de México está en la zona Neotropical (y, junto con Centroamérica, son una continuación amazónica); la parte centro-norte en la Neártica. Hay varias clasificaciones de los biomas, y una de la biogeografía; los límites interbiomas e interzonas que no son claros, se consideran de transición.

Excepto la tundra y casquetes polares, el hombre ha modificado los demás biomas para hacer agricultura, más o menos sometida: al tiempo meteorológico (temperatura, precipitación, fotoperiodo y vientos); al tipo de suelo, a la flora (en menor grado) y la fauna del bioma albergante. Por eso es que, para entender los agroecosistemas, primero debemos conocer los biomas que les albergan, y su estudio comienza en las áreas más representativas de ellos.

El estudio de la distribución, abundancia e interacción de los organismos con otros organismos y su ambiente físico o medio abiótico en un bioma (esto es, su *ecología*), se inicia seleccionando una área o *ecosistema*, entendido como el ambiente o factores bióticos y abióticos de una área

representativa, previamente determinada por quien desea analizarla. Ese análisis comienza con la detección de los flujos de energía y materia entre las comunidades vivas, flujos determinantes de las cantidades de individuos que configuran cada comunidad. La biomasa, las cantidades y la energía que se aprovecha de uno a otro niveles, estructuran las "pirámides ecológicas" de la biomasa, los números, y de la energía.

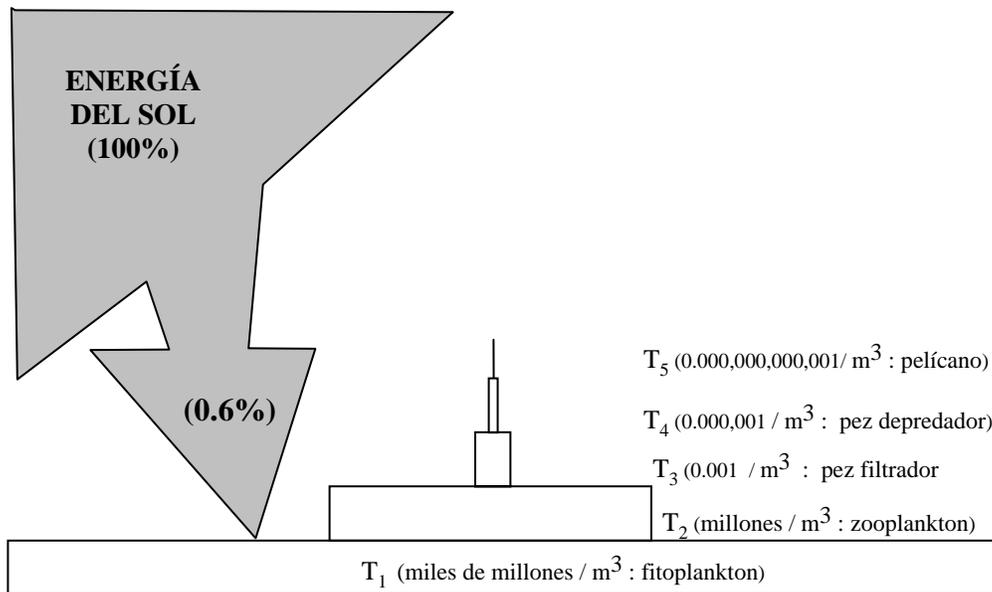


Figura 5. La pirámide de los números y su relación con los niveles tróficos (ecosistema marino).

La pirámide de los números, más evidente en ecosistemas marinos (Figura 5.), indica que muchos individuos de un nivel trófico sirven de sustento a relativamente pocos del siguiente, y así sucesivamente; los agroecosistemas también son piramidables.

La energía no fluye cíclicamente; sigue un flujo abierto, de acuerdo a la 1ª y 2ª leyes de la termodinámica. La luz del sol, por fotosíntesis, es cambiada a energía química (la energía no puede ser creada o destruida, sólo transformada: 1ª ley), y de este nivel trófico T<sub>1</sub>, el del fitoplankton en el mar, pasa a los siguientes en números espectacularmente decrecientes.

En biomas terrestres, del nivel vegetal T<sub>1</sub> pasa al de herbívoros (y plagas, T<sub>2</sub>), con pérdidas de más del 90% de la energía y materia, como calor y desechos que se dispersan aumentando la entropía o desorganización al azar (2ª ley). De allí pasa a consumidores secundarios carnívoros, parasitoides y depredadores, que ocupan el tercer nivel trófico en la cadena alimentaria (T<sub>3</sub>) y así sucesivamente, hasta los detritívoros, del último nivel trófico. Así visto, en los ecosistemas terrestres, cada paso de nivel significa un aprovechamiento mínimo de la energía del nivel anterior. Sólo el 1.2% de la energía solar incidente es utilizada por los productores primarios terrestres (Figura 6); pero eso representa el doble del porcentaje aprovechado por los marinos.

La pirámide de la energía (no ilustrada) se refiere a la cantidad de calorías que de un nivel trófico pasa al siguiente. La "piramidación" normal de las poblaciones es la resultante del funcionamiento normal de sus individuos; es decir de su homeostasis (regulación automática de funciones, para mantener constante la biología, fisiología, adaptación y comportamiento).

La energía, más los elementos materiales, constituyen la *biomasa* (masa viva en peso seco) de las especies y determinan el peso individual o poblacional. En cuanto a la materia, la vida vegetal se

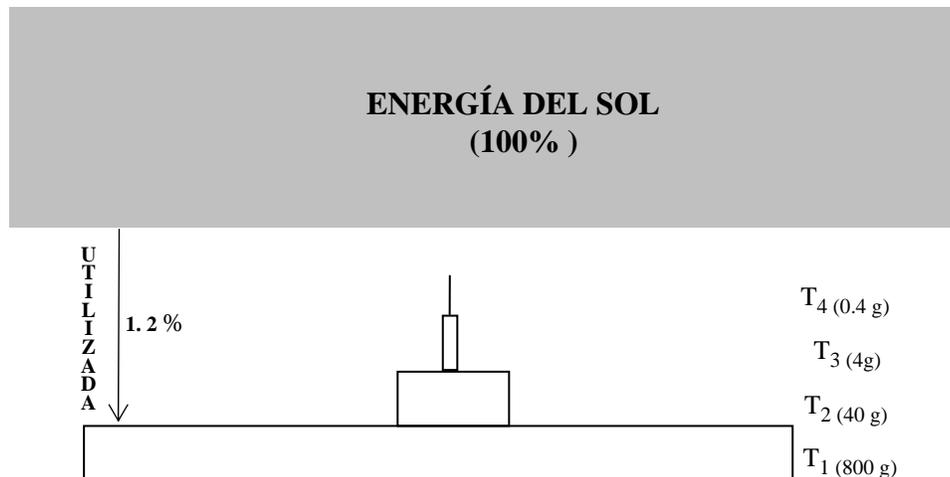


Figura 6. Pirámide de la biomasa viva en gramos por metro cuadrado y configuración de cuatro niveles tróficos en un ecosistema terrestre. Sólo parte mínima de la energía de un nivel trófico, pasa al siguiente nivel.

sustenta en 18 elementos mayores, menores y traza, y la animal en 25; en ambos casos considerando el H<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> como agua para posibilitar y sustentar la vida, oxígeno para obtener energía metabólica, y hidrógeno para reducir las moléculas y estructuras biomoleculares gigantes. Los elementos no gaseosos fluyen en ciclos sedimentarios y el resto en ciclos de gases; ambos flujos son llamados ciclos biogeoquímicos y operan local o globalmente, con alguna influencia ocasionada por el hombre. La pirámide de la biomasa esquematiza que la cantidad de peso seco de un nivel trófico, origina una cantidad bastante menor en el siguiente, hasta llegar a la cúspide. El flujo de elementos en los ecosistemas naturales se da en forma cíclica y, clásicamente, se consignan los ciclos: hidrológico, del carbono, del fósforo y del nitrógeno.

Ciclo hidrológico:

- Reservorios: Océanos, aire, acuíferos, polos y glaciales.
- Asimilación: Las plantas la absorben; los animales la beben, o comen organismos portadores.
- Liberación: Transpiración vegetal y animal; descomposición vegetal y animal.

Ciclo del carbono (Necesario a toda estructura orgánica):

- Reservorios: Atmósfera, combustibles fósiles, celulosa.
- Asimilación: Las plantas lo fotoasimilan; los animales consumen plantas o animales.
- Liberación: Respiración y descomposición de plantas y animales; combustión de organismos.

Ciclo del fósforo (Necesario para el trifosfato de adenosina -TPA- y ácidos nucleicos):

- Reservorios: Rocas y sedimentos.
- Asimilación: Las plantas absorben fosfatos; los animales consumen organismos.
- Liberación: Muerte de plantas y animales; excreción animal.

Ciclo del nitrógeno (Necesario para aminoácidos y ácidos nucleicos, Figura 7):

- Reservorios: N<sub>2</sub> atmosférico; amonio, amoniaco, nitritos y nitratos del suelo.
- Asimilación: Absorción vegetal directa de varias formas de nitrógeno; mutualismo vegetal con prokariotes del suelo o la raíz; consumo animal de plantas y animales.
- Liberación: Desnitrificación y amonificación bacterianas; excreción animal.

### 2.3. ECOLOGÍA DE POBLACIONES EN UN ECOSISTEMA

En cada bioma interactúan las *comunidades* (especies animales y vegetales que, por vivir en el mismo lugar, tienen potencial de interacción, especialmente alimentaria, dependiendo del tipo de relación *simbiótica* que establecen: parasitismo, parasitoidismo, predatismo, canibalismo, comensalismo, mutualismo, foresia, etc.) o del grado de *competencia* intra e interespecífica que resulta de su *coevolución* (evolución de dos especies que conforman una simbiosis estrecha). Las comunidades mayores o autosuficientes dan sustento a las menores o dependientes, pero todas se integran y acomodan para asumir *ordenamientos*, horizontal, vertical y temporal, y otros más, como los tróficos que explican las redes (llamadas cadenas) alimentarias, y los evolutivos, que explican la competencia, las simbiosis y la resistencia vegetal. A las comunidades de un hábitat determinado se les menciona frecuentemente como *biocenosis*.

Dentro de la comunidad animal destacan las poblaciones de insectos, con casi 400 millones de años de evolución y especiación, lo que las ha llevado a dominar el planeta en número de individuos y de especies (más de 2 millones), si se considera que hay de 5 a 20 veces más especies de insectos y ácaros que de todo el resto del Reino Animalia. La dominancia se atribuye a su sistema respiratorio traqueal, su exoesqueleto, su capacidad de volar, su facultad de empupar (más del 80% de los insectos conocidos son de metamorfosis completa), y a su tamaño reducido.

En el marco de un ecosistema agrícola, el MIP se centra en el análisis de una *población* de insectos (conjunto de individuos de una especie que ocupa un hábitat) que son plaga, para llegar a conocer su *sinecología* (ecología de las poblaciones), después de estudiar la *autoecología* del individuo (estudio del efecto de la humedad, temperatura, luminosidad, competencia y demás interacciones ambientales en un individuo); y el análisis de su población hospedante. La ecología de una especie y la identificación de su *nicho ecológico* (lo que hace durante su vida y cómo vive en su hábitat; su estrategia de supervivencia), permiten conocer mejor sus interacciones con otros organismos y el medio físico, así como las características del *hábitat* (lugar en que habitualmente vive una especie) en que se desempeña como individuo o como población.

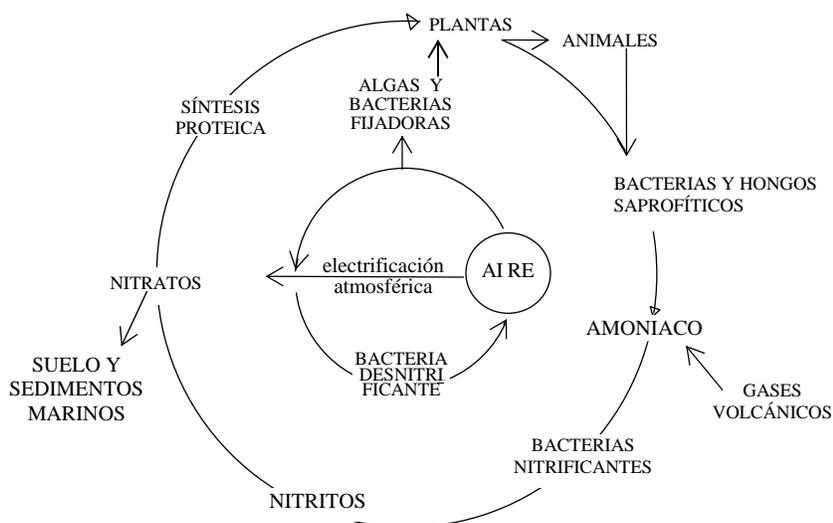


Figura 7. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno como modelo de ciclo cerrado.

El análisis cuantitativo de una especie, como parte fundamental de la ecología de poblaciones, enfatiza en:

- la densidad poblacional por unidad de superficie o sustrato;
- las tasas y estrategias de crecimiento que le permiten llegar a  $N_t$ , o población total (se dice que los estrategas  $r$  son "oportunistas" porque "explotan poblacionalmente" aprovechando al máximo su tasa de crecimiento  $r$  en un lapso corto del verano u otra estación favorable; y que los estrategas  $k$  se atienen a la capacidad constante  $K$  de sustento ambiental por unidad de superficie, sin aprovechar las coyunturas benéficas a su población);
- la estructura de edades;
- la curvas de supervivencia por edad, que son exponenciales como una "J" para los estrategas  $r$ , y logísticas o "sigmoides" (como una "S" estirada), para los estrategas  $k$ ;
- el potencial biótico –reproductivo, protectivo y nutricional–; y
- la distribución espacial y temporal del insecto.

El cualitativo pone el énfasis en el control natural biótico y abiótico, y la resistencia ambiental. Ambos resultan en la dinámica poblacional, que a su vez es la resultante de las interacciones de todos los factores que inducen fluctuaciones en el número de individuos, incluso a muy largo plazo; y ambos dependen del muestreo (se abundará algo al respecto en el capítulo de muestreo).

Los estudios ecosistemáticos necesariamente incluyen las interrelaciones entre ecosistemas, y sus cambios y evolución a corto y largo plazo; pero en rigor, la ecología de poblaciones plaga se remite a estudios de corto plazo.

## 2.4. CONTAMINANTES DE LOS ECOSISTEMAS

La biosfera, los biomas y sus ecosistemas han sido modificados por el hombre, especialmente desde que inventó la agricultura durante un proceso que duró decenas de miles, y culminó, hace apenas 10 mil años en donde confluyen Europa, Asia y África, y poco menos en Meso América. Esa gran revolución dio origen a la división del trabajo y a la civilización, pero también a la contaminación de origen urbano, que genera desechos orgánicos, inorgánicos y de combustión.

Tuvo que llegar otra revolución, la industrial; y luego la científica y tecnológica para que la contaminación adquiriera proporciones alarmantes en las aguas, en la atmósfera, y en los ecosistemas terrestres.

El hollín de carbón mineral fue el primer gran *contaminante* (cualquier forma de materia o energía, fuera de lugar, que afecta adversamente a los organismos del medio en que se deposita o acumula); después llegaron los aceites, los gases industriales y de combustión interna, los detergentes, los residuos nucleares y los de agroquímicos.

El melanismo o ennegrecimiento de las ciudades industriales de la Inglaterra del siglo xix, actuó sobre la palomilla *Biston betularia* permitiendo la mayor supervivencia de un mutante negro, anteriormente escaso. La forma normal, pinta en blanco y negro, que se posaba en los árboles, paredes y bardas que le daban protección mimética, se redujo al volverse oscuras esas superficies por el hollín. Las nuevas superficies negras resultaron muy contrastantes contra la forma pinta, lo que facilitó ser atacada por sus enemigos naturales. La selección natural y supervivencia del más apto se sigue dando como producto de cualquier interferencia, no solo la humana, en un ecosistema.

Los contaminantes derivados de la extracción, refinamiento, química y combustión del petróleo, están produciendo efectos equivalentes en las especies afectadas.

Las pruebas atómicas en atolones del Pacífico Sur, cambiaron radicalmente su ambiente, modificando, a veces espectacularmente, la forma de vida de las pocas especies que permanecieron ahí, o que llegaron después de las explosiones.

Los detergentes, que invariablemente llegan a las aguas dulces y esteros, mares y océanos, están seleccionando al zooplankton, al fitoplankton, a peces, moluscos, y aves marinas mediante la eliminación (*selección*) total o parcial de especies o individuos.

Pero destacan los plaguicidas. En 1962 la autora de "El mar que nos rodea", Rachel L. Carson, publicó "La primavera silenciosa", un libro "poco objetivo y alarmista", que señaló en forma dramática el efecto del abuso de los insecticidas, especialmente el DDT. Basándose en una revisión de las investigaciones de muchos autores, dio a conocer en su obra cómo el DDT y sus metabolitos estaban acabando con especies de peces y aves costeras; cómo algunos parajes terrestres antaño poblados de aves canoras, habían enmudecido al morir las aves por envenenamiento directo o por contaminación de su alimento. No mencionó que el abuso no es la forma normal de uso; no señaló que el DDT era más útil que perjudicial; no dijo que este producto (de uso oficial autorizado por la Organización Mundial de la Salud para las campañas contra el paludismo, incluso en casas habitación), estaba salvando más vidas *humanas* que las que amenazaba indirectamente.

Denunció la presencia de insecticidas y sus metabolitos en muchas especies en extinción, sin probar que fueran los causantes de ese fenómeno; sin embargo se debe tomar a este libro como obra crucial en la historia del uso de los plaguicidas, ya que gracias a él se comenzó a tomar conciencia ciudadana de los peligros ambientales, cuando se abusa de cualquier producto. También permitió el empuje político de los ambientalistas y está propiciando el fin del oscurantismo en el uso de los biocidas sintéticos.

De haberse persistido en esa clase de abuso de los insecticidas se hubiera acelerado la selección de especies ya afectadas por el hombre y, por supuesto, la selección del hombre mismo. Sin embargo nadie sabe si esa selección hubiera sido perjudicial o benéfica a largo plazo.

Otro autor destacado de esa época, el profesor R. van den Bosch, científico del control biológico e integral, internacionalmente respetado, escribió en 1978 un libro de denuncia muy interesante y muy valiente, *La Conspiración de los Plaguicidas*.

En el prefacio a *La Conspiración*, el profesor de la Universidad de Stanford Paul R. Ehrlich destacó la labor y valentía de Carson, y mencionó: "igual que la droga heroína, (los plaguicidas) prometen un paraíso y lo que dan es adicción. Y los vendedores de narcóticos y de plaguicidas tienen una cura para la adicción; un uso cada vez mayor del producto, sin importar el costo en monedas y en sufrimiento humano, (y en el caso de los plaguicidas, en la degradación del ambiente)".

En el contenido de su libro, y desde la introducción, el profesor van den Bosch hace severa denuncia de los métodos de la industria de plaguicidas para condicionar al productor, neutralizar a la administración pública, y fortalecer cada vez más a las plagas. Pero es contra el *Homo sapiens*, contra quien se manifiesta más severo el autor; cuando dice:

"Nuestro problema es que somos demasiado listos para obtener beneficios (de nuestra inteligencia) y, por eso mismo, el bien de la biosfera. El problema básico es que nuestro cerebro nos permite evaluar, planear y ejecutar. Así que, mientras todas las otras criaturas están programadas por la naturaleza y están sujetas a sus caprichos, nosotros tenemos nuestra propia computadora gris para motivar, para bien o para mal, nuestro motor químico. En verdad, el problema ha progresado hasta un punto en el cual intentamos operar independientemente de la naturaleza, retando su dominio sobre la biosfera. Este es un juego que simplemente no podemos ganar y, al tratar de lograrlo, hemos desatado una serie de sucesos que han causado un caos creciente en el planeta. Hay dos razones importantes de porqué, de origen, nuestro reto a la naturaleza está destinado a fracasar. Primera: aunque el cerebro nos permite planear, crear y ejecutar, sus rasgos positivos son superados por los negativos. Entre los seres vivos somos los únicos provistos de arrogancia, estupidez deliberada, avaricia, odio, celos, y el impulso de venganza. Segunda: nos falta (contar con) una gran estrategia para oponernos con éxito al antiguo y exitoso plan de la naturaleza".

Para el autor de estas notas, las corrientes ambientalistas como el MEP, la agricultura orgánica

y la agricultura sostenible, fueron concebibles y científicamente factibles gracias, en gran medida, a las denuncias de los doctores Carson y van den Bosch. Y gracias a científicos como ellos se tomó conciencia y nació el ecologismo como movimiento mundial que lucha contra la contaminación de la biosfera y sus biomas, con énfasis en los plaguicidas. No opinaremos del ecologismo como movimiento político.

Pero, independientemente de su grado de contaminación, insistimos en que los diferentes biomas o grandes ecosistemas asumen ordenamientos ecológicos:

- en el espacio,
- en el tiempo,
- en lo evolutivo y
- en lo energético y trófico.

Y en virtud de que los agroecosistemas también los asumen, los ordenamientos serán brevemente mencionados, en forma comparativa, cuando describamos en general a los agroecosistemas.



### 3. EL AGROECOSISTEMA Y SUS POBLACIONES PLAGA

#### 3.1. INVENTO DE LA AGRICULTURA; CONCIENCIA DE LAS PLAGAS

Cuando el hombre recolector entendió que las semillas de los cereales silvestres que recolectaba, originaban nuevas plantas iguales si se las dejaba tiradas en los caminos que transitaba, descubrió una de las bases para inventar la agricultura, para hacerse sedentario, para dividir el trabajo y para fundar la civilización o "régimen de vida de las ciudades" (en su acepción etimológica). Fue también en esa época que concientizó la presencia de animales que, no obstante ser bastante pequeños, llegaban a ser tan numerosos que acababan con su sustento o gran parte de él: los insectos, a quienes comenzó a eliminar manualmente separándolos de su sustrato alimenticio, iniciando así el control mecánico, la primera forma de control de plagas.

Pero desde que el hombre comenzó a recolectar en los biomas, y por lo tanto a modificarlos por utilizar sus recursos, empezó a formar los agroecosistemas. Con el tiempo llegó a transformar grandes partes de algunos biomas como los bosques tropicales y los templado-fríos, induciendo cambios de impacto global en las condiciones bióticas y abióticas del planeta.

La magnitud final de esos cambios depende del tipo de bioma previamente existente y del grado de tecnología en que se sustenta el agroecosistema invasor. Debe decirse, sin embargo, que los ordenamientos ecológicos: *espacial* (horizontal y vertical), *temporal* (la presencia de ciclos); *evolutivo* (cambios genéticos) y *trófico* (o nutricional), omnipresentes incluso en los biomas más perturbados, también se manifiestan en los agroecosistemas, cualquiera que sea su nivel de complejidad. Es necesario pues, analizar y comparar a los biomas y agroecosistemas, así sea brevemente, para entender el orden ecológico que existe dentro de ellos.

#### 3.2. ORDENAMIENTOS ECOLÓGICOS EN BIOMAS Y AGROECOSISTEMAS

##### 3.2.1. Ordenamiento espacial

Tomando como ejemplo los tres biomas más perturbados por la agricultura (bosque tropical, bosque templado deceduo y bosque de coníferas), es fácil descubrir en ellos dos estructuras espaciales, la horizontal y la vertical (Cuadro 1). La *estructura horizontal*, por ejemplo de una selva cálida y húmeda, está evidenciada por una gran variedad de especies vegetales distribuidas, cada una de ellas, de acuerdo a patrones representables matemáticamente, porque se establecen de acuerdo con leyes probabilísticas (aunque no sepamos cuales) que les obligan a ajustarse: a la presencia de sus competidores, al suelo o sustrato que les sustenta, a la humedad, a la temperatura, a la luminosidad y a sus enemigos naturales; no están ahí *totalmente al azar*. Lo mismo se puede decir de la distribución de los vegetales en los demás biomas y sus zonas de transición. Los insectos, por su parte, se distribuirán según estén distribuidas las plantas o partes de planta que les sustentan.

*Verticalmente* hay menos complejidad, pero aun así son complejos (dice Marston Bates que los bosques son arquitectura gótica, mientras que los arrecifes son barrocos). La luz, más fuerte en la cúpula y menor en la base; y la temperatura, más constante en el piso y más variable en las alturas, establecen gradientes dentro de los cuales se estratifican las especies vegetales y los consumidores primarios, secundarios, y demás, que dependen de ellas. En general se podrían mencionar tres niveles: uno herbáceo, uno arbustivo y otro arbóreo, sin olvidar a otros productores primarios que no se ajustan a esta clasificación, como las plantas parásitas, las epifitas vasculares o no vasculares y las trepadoras.

Cuadro 1. Ordenamientos ecológicos y cómo se manifiestan en los biomas y agroecosistemas.

ORDENAMIENTO:	CÓMO SE MANIFIESTA EN LOS:	
	<u>BIOMAS</u>	<u>AGROECOSISTEMAS</u>
ESPACIAL	COMPLEJO	SEMICOMPLEJO → SIMPLÍSIMO
TEMPORAL	CINCO CICLOS	CINCO CICLOS → DOS CICLOS
EVOLUTIVO	COEVOLUCIÓN LENTA Y MÚLTIPLE	EVOLUCIÓN RÁPIDA; A VECES SIMPLE
TRÓFICO	AUTOSUFICIENCIA Y REDES COMPLEJAS. (SISTEMA CERRADO)	DEPENDENCIA (INYECCIÓN DE ENERGÍA-MATERIA) Y CADENAS MUY SIMPLES PORQUE NO HAY REDES TRÓFICAS. (SISTEMA ABIERTO)

Los agroecosistemas más similares al bosque tropical son los huertos familiares tropicales perennes, pues se asemejan mucho en el ordenamiento horizontal (en una área limitada hay bastantes especies vegetales, en este caso productoras); y bastante en el vertical (cultivan hierbas, arbustos, árboles, enredaderas, epifitas, etc.).

Contrastando con ese variadísimo huerto familiar, podríamos mencionar:

- un cultivo semiperenne como la caña de azúcar, representado por un clon, sin admitir (casi) la competencia de la maleza; o
- un cultivo casi-anual como el algodónero, que tendría maleza en su base como expresión de "diversidad" pero normalmente se le elimina por indeseable.

En la selva, excepto en los lugares muy perturbados por el hombre, rara vez habrá "plagas"; en el huerto familiar llega a haberlas pero a un nivel bajo de probabilidad; en la caña son muy probables; pero en el algodónero son seguras.

### 3.2.2. Ordenamiento temporal

Aunque hay evidencias de ciclos solares muy largos (de milenios y de siglos), los ciclos solares más conocidos son relativamente cortos, de 11 años. Esas variaciones multianuales cíclicas de las tormentas y manchas solares son las que mayormente determinan, en el tiempo, el clima del planeta (hay otros determinantes, como los cambios de inclinación del eje de giro de la tierra, pero son raros en el tiempo).

Éste, en su viaje alrededor del sol, define otro ciclo, el anual; el que a su vez se compone de ciclos más cortos, las estaciones, que son más notables conforme aumenta la *latitud* (distancia del ecuador a los polos).

Dentro de cada estación se observan los casi mensuales ciclos lunares, que inducen las mareas y, con seguridad, algunos fenómenos biológicos no científicamente medidos, pero conocidos y utilizados por la gente de campo de muchos lugares del mundo.

Finalmente tenemos los ciclos conductuales de un día o "cerca de un día" (*i.e. circadianos*), que asumen las especies vivas, independientemente que formen parte del bioma o del agroecosistema.

En los biomas, la gran diversidad vegetal determina múltiples tipos de adaptación específica a *los cinco ciclos* temporales mencionados en esta clasificación.

Por contraste, en los agroecosistemas continuos monoculturales de alta tecnología y gran

consumo de insumos, es notable la presencia de sólo dos ciclos temporales simplificados: el estacional y el circadiano, debido a que esos cultivos fueron exageradamente seleccionados para obtener vegetales sujetos a ciclos vegetativos más y más reducidos. Por supuesto que sus plagas se adaptaron a ellos, comportándose en forma más notoriamente circadiana y estacional; aunque ciertos relojes biológicos internos (*e.g.* el de los insectos migratorios) pueden funcionar, además, circanualmente.

### 3.2.3. Ordenamiento evolutivo

Las interacciones entre los organismos de un bioma mantienen el equilibrio dinámico que da origen a la coevolución genética de sus especies.

Los biomas más complejos evolucionan más lentamente que los "simples" (Cuadro 1), pero su "evolución total" o suma de todos los cambios genéticos, es mayor por incluir mayor número de especies.

En contraste, un agroecosistema continuo y monocultural está tan sujeto a la acción del hombre, que éste, aun sin proponérselo, selecciona en muy poco tiempo sus especies asociadas. Los artrópodos resistentes a los plaguicidas sintéticos constituyen un ejemplo de la rapidez con que puede evolucionar un organismo sujeto "unilateralmente" a la presión de selección (entrecornillado, porque la naturaleza no deja de seguir seleccionando a las especies que el hombre selecciona; además, éste nunca dejará de ser parte de la naturaleza).

### 3.2.4. Ordenamiento trófico o nutricional

Como ya se mencionó, los nutrientes de un *bioma* (bioma, y gran ecosistema, pueden considerarse sinónimos) fluyen en forma cíclica siguiendo redes complejas y cerradas (generalmente llamadas cadenas alimentarias), de tal forma que los últimos eslabones, los grandes carnívoros, sirven de abono a los productores primarios por acción de los detritívoros necrófagos y saprófagos. Como consecuencia, los biomas son poco susceptibles a disturbios naturales, en lo nutricional. El huerto tropical familiar es el agroecosistema "más cercano" a eso, pero tarde o temprano demanda energía y/o materia del exterior.

Contrastando, los agroecosistemas monoculturales muy tecnificados son tan simples que carecen de redes tróficas y sus cadenas son simplísimas; por lo tanto son tan fácilmente disturbables, que casi cualquier fitófago puede convertirse en plaga, especialmente después del primer intento de combatirlo químicamente. Así, en los agroecosistemas de alta tecnología tiene que haber un aporte artificial de nutrientes, lo que los convierte en sistemas nutrimentalmente abiertos; de mayor producción, sí (aunque no siempre de mayor productividad), pero esa desmedida inyección de insumos es, ecológicamente, muy onerosa (Cuadro 1).

## 3.3. CLASIFICACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS

Las clasificaciones que se mencionan, especialmente la tecnológica, no implican mayor o menor productividad; hay muchos ejemplos de productores "primitivos y manuales" que son más productivos que los representantes más avanzados de la tecnología moderna; asimismo, la tecnología tradicional todavía no causa los problemas de envenenamiento, contaminación y resistencia que sigue causando la moderna tecnología en muchos lugares.

Según el ciclo temporal de cultivo, los agroecosistemas pueden ser:

"perennes",  
semiperennes,  
bianuales,  
anuales,  
estacionales, y  
de cultivo continuo (sin rotación, a veces sin descanso del terreno).

Según su utilización del espacio físico, pueden ser:

huerto familiar,  
chinampa (verdadera o "seca"),  
asociación múltiple,  
asociación simple o  
monocultivo.

Y, según la tecnología aplicada, pueden ser de:

subsistencia (autoconsumo y labor manual), de  
tecnología "tradicional" (toda tecnología, con el tiempo, se vuelve tradicional), o de  
tecnología "avanzada" (alta dependencia de insumos).

Puede haber otras clasificaciones, y de hecho existen grados intermedios entre las clasificaciones enunciadas, así como combinaciones de ellas; pero escogimos esas tres categorías porque cada una de ellas implica daño por plagas directamente proporcional a la simplificación del ambiente. Por lo tanto son más complejos y estables los agroecosistemas perennes que los de cultivo continuo; los huertos familiares que los monocultivos; y los de subsistencia que los de tecnología avanzada.

### 3.4. ECOLOGÍA DE POBLACIONES PLAGA EN LOS AGROECOSISTEMAS

Los insectos son mucho más benéficos que perjudiciales, sin embargo, algunas de sus especies continuamente compiten con el hombre, convirtiéndose en plaga o transmitiendo enfermedades a él o sus animales.

El concepto de plaga es aplicable a los agroecosistemas de donde el hombre obtiene materia y energía para su sustento, abrigo y techo. Cuando un organismo extrae de un medio más energía que la que el hombre considera adecuado, se convierte en plaga, siendo necesario (económico) combatirla; esto sucede cuando fallan o no existen los mecanismos naturales, bióticos o abióticos, de control.

Los biomas, en equilibrio dinámico permanente, no tienen plagas aun cuando fortuitamente una especie expolice a las demás. Si el hombre decide no intervenir aunque se dé el fenómeno de expoliación, es porque no tiene interés económico y por lo tanto la especie no es plaga. La figura de plaga, por lo tanto, es una concepción económica, y por eso mismo, antropocéntrica.

Los agroecosistemas perennes tipo huerto familiar, siendo ecológicamente complejos y tróficamente (casi) autosuficientes, resultan bastante estables; esto hace poco probable la aparición de plagas y, aunque a veces se dan, rara vez son combatidas.

En el extremo opuesto tenemos los agroecosistemas monoculturales y continuos o estacionales de alta tecnología:

- donde crece una sola variedad cultivada (o *cultivar*, palabra que cada día nos parece menos "bárbara");
- con plantas de la misma edad;
- con la misma información genética, incluso en cuanto a resistencia o susceptibilidad;
- con el mismo (muy alto y uniforme) nivel de nutrición y, todo ello...
- bajo condiciones macro y micro climáticas idénticas.

La sincronización biológica entre estos agroecosistema y sus fitófagos, a su vez altamente seleccionados, induce la aparición de plagas espectaculares (especialmente en los cultivos autofecundados), a menos que junto con el fitófago se sincronicen sus enemigos naturales (bióticos, por supuesto) a muy altos niveles de incidencia. Sincronización que prácticamente jamás ocurre en estas formas de cultivo.

Cuando en un huerto familiar se tiene que combatir químicamente a una plaga especializada y se aplican plaguicidas específicos, se puede lograr un impacto mínimo en el mosaico vegetal y en el balance ecológico prevaleciente; esto es debido a que se está afectando a un solo fitófago y a algunos de sus enemigos naturales. No ocurre, por lo tanto, gran perturbación, lo que permite un restablecimiento del equilibrio dinámico natural anterior a la plaga.

En el otro extremo, el control químico en un monocultivo de alta tecnología lo simplifica mucho más restándole posibilidades de equilibrio y generando, junto con las reinfestaciones, una "adicción" a los plaguicidas; esto obliga a mantener las aplicaciones contra las plagas primarias, a seleccionarlas por resistencia al agroquímico y a generar nuevas plagas de entre los artrópodos que no son plaga primaria (más frecuentemente ácaros).

Entre ambos extremos se encuentran muchas variaciones que, por obvias, serán mencionadas con brevedad (Cuadro 2).

El hábitat de una especie, más los factores que afectan las probabilidades de supervivencia de sus poblaciones, son ecológicamente complementarios y por lo mismo inseparables; sin embargo, con frecuencia abstraemos a las poblaciones de su ambiente para estudiarlas aisladas. Así, es fácil calcular cuál es la población de humanos en la tierra, en un continente o en un país; pero no lo es cuando los límites ambientales (p.e. la "Ciudad de México") no están bien definidos, y aún menos cuando no se ha evaluado el valor adaptativo de "los factores que afectan sus probabilidades de supervivencia" (la contaminación atmosférica, el estrés, la comida y bebida callejeras, la sanidad de los usuarios en el transporte público, y mil factores más, en esa Ciudad).

Igualmente, la población de conchuela del frijol por planta, por surco o por hectárea es "fácilmente" delimitable, mas no resulta fácil calcular el número de conchuelas "en la zona de Chapingo" y mucho menos definir y cuantificar a cada "factor que afecta sus probabilidades de supervivencia". Ni siquiera se ha logrado identificar los denso-dependientes factores clave de control natural biótico que podrían ahorrar trabajos más exhaustivos de muestreo al centrarse en aquellos que mayormente definen un cambio poblacional, según el concepto de "factor clave". A pesar de que se tienen buenos métodos para hacer un muestreo de la conchuela en la zona mencionada, los factores denso-independientes tampoco han sido cuantificados.

### 3.4.1. Fluctuación de poblaciones plaga

Los factores responsables del crecimiento o decrecimiento poblacional; es decir, de las *fluctuaciones* de una población, pueden depender de su *densidad* (el número de individuos por área, por volumen, o por unidad habitable) o ser independientes de ella.

Entre los independientes (los que manifiestan su efecto en la población independientemente del tamaño de ésta) tenemos el clima y el tiempo (temperatura, humedad, luminosidad, pluviosidad, granizo, sequía, y demás factores abióticos de control natural), los ciclos temporales y los siniestros (incendios, inundaciones, control químico de artrópodos "inocentes"). Estos factores modifican a las poblaciones de cualquier tamaño, sin que el tamaño influya en la probabilidad de aparición del factor. Igual sucede con la migración (emigración e inmigración), el voltinismo y los periodos de quiescencia (hibernación y diapausa) que **estén** genéticamente programados en una especie, independientemente del tamaño de su población.

Cuadro 2. Probabilidad hipotética de plagas en los agroecosistemas, según: el tiempo de ocupación del terreno, la utilización del espacio físico, y la tecnología aplicada.

PROBABILIDAD DE PLAGAS EN LOS AGROECOSISTEMAS SEGÚN:					
TIEMPO DE OCUPACIÓN:		USO DEL ESPACIO:		TECNOLOGÍA:	
CONTINUOS Y SOCAS	1.0	MONOCULTIVO	1.0	ALTA	1.0
ESTACIONALES	0.8	ASOCIACIÓN SIMPLE	0.8		
ANUALES	0.6	ASOCIACIÓN MÚLTIPLE	0.6	TRADICIONAL	0.75
MULTIANUALES	0.5	CHINAMPA	0.5		
PERENNES	0.4	HUERTO FAMILIAR	0.4	SUBSISTENCIA	0.5

Los factores que regulan la densidad y al mismo tiempo **dependen** de ella para manifestarse; es decir, aquellos que pesan en proporción al tamaño de la población, son de *carácter coevolutivo* como el parasitismo, y la depredación. O de carácter *conductual* como la:

- *competencia interespecífica* (por recursos y espacio);
- *competencia intraespecífica* (que es una función del potencial de supervivencia, que a su vez se divide en potencial de protección y de nutrición); o la
- *dispersión*, entendida como búsqueda de recursos a partir de un lugar donde empiezan a escasear (no confundir dispersión con migración), por aumento de la densidad poblacional. Puede, en ocasiones, tomarse como emigración sin retorno; es decir, **no** genéticamente programada en ambos sentidos.

### 3.4.1.1. Factores independientes de la densidad poblacional

#### 3.4.1.1.1. CICLOS DE CLIMA Y TIEMPO METEOROLÓGICO

Durante periodos de varios años, de un año, una estación, un mes o un día, se pueden dar fenómenos climáticos y meteorológicos que hacen que las poblaciones crezcan o mengüen; estos fenómenos normalmente afectan a cualquier población sin importar su tamaño, ya que una sequía, granizada, incendio o inundación diezmará en la misma proporción a una población de 10, que a una de  $10^{10}$  organismos.

Lo mismo puede decirse del control químico; afecta proporcionalmente igual a 10, que a  $10^{10}$  insectos o ácaros.

#### 3.4.1.1.2. MIGRACIÓN

Hay fenómenos conductuales como la migración, que dependen directamente de la estación (fotoperiodo), hora del día (temperatura), y balance hormonal, para que ocurran con mayor o menor probabilidad y sin que la densidad de las poblaciones modifique su aparición y efecto. Algunos insectos inmigran y emigran en ciertas épocas del año, sin que el mecanismo genético-ambiental que dispara ese comportamiento dependa del tamaño de su población. Los insectos migran independientemente de la densidad de su población.

#### 3.4.1.1.3. VOLTINISMO Y QUIESCENCIA

El potencial de generaciones por año ya está programado genéticamente en poblaciones de

cualquier tamaño. El multivoltinismo "opera a la alta"; es decir, son más probables las grandes poblaciones entre insectos de ciclo corto y multivoltínico, generalmente parásitos de plantas anuales o deciduas (y por ello estrategias **r**), que entre los que tienen una generación anual o multianual, a la vez que son parásitos de plantas perennes (estratega **k**).

La quiescencia también es un mecanismo genético que tiende a regular las poblaciones de insectos activos "a la baja", y opera independiente de la densidad poblacional.

### 3.4.1.2. Factores dependientes de la densidad poblacional

#### 3.4.1.2.1. ENTOMOPATÓGENOS, PARASITOIDES Y DEPREDADORES

La *comunidad* no es sólo una colección de especies diferentes que viven en el mismo ecosistema, no; es un sistema integral de especies que dependen unas de otras y que, debido a ello, están interaccionando constantemente. Para el entomólogo agrícola las interacciones más importantes son las de la plaga con sus enemigos naturales y con sus competidores, es decir, las interacciones que pueden mantener a las plagas bajo control. En cierto sentido, un enemigo natural no sólo es el patógeno, el parasitoide o el depredador; también lo es el organismo que le compite por recursos y espacio, pero a éste lo llamamos *competidor*.

A medida que crece una población plaga, aumenta la probabilidad de interacción con sus enemigos naturales presentes, y la probabilidad de que formen *simbiosis* (cualquier tipo de interacción) con ellos. Las simbiosis más útiles al agricultor son el parasitismo de entomopatógenos y nematodos; el ataque de parasitoides y la depredación. Pero para que actúen como factores regulatorios y abatan las poblaciones plaga, primero tiene que aumentar el tamaño poblacional de la plaga a una densidad que permita la explosión poblacional del enemigo natural como factor limitativo.

#### 3.4.1.2.2. COMPETENCIA INTERESPECÍFICA

Cuando la competencia entre dos especies cercanas es muy alta, una puede ser "expulsada" de su nicho por la otra, que le sustituye; ese fenómeno rara vez es documentado por los biólogos y casi nunca por los entomólogos agrícolas.

La competencia interespecífica más frecuente en agroecosistemas se genera entre plagas de especie (nicho) diferente que, al utilizar un mismo recurso y siendo este limitado, se perjudican mutuamente; pero, entre más similares sean los requerimientos de las especies involucradas (entre más entrelazados estén sus nichos), la competencia será más intensa; por ejemplo, si ponemos a *Tribolium castaneum* y a *T. confusum* en un mismo contenedor de harina, eventualmente una especie eliminará a la otra.

#### 3.4.1.2.3. COMPETENCIA INTRAESPECÍFICA

Obviamente, la competencia no sólo se da entre diferentes especies *simpátricas* (con hábitats traslapados). La competencia por cópula, por abrigo, por alimento, o por sitio de oviposición entre individuos de la misma especie, en el mismo hábitat, aumenta a medida que lo hace su densidad poblacional. Cuando alguno de estos factores disminuye relativamente frente al tamaño de la población (cuando se vuelve limitativo), ésta se abate y "desaparece" la competencia.

Antes de manifestarse la competencia, se manifiestan algunas constantes intraespecíficas de organización poblacional como la distribución temporal, la espacial (uniforme, al azar, o contagiosa), la jerarquía social, y la territorialidad.

#### 3.4.1.2.4. DISPERSIÓN

Obviamente hay interrelaciones entre unos y otros mecanismos, e incluso interdependencia. Cuando la competencia interespecífica es muy alta, prácticamente no se da la intraespecífica debido a lo reducido de su población. Muchas veces aumenta tanto la población de una especie en un hábitat determinado, que parte de ésta lo abandona en busca de recursos (se dispersa, no migra). Se establece así este mecanismo denso-dependiente de regulación que libera la presión excesiva que había en el hábitat original.

Es necesario recalcar que las poblaciones de insectos también experimentan los ordenamientos ecológicos de sus hospedantes y que ésto, al menos en parte, determina su distribución, en ocasiones su organización, y hasta su comportamiento, algunas veces.

La *resultante natural* es un estado de equilibrio dinámico de individuos y poblaciones con su ambiente, debido a una permanente interacción entre los factores ambientales bióticos y abióticos y la información genética poblacional e individual. La *resultante artificial*, que es el caso específico de la agricultura moderna, es un desequilibrio estático y, peor aún, permanente.

### 3.4.2. El crecimiento poblacional

No puede hacerse manejo ecológico de un patosistema sin conocer el tamaño de la población parásita y sus fluctuaciones; hay que saber medirla. Una vez que se conoce la biología, ecología y comportamiento de una población y que se han identificado los factores clave más importantes que le hacen fluctuar, ya se puede intentar medirla para tener una idea de los cambios que le ocurren en tiempo y espacio, *suponiendo que sabemos muestrearla*. Saber muestrearla significa llegar a conocer su potencial de crecimiento; es decir, sus tendencias naturales de cambio, positivo o negativo, bajo condiciones favorables o desfavorables del ambiente.

En general, el crecimiento poblacional depende de la estrategia reproductiva de cada especie en su hábitat. Cuando la especie es capaz de descubrirlo pronto; de expoliarlo hasta el agotamiento antes de que lleguen especies competidoras; de reproducirse una y otra vez en él; y de abandonarlo cuando comienza a ser desfavorable, se dice que ese organismo es un oportunista estratega **r**, clarísima referencia a las especies con una alta "tasa instantánea de crecimiento" (**r**), que son favorecidas en los ambientes efímeros o temporales, donde los adaptados se multiplican exponencialmente. En el lado opuesto están las especies que viven en ambientes duraderos y estables, donde hay una capacidad ambiental de sostenimiento constante (**k**), como ocurre en cualquier bioma climácico, donde el crecimiento poblacional por especie no rebasa esa constante.

#### 3.4.2.1. Las tasas de crecimiento

En términos generales, los parámetros usados para medir la tasas de crecimiento poblacional (TC), de nacimiento (**b**), y de muerte (**d**), en los seres humanos (tomando como base una muestra de 1000 individuos, son aplicables a los insectos:

$$\mathbf{b} = (\text{nacimientos vivos} + \text{inmigración}) / 1000 \text{ individuos};$$

$$\mathbf{d} = (\text{muertes} + \text{emigración}) / 1000 \text{ individuos};$$

$$\text{TC} = (\mathbf{b} - \mathbf{d}) / N_0; \text{ donde } N_0 \text{ es el número inicial de individuos};$$

Los humanos pueden ser directa o indirectamente cuantificados (censados) mediante su participación; los insectos, no participando, dificultan su medición. Entre los cálculos más

elaborados tenemos a la tasa intrínseca (que es máxima) de crecimiento **r**; que se estima a partir de las tasas intrínseca de nacimiento **b** (birth) e intrínseca de mortalidad **d** (death), según la fórmula general:

$$r = (b - d)/N \dots (1); \text{ donde } N \text{ es el número inicial de individuos.}$$

Si por ejemplo, la población inicial es de 1000 pulgones partenogenéticos hembra, y al cabo de un día ocurren 500 nacimientos y 100 muertes, la tasa *diaria* de crecimiento **r** es de  $(500-100)/1000= 0.4$ . Pero el cambio poblacional puede calcularse en función de cualquier lapso; incluso de uno "instantáneo".

La tasa **r** se vuelve constante bajo condiciones ideales, de acuerdo a la capacidad de sustento **K** de un ecosistema estable (como un bioma o un huerto familiar), y cuando la edad de los individuos también se distribuye en forma estable; da origen a la curva logística o sigmoide de crecimiento poblacional:  $\Delta N/\Delta t = r[K - N/K]N$ . Esto es más bien raro entre los oportunistas insectos plaga de los monocultivos de alta tecnología; lo común entre ellos, es que **b-d** cambie, en el tiempo **t**, aprovechando el ambiente propicio.

Al multiplicar ambos lados de la ecuación (1) por **N**, tenemos que  $rN = b-d$ ; pero **b-d**, dijimos, puede sufrir "cambios en el número de individuos, en un intervalo dado de tiempo", que se representa con la siguiente expresión diferencial:  $\Delta N/\Delta t$ .

Por lo tanto, sustituyendo **b-d**, por su *expresión diferencial*, nos queda:  $rN = \Delta N/\Delta t$ , que es la llamada curva exponencial de crecimiento (en forma de **j**), más comúnmente expresada:  $dN/dt = rN$ . Al resolverla por logaritmos, la ecuación se transforma en:

$$N = N_0 e^{rt}.$$

### 3.4.2.2. El modelo exponencial del crecimiento poblacional

Bajo ciertas condiciones, una población de tamaño inicial **N<sub>0</sub>**, después del tiempo **t** crecerá al tamaño **N<sub>t</sub>** dependiendo del lapso transcurrido y del valor de **r**, según la clásica ecuación:

$$N_t = N_0 e^{rt}; \text{ en donde:}$$

**N<sub>t</sub>** = n° de insectos después de transcurrido el tiempo **t**,

**N<sub>0</sub>** = n° original de insectos, en el tiempo cero,

**e** = 2.71828, base de los logaritmos naturales,

**r** = tasa intrínseca (o instantánea) de crecimiento,

**t** = tiempo transcurrido entre **N<sub>0</sub>** y **N<sub>t</sub>**

La ecuación anterior puede elaborarse aún más si introducimos los valores de la inmigración **I**, y de la emigración **E** (independientes del crecimiento):

$$N_t = N_0 e^{rt} + I - E;$$

o aún más si a **r** lo desglosamos en sus componentes específicos, como son las aportaciones atribuibles al potencial biótico y sus componentes, los potenciales reproductivo y protectivo, que pueden ser considerados componentes de **b**; y las deducciones debidas a muertes por senectud, por control natural biótico y por abiótico, que son componentes de **d**.

En ocasiones sólo se calculan índices generales **I**, a partir de los cuales se estima una población:

$$I = \frac{\text{n° de individuos de "x" estadio en una generación}}{\text{n° de individuos del mismo estadio, en la siguiente}}$$

o índices específicos como la "tasa de reemplazo neto de hembras" **R**:

$$R = \frac{\text{n}^\circ \text{ de hembras nacidas en una generación}}{\text{n}^\circ \text{ de hembras nacidas en la siguiente}}$$

lo que permite aplicar estos índices en cálculos específicos, después de **n** generaciones:

$$N_t = N_0 e^I \text{ (donde } N_0 \text{ es el número inicial de individuos de "x" estadio);}$$

$$N_t = N_0 e^R \text{ (donde } N_0 \text{ es el número de hembras reemplazables).}$$

### 3.4.2.3. El concepto de tasa "instantánea de crecimiento"

Hay muchas tasas, fórmulas e índices para medir el crecimiento de una población; pero es fundamental entender el concepto de tasa "instantánea" de crecimiento, o por qué usamos el número **e**. Para ese fin, exponemos el siguiente ejemplo basado en la fórmula del interés compuesto:

$$A = P (1 + i)^n, \text{ en donde:}$$

A = dinero o capital finamente acumulado ("N<sub>t</sub>");

P = Principal, o capital inicial ("N<sub>0</sub>"),

**i** = porcentaje de interés aplicable *por periodo de capitalización* [por año (1=100%), por semestre (0.5), por trimestre (0.25), por mes (0.083), por día (0.002739), por hora (0.0001141), y así sucesivamente hasta un interés "instantáneo"];

**n** = n° de periodos de capitalización en un año (1 periodo, es anual; 2 es semestral; 4 trimestral; 12 mensual; 365 diario; 8760 periodos, es por hora, y así sucesivamente hasta "instantáneo").

Así, un peso inicial de principal (P), durante un año al 100% de interés (**i** =1), generará un nuevo capital (A), cuyo monto depende de los periodos de capitalización (**n**) del peso inicial, según lo siguiente:

si el periodo es anual, al final tendremos	A=\$2.0;	ó	$1 (1 + 1)^1$ ;
si es semestral, tendremos	A=\$2.25;	ó	$1 (1 + 0.5)^2$
si es trimestral, tendremos	A=\$2.44;	ó	$1 (1 + 0.25)^4$
si es mensual, tendremos	A=\$2.6034;	ó	$1 (1 + 0.083)^{12}$
si fuese diario, tendríamos	A=\$2.7145;	ó	$1 (1 + 0.002739)^{365}$
si fuese a cada hora sería	A=\$2.7168	ó	$1 (1 + 0.0001141)^{8760}$
y si fuese "a cada instante", tendremos	A=\$2.71828;	=	<b>e</b> .

En consecuencia, en la fórmula del interés compuesto, cuando el número anual de periodos de capitalización **n** tiende a infinito, y el interés **i** aplicable por período de capitalización tiende a cero, el acumulable tiende a **e**.

En este momento, la fórmula del interés compuesto equivale a la clásica fórmula del crecimiento poblacional, según:

$$A = P (1 + i)^n = Pe = e; \text{ similar a}$$

$$N_t = N_0 e^{rt}; = 1e^{1-1} = e; \text{ cuando:}$$

A es **N<sub>t</sub>**, o población acumulada después de transcurrido el tiempo **t**

P es **N<sub>0</sub>**, o población inicial ("unitaria") en el tiempo cero =1;

**e** = 2.71828;

r = tasa de crecimiento anual =100%=1;

$t$  = tiempo transcurrido entre  $N_0$  y  $N_t = 1$  (año);  
 por tanto:  $A = N_t = 1 \cdot 2.71828^{1-1} = 2.71828$

Otras formas de medir una población consisten en hacer el recuento de sus heces fecales, de sus exuvias, del daño que causa, o de otros *indicadores indirectos*; obviamente esto tiene menor validez ecológica, pero permite la toma de decisiones para fines del control, lo que le da validez fitosanitaria.

### 3.4.2.4. las tablas de vida y los factores clave de mortalidad

El cálculo de las tasas representa un trabajo arduo ya que, en su forma más compleja (la tasa intrínseca de crecimiento instantáneo natural  $r$ ), *se deben identificar todas las causas de disminución o muerte de la población del insecto durante todo el ciclo* y cada uno de sus estadios y, por ende, la tasa instantánea de muerte. Asimismo, debe calcularse la tasa instantánea de nacimientos.

La identificación, cálculo y tabulación de esas causas, origina las llamadas "tablas de vida". Las tablas de vida originales fueron inventadas hace más de 150 años para inferir la esperanza de vida de humanos, dedicados a diferentes actividades, con fines de cálculo de primas de aseguramiento, basadas en el riesgo de muerte, implícito a cada diferente actividad.

Para Morris y Miller, la tabla de vida es un instrumento que registra, de manera sistemática, los hechos que permiten conocer la distribución de la mortalidad en las diferentes edades de un organismo. En breve –dicen– las tablas de vida llevan los libros de mortalidad ("keep the books on death").

Estas tablas están estructuradas con los símbolos de la primera columna del Cuadro 3, símbolos cuya definición y cálculo aparecen, respectivamente, en la segunda y tercera columnas, del mismo cuadro.

CUADRO 3. Parámetros de una tabla de vida, su definición y su cálculo.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	CÁLCULO
$x$	Edad de los insectos (intervalo en: días o fracción, o instar)	Ninguno
$F_{dx}$	Nombre o descripción del factor causal de muertes $d$	Ninguno
$d_{(x+1)}$	Número de muertos entre los intervalos sucesivos $x$ y $x+1$ . No olvidar que $\sum dx = N_0$	$*N_x - N_{x+1}$
$l_x$	Proporción de sobrevivientes a la edad $x$	$N_x / N_0$
$q_x$	Probabilidad de muerte (entre las edades sucesivas $x$ y $x+1$ )	$d_x / N_x$
$L_x$	Media de la probabilidad de sobrevivir (entre las edades sucesivas $x$ y $x+1$ )	$(l_x + l_{x+1}) / 2$
$T_x$	Total de días que restan de vida a los sobrevivientes que llegaron a la edad $x$ . (Se computa de abajo hacia arriba, siendo $m$ la máxima edad alcanzada)	$\sum_m^x L_x$
$e_x$	Esperanza de vida, expresada en los mismos intervalos (días, fracción o instar) que la edad	$T_x / l_x$

\*n° de supervivientes a la edad  $x$ :  $(N_x) = N_0 - d_x$ ;

n° inicial,  $(N_0) = \sum d_x$ ;

$d_0=0$

Cuando las tablas de vida cumplen la función de identificar y cuantificar los factores bióticos

o abióticos clave, que explican las causas del control natural de un organismo, se puede predecir el tamaño potencial de sus poblaciones basados en las fórmulas vistas, siempre y cuando se cuente con métodos adecuados para muestrear al organismo y a sus factores de control natural.

Por desgracia, esto ocurre muy pocas veces; y en la mayoría de los casos no contamos con las herramientas adecuadas de muestreo. En esa virtud, es absolutamente necesario dar, en el Capítulo 4, los conceptos esenciales al muestreo, antes de referirnos específicamente a las tres bases del MIP.

## 4. EL MUESTREO DE ARTRÓPODOS

Se ha mencionado que las poblaciones de artrópodos fluctúan por diversas causas, y se han dado fórmulas para medir la fluctuación, pero ¿cómo se obtienen los valores iniciales ( $N_0$ ) de una población en un hábitat?; ¿cuántas muestras hay que tomar para calcularlos, y de qué tamaño cada una? ¿dónde y cuándo se debe muestrear una plaga determinada?

Algunas interrogantes (dónde y cuándo muestrear) dependen del conocimiento de la biología, ecología y comportamiento de la plaga debidamente identificada por el investigador. Dónde y cuándo muestrear, conforman el programa general de muestreo. Otras interrogantes (cuántas muestras y de qué tamaño tomarlas), dependen de conocimientos poblacionales, que se adquieren *muestreando previamente* la plaga.

Puesto que no es posible censar a los artrópodos (contarlos o enumerarlos a todos), usamos muestras o índices para estimar sus poblaciones. Las estimaciones pueden ser muy precisas o concordantes con la realidad, o muy sesgadas y alejadas de ella. Para que esto último no suceda, debe definirse un buen programa de muestreo; una unidad de muestreo (el tamaño y forma de la unidad de observación) que refleje los hábitos del artrópodo; y un número y tamaño de muestras que sean, a la vez, económicos, representativos, exactos (es decir, repetibles), y precisos (que reflejen la realidad poblacional).

### 4.1. MUESTREO: ¿AL AZAR? ¿ESTRATIFICADO? ¿SISTEMÁTICO?

El diseño del muestreo depende del conocimiento de la bioecología de la plaga, del grado

		COLUMNAS ↓									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HILERAS →	1			X						X	X <sup>10</sup>
	2	20	X								11
	3	21	X						X	X	30
	4	40		X							31
	5	41			X			X			50
	6	60				X					X <sup>51</sup>
	7	61	X			X					X <sup>70</sup>
	8	80	X		X						71
	9	81			X			X			90
	10	100								X	91

Figura 8. Selección, totalmente al azar, de 20 puntos de muestreo (x), a partir de una superficie compuesta de 100 lugares (numerados) para el sorteo al azar.

de precisión que desea alcanzarse en los cálculos poblacionales, y de la manera en que uno cree o sabe que se distribuye la plaga en el espacio. Aun cuando podrían hacerse más consideraciones al respecto, solamente anotaremos que el muestreo puede ser (I) **totalmente al azar** (Figura 8.), en cuyo caso la varianza de una muestra, que es el promedio del cuadrado de las desviaciones respecto de la media, está dada por la fórmula:

$$s^2 = \left[ \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2 \right] / n-1;$$

donde la media muestral  $\bar{Y}$ , es un estimador no sesgado de la poblacional, y se usa el denominador **n-1** en vez de **n**, como la corrección para poblaciones finitas. Este muestreo es más aplicable a plagas no gregarias que habitan un medio uniforme. El problema es que nadie sabe, antes de muestrear, si la distribución asume una u otra forma, aunque sí puede saberse de antemano que la plaga no es gregaria; y tenerse una buena idea de la uniformidad de agroecosistema. El método, como todos sabemos, consiste en asignar un número a cada uno de los sectores del terreno a muestrear, sortear esos números y, finalmente, muestrear cada una de esas "unidades de observación".

Cuando, dependiendo de su conducta, los insectos tienen preferencia por segmentos de hábitats específicos, el muestreo puede ser (II) al azar **estratificado**; en cuyo caso subdividimos la población N en subpoblaciones o estratos no traslapados p.e. estratos superior (S), medio (M) e inferior (I), de árboles en un huerto que habrá de ser muestreado (Figura 9).

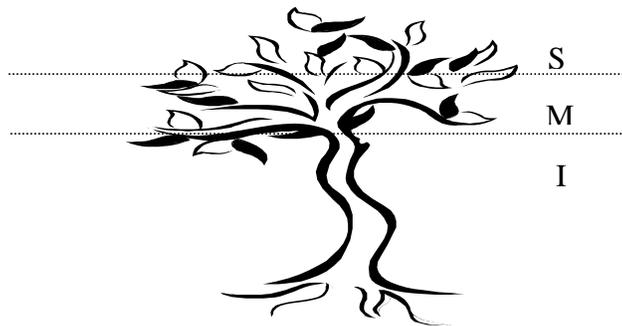


Figura 9. Muestreo en estratos. Dentro de cada estrato, las unidades de observación se seleccionan todas al azar.

En este caso, la *varianza*  $s_h^2$  del estrato **h** (altura) es un estimador no sesgado que se expresa:

$$s_h^2 = \left[ \sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{Y}_h)^2 \right] / n_h - 1;$$

Donde:  $n_h$  es el número de observaciones en el estrato **h**;

$y_{hi}$  es el valor obtenido en cada observación 1, 2,... i; y

$\bar{Y}_h$  es la *media* de cada estrato **h**.

La *media* de **h** es, obviamente :  $\bar{Y}_h = \left[ \sum_{i=1}^{n_h} y_{hi} \right] / n_h$  ;

O puede ser (III) muestreo **sistemático**, en el cual se divide el campo a muestrear en N unidades, por ejemplo 100; y se define una constante entera  $k=N/n$  (por ejemplo 10), donde *sólo la primera observación es al azar*, y el resto se toma sistemáticamente hasta completar **n** observaciones en la muestra.

La primera observación (H), la determinante del resto, se elige al azar; las siguientes son determinadas por el tamaño de k. Ejemplo, si la primera observación cayó al azar en la unidad 93, las otras nueve deberán ser tomadas, sistemáticamente cada 10 unidades (03, 13, 23, ... 83), hasta

completar las n=10 observaciones (Figura 10). La varianza entre unidades es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{(n-1)} ;$$

		COLUMNAS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HILERAS →	1	1		H							10
	2	20						H			11
	3	21		H							30
	4	40						H			31
	5	41		H							50
	6	60						H			51
	7	61		H							70
	8	80						H			71
	9	81		H							90
	10	100						H*			91

Figura 10. Selección sistemática de 10 puntos de muestreo. A partir del sector (nº 93), se elige uno nuevo cada **k** (10) unidades, hasta obtener **n** observaciones (10, en este caso).

En realidad hay muchas fórmulas para calcular medias y varianzas de las muestras al azar simple, al azar estratificado y sistemáticas, y más aún para calcular otros estimadores relacionados; así mismo, hay muchas variantes del muestreo, pero lo que aquí más interesa son los conceptos.

#### 4.2. EL TAMAÑO DE MUESTRA

El tamaño y la forma de cada muestra, por superficie, volumen o unidades de hábitat, es difícil de definir sin aplicar el juicio y experiencia del investigador. También debe tomarse en cuenta el costo, el tiempo a invertir, el disturbio del medio, la movilidad y densidad del insecto y su distribución espacial. A fin de cuentas, lo fundamental radica en conjuntar la información que describa el patrón de distribución espacial de una población en su hábitat y, en función de ello, decidir el tamaño para cuantificarla con confiabilidad.

En general es mejor tomar muchas muestras pequeñas que pocas grandes; y encontrar un balance razonable entre su varianza y su costo.

En ocasiones una muestra arroja diferentes patrones de disposición espacial, según se tome entre plantas (inter) o dentro de cada planta (intra).

#### 4.3. EL NÚMERO DE MUESTRAS

El número de muestras por unidad de hábitat depende de la representatividad o grado de precisión que se busque, de los recursos económicos disponibles para alcanzarlo, y del método aplicado.

Al muestrear, se busca información confiable respecto al tamaño de la población, y de sus

tendencias, especialmente cuando se toman muestras secuenciadas de un insecto que va a ser combatido.

Como método, se puede estratificar el hábitat para obtener **una** sola o **varias** muestras de cada estrato (la copa de un árbol, p.e., dividiéndola en tres partes: basal, media y apical). Si desconocemos que la población se distribuye sesgadamente (por ejemplo, nada más en el centro), y el muestreo aplicado es totalmente al azar, se puede incurrir en errores sistemáticos aplicando el segundo método (varias muestras), o simplemente puede no detectarse a la población si se sigue el primero (una muestra).

Debe, por lo tanto, definirse la unidad y número de muestras, de manera que:

- Cada unidad tenga igual oportunidad de ser muestreada.
- Cada unidad sea estable.
- Cada hábitat poblacional muestreado tenga una densidad homogénea de insectos.
- Cada unidad pueda interpretarse en términos de área, de volumen o de hábitat.
- Cada unidad sea fácilmente identificable en el campo.
- Cada unidad, en el caso de insectos móviles, se ajuste a la movilidad promedio de ellos.
- La comparación varianza–costo sea ventajosa.
- El costo neto relativo sea proporcional a  $C_u \cdot S_u^2$ ; donde  $C_u$  es el costo neto por unidad de muestreo; y  $S_u^2$  es la varianza relativa de la media ( $S^2 / n \bar{x}$ ).
- La precisión relativa ( $= 1 / C_u \cdot S_u$ ) sea alta.

Hay muchas fórmulas para estimar el número de muestras; únicamente se menciona el concepto general de su cálculo.

Para calcular adecuadamente **n** (tamaño de la muestra), se requiere de un muestreo preliminar, de sondeo, que proporcione valores iniciales de  $\bar{x}$ ,  $s^2$ , etc.). A partir de la desviación típica o estándar de ese primer muestreo ( $s$ ), se puede estimar el número de muestras subsecuentes.

La fórmula del error estándar de ese primer muestreo ( $s / \sqrt{n}$ ), nos indica que a medida que aumenta **n**, disminuye el valor del error.

Si, p.e., decidimos tolerar un error estándar igual al 10% de la media ( $\bar{X}$ ), podemos escribir:

$$0.1 \bar{X} = s / \sqrt{n}; \text{ de donde sigue que, elevando todo al cuadrado:}$$

$$0.01 \bar{X}^2 = s^2 / n; \text{ y, despejando a } n \text{ tenemos que: } n = 100 (s^2 / \bar{X}^2)$$

Es importante hacer notar que el coeficiente de variación, CV, es igual a  $s / \bar{x}$ ; por lo tanto  $(CV)^2 = s^2 / \bar{x}^2$ ; esto significa que puede utilizarse un valor de CV para elegir **n**.

Más frecuentemente, la distribución de una población es contagiosa y se ajusta a la binomial negativa; en este caso el tamaño de muestra **n** estará dado por la fórmula:

$$n = (1/\bar{x} + 1/k) / (CV)^2; \text{ en donde:}$$

$$k = \bar{x}^2 / (s^2 - \bar{x}), \text{ es el coeficiente de agregación; y}$$

CV es el coeficiente de variación.

Hay muchas formas y fórmulas para estimar **n**, pero insistimos: lo importante es el concepto. Obviamente, el problema radica en determinar cada uno de los parámetros de cada una de esas fórmulas para poblaciones desconocidas.

¿Cómo empezar a generar esa información? muestreando según el conocimiento bioecológico y el monto de los recursos, de forma tal que se obtengan valores iniciales empíricos de: la media, la varianza, la desviación típica, el error estándar, el CV, los límites de confianza, y el coeficiente de agregación **k**. Esos parámetros iniciales son indispensables para llegar a describir a la población posteriormente.

#### 4.4. DISTRIBUCIÓN ESTADÍSTICA ESPACIAL

El patrón de acomodamiento vertical y horizontal que asumen los insectos en el espacio es de gran importancia ecológica, especialmente para muestrearlos. Las disposiciones espaciales teóricas pueden ser completamente al azar, por contagio y regular, dentro de hábitats continuos o discontinuos.

La disposición *totalmente al azar* se da cuando cada uno de los miembros de una población tiene la misma probabilidad de ocupar un lugar dado en el espacio, y cuando la presencia de un individuo, en un punto, no modifica la probabilidad de ubicación de otro individuo. Estas dos condiciones hacen difícil que una plaga se distribuya totalmente al azar ya que eso implicaría que todos sus microhábitats fueran idénticos y que no hubiera interacciones inter e intraespecíficas de la población en estudio. Debido a esto, algunos autores opinan que, cuando se obtiene esta distribución, es probable que han incurrido en algún error de muestreo.

De estas distribuciones, el *modelo Poisson* es el que mejor describe la disposición al azar. Este modelo es descrito por un solo parámetro debido a que la media y la varianza tienden al mismo valor, de ahí que cuando la relación varianza a media es cercana a uno (1), se concluye que el organismo se distribuye, con altos niveles de probabilidad, al azar (Figura 11).

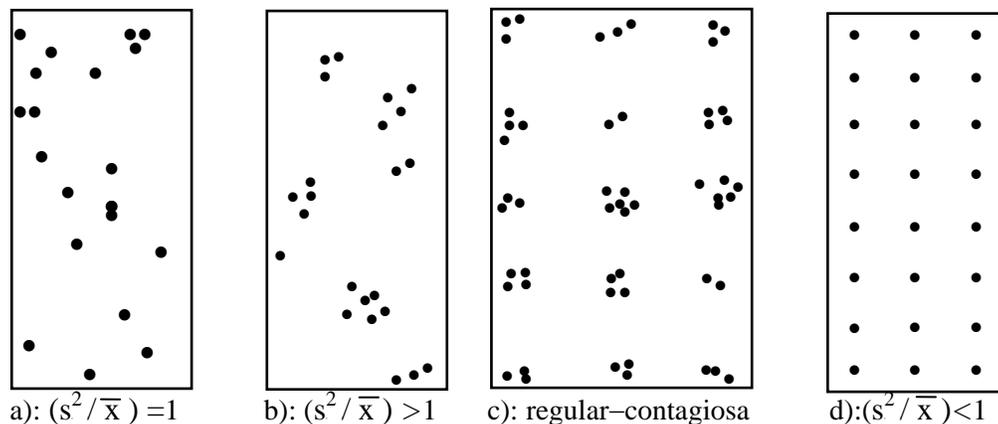


Figura 11. Disposición espacial de las plagas. Relación varianza/media de las disposiciones: a) al azar, b) contagiosa al azar, c) regular contagiosa y d) regular.

Más frecuentemente los insectos se distribuyen en forma contagiosa ajustándose a modelos con esas características, como la distribución *binomial negativa*, que es la más generalizada. Se debe enfatizar que los modelos de disposición espacial por contagio se basan en índices de agregación, especialmente el  $k$ , y son descritos por  $k$  y  $\bar{x}$ .

$k$ , en la binomial negativa, asume valores cercanos a *dos*; cuando éstos aumentan a cerca de *ocho*, la distribución tiende a identificarse con la de *Poisson*; si por el contrario, tienden a hacerse fraccionarios, se dice que es más contagiosa y se identifica con el modelo llamado *logarítmico*.

Partiendo del hecho que  $s^2$  y  $\bar{x}$  son estimadores de la varianza y media verdaderas, ( $\sigma^2$  y  $\mu$ ), la varianza, en el modelo binomial negativo, queda definida por:

$$\sigma^2 = \mu + \frac{\mu^2}{k}, \text{ en una población;}$$

y por  $s^2 = x + \frac{\bar{x}^2}{k}$  en una muestra; entonces,

$$\text{despejando tenemos } k = \frac{\bar{x}^2}{s^2 - \bar{x}}$$

Los valores de **k**, en la muestra, indican el grado de agregación, y existen varios métodos iterativos (prueba y error) para su cálculo, que incluso se basan en la probabilidad de hallar muestras "vacías". Asimismo, las diferentes **k** de una misma plaga, en campos diferentes del mismo cultivo, pueden dar origen a una **k'** común, útil en muestreos secuenciales. Hay varios modelos de disposiciones espaciales contagiosas, casi todos ellos basados en índices de agregación, especialmente el **k**.

Cuando la varianza es consistentemente menor que la media, se acepta que la disposición tiende a ser regular o uniforme, ya que en ésta la varianza es mínima. Una disposición uniforme implica que cada lugar de un hábitat tiene las mismas probabilidades de ser ocupado, pero que las interacciones de los individuos que los ocupan son todas negativas tendiendo a una territorialidad regular, en competencia por algún recurso. Estas consideraciones invitarían a pensar que las distribuciones regulares son muy factibles en la naturaleza; pero no se detectan con la frecuencia propuesta por la teoría.

#### 4.5. LOS MÉTODOS DE MUESTREO

La forma en que se han de tomar las muestras en el campo o almacén, depende del grado de exactitud (repetibilidad) y precisión (concordancia con la realidad) que el investigador desee, de la bioecología de la plaga, de las herramientas con que cuenta para realizar el trabajo mecánico y de otros factores; pero más que nada del objetivo del muestreo, sea éste un estudio ecológico, un análisis de distribución o una práctica de control.

##### 4.5.1. Muestreo cuantitativo

Sirve para conocer las cantidades *absolutas* de artrópodos por unidad de hábitat (superficie o volumen), o para tener una idea de su abundancia *relativa*. No hay una línea precisa que separe ambos tipos de estimación ya que los *métodos absolutos* no siempre cuantifican con precisión a las poblaciones, y los *relativos*, cuando se basan en factores adecuados de corrección, pueden dar un estimado muy cercano a la población real.

##### 4.5.1.1. Cuantitativo absoluto

Se pueden seguir técnicas de *marcado masivo* (mediante la impregnación con colorantes o con isótopos) de muchos insectos capturados, o criados en dietas artificiales; o de *marcado individual*, mediante puntos de pintura en alguna parte del insecto, mutilación, inserción de alambres radiactivos, etc.

En cualquier caso, los insectos marcados son introducidos a la población por cuantificar, y se les permite mezclarse y estabilizarse para, finalmente, tomar muestras y, en función de la proporción de recapturados marcados contra los no marcados, cuantificarla. La captura y marcado de insectos no debe afectar su comportamiento, lo que es casi imposible; y se debe asumir que los insectos marcados se mezclan completamente con los demás, para que su recaptura tenga la misma probabilidad que la captura de un insecto no marcado (también casi imposible). Existen muchas

fórmulas para conjugar los datos así obtenidos.

Sin pretender enunciar todos los métodos, es posible cuantificar poblaciones absolutas:

- Capturando insectos voladores con aparatos de succión, y relacionando el tiempo o volumen de aire succionado con las cantidades de insectos capturados.
- Por planta o partes de ella:
  - "cepillándolos" para extraerlos de su sustrato;
  - "lavándolos" para extraerlos;
  - "planchándolos" para contar las manchas dejadas por sus cuerpos macerados;
  - sacudiéndolos para que caigan en recipientes;
  - "noqueándolos" químicamente, con el mismo fin;
  - capturándolos uno a uno;
  - succionándolos;
  - disectando tallos, frutos, hojas, etc.
- Por hábitat:
  - separándolos de una superficie, longitud, o número conocido de plantas;
  - cubriendo áreas con tiendas negras coronadas por un *frasco tragaluz* central y apical que permita aprovechar su fotoquinesis, para colectarlos en el frasco;
  - cuantificando los de un volumen reducido y constante, que se elige al azar;
  - lanzando  $n$  veces por unidad de superficie, un cuadrado o aro de superficie conocida, para contar los que queden ahí incluidos.
- "Viéndolos", mediante rayos x en:
  - frutos,
  - granos,
  - tallos o
  - raíces barrenadas.
- Cerniendo en seco las muestras de:
  - suelo,
  - hojarasca,
  - residuos de cosecha,
  - o cerniéndolos con chorros de agua.
- Extrayéndolos en aparatos especiales como los embudos de Berlesse y otros más que utilizan su comportamiento frente a fuentes de luz, calor, frío, e incluso vapores químicos.
- Usando soluciones "flotadoras"; en sedimentadores, con centrífugas, etc. (hay múltiples métodos de estratificación o separación).

Obviamente, cada investigador puede desarrollar el método que, en su criterio, habrá de darle el mayor porcentaje de confiabilidad en la forma de extraer su muestra y en la unidad de muestreo que él defina.

#### 4.5.1.2. Cuantitativo relativo

Hay más literatura referida a los métodos relativos que a los absolutos; sin embargo su validez es bastante menor, ya que el instrumento más frecuentemente utilizado para aplicar estos métodos, las trampas, tiene una eficiencia muy limitada. Utilízanse también redes y observaciones visuales.

Trampas.- La *eficiencia intrínseca* de una trampa depende de su tamaño, color, atrayente, posición, orientación, etc. La *extrínseca* depende del insecto (respuesta a los estímulos, circadianismo, sexo, estado biológico, etc.), y del ambiente mismo.

Redes.- La eficiencia de la red depende de su diámetro, material, manufactura, y longitud; de la estatura y brazada del redeador y, por supuesto, de los factores ambientales e inherentes al

insecto, ya enunciados.

Conteos.- Todo lo demás siendo constante, la eficiencia de los *conteos visuales* de insectos (por transecto, por lapso predeterminado de tiempo, etc.) depende *totalmente* de la experiencia del observador.

De lo anterior se desprende que los métodos relativos, con ser expeditos, son poco confiables, a menos que se establezcan *factores de corrección* para cada uno de sus defectos y limitaciones. Así, la adopción de un método relativo, idealmente debe incluir su calibración contra uno absoluto, lo que implica generar esos factores correctivos.

Considerando que, excepto los conteos visuales, muchos métodos implican la extracción de individuos, y que esto afecta las siguientes capturas, en ocasiones será necesario calcular otros factores que corrijan la extracción, o por lo menos reintegrar al medio los especímenes previamente capturados.

Sin pretender enunciarlos todos, los métodos relativos más frecuentemente utilizados son:

- Conteos de *individuos expuestos* en parte o partes de una planta o animal;
- conteo de *individuos* huyendo de su hábitat, al ser disturbado;
- conteo de *individuos* que fueron capturados en trampas *ad hoc*; es decir, de colores especiales o luz adecuada a la respuesta del insecto; cebadas o no, con o sin atrayente alimentario o sexual. Las trampas pueden ser de tamaño experimentalmente determinado o no; fijas o direccionales; de altura experimental o al azar, etc.; las más conocidas son:
  - superficies de materiales y dimensiones diversas, donde chocan insectos voladores y, al pretender salir, se dirigen a recipientes colectores (p.e. Malaise de tela);
  - de luz negra o de color;
  - fluorescentes o incandescentes;
  - con o sin colectores o succionadores basales;
  - pantallas coloreadas (cartón, papel, lámina) o translúcidas (de vidrio, para que choquen los voladores), con pegamentos o colectores de otro tipo;
  - trampas enterradas, para insectos que caminan sobre el suelo;
  - refugios artificiales que habrán de ser conductualmente buscados por ciertos insectos;
  - trampas vivas; y, por supuesto,
  - combinaciones de ellas. Su variedad es enorme y aún puede ser enriquecida, pero tendrán más valor en la medida que sean calibradas contra métodos absolutos;
- conteos de insectos capturados en redes aéreas o de golpeo, con números predeterminados de golpes de red, de recorrido en metros, o de pasos.

#### 4.5.2. Muestreo cualitativo

Ocasionalmente se infiere el tamaño de una población sobre la base de *índices* de productos derivados de una población, o de los *efectos* de ésta en su sustrato alimenticio.

Los productos más frecuentemente observados para calificar una población de insectos son: sus exuvias; sus cápsulas cefálicas visibles *en o cerca* del sustrato o hábitat; sus pastillas fecales; sus mielecillas u otras excreciones depositadas *en o debajo* del microhábitat, etc.

Obviamente, los índices utilizados serán "confiables" en la medida de la certeza que se tenga de que tal excreción o exuvia realmente pertenece a la especie en estudio y de la habilidad para coleccionar cantidades representativas del subproducto en cuestión. Aun así, debemos estar conscientes de lo difícil que es correlacionar la presencia de heces o exuvias, con la presencia de sus productores, y con su población real en una área determinada. La aproximación será cercana o lejana, en la medida que se cuente con índices más o menos confiables.

Los *efectos* más frecuentemente utilizados son los *daños* en planta o parte de ella

(individuales o poblacionales). Los daños de insectos "solitarios" como el elotero, el cogollero, muchos agallógenos y otros similares, resultan estimadores cualitativos muy exactos y precisos de una población. No sucede así con los de artrópodos "sociales", con los que atacan partes fácilmente regenerables por el desarrollo normal de la planta, y con los chupadores.

En todo caso, el daño directo se estima: como perjuicio económico sufrido por el productor; como cantidad de planta consumida, o como cosecha perdida (la estimación de pérdidas de cosecha es una subdisciplina artropodológica a menudo descuidada). En los tres casos es difícil relacionar los daños con las poblaciones, y muy rara vez se obtienen resultados satisfactorios, a menos que se trabajen técnicas especiales, como limpiar absolutamente una área conocida y luego infestarla artificialmente con cantidades conocidas de la plaga, para evaluar el impacto de cada cantidad.

El redeo es un método muy frecuente y poco digno de confianza, ya que inherentemente incluye muchas variables imponderables como la estatura y longitud de los brazos de quien redea; las dimensiones del mango y diámetro del aro de la red; el estado fenológico del cultivo; el comportamiento *circadiano* de la plaga; etc.

#### 4.6. MUESTREO SECUENCIAL

El análisis secuencial se originó durante la segunda guerra mundial, como herramienta para tomar decisiones tácticas y estratégicas en el uso de los recursos bélicos, incluyendo los humanos.

La idea central del muestreo secuencial es el ahorro de tiempo y de recursos económicos en la toma de cada muestra, con un alto grado de confiabilidad ante la posibilidad de asumir cualquiera de los dos siguientes tipos de riesgo: no combatir a una plaga cuando es necesario (error  $\alpha$ ), o combatirla cuando no lo es (error  $\beta$ ). Se trata de un proceso mediante el cual se obtiene una serie de muestras consecutivas; cada una de ellas generando datos que se van acumulando para tomar decisiones de combate o de muestreo renovado (Figura 12).

El muestreo secuencial debe ser establecido para las plagas de las que ya se conoce: los métodos confiables de muestreo, la disposición espacial, el umbral económico, y los valores  $\alpha$  y  $\beta$ . Conocidos esos factores, el muestreo secuencial es especialmente útil y confiable para analizar alternativas fitosanitarias. Los analistas, en este caso entomólogos o acarólogos, pueden llegar rápidamente a la conclusión de que están enfrentando cualquiera de tres categorías de peligro por plaga: bajo, medio o alto; y en consecuencia, decidir con altos niveles de probabilidad de acierto.

Ciertas ventajas adicionales de su uso son:

- no es necesario aplicar un número fijo de muestras ya que éste depende de las poblaciones, necesitándose menor número de muestras ante poblaciones densas e incluso ralas;
- el muestreo secuencial también permite detectar el impacto poblacional de las medidas de combate;
- puede aplicarse a los efectos de las poblaciones plaga (los daños, p.e.);
- e incluso al estudio de poblaciones depredadoras y parasitoides o su efecto (p.e. insectos parasitados, o mutilados).

Cuando se tiene experiencia en las plagas de un cultivo, el técnico no tiene necesidad de tomar muestras a densidades bajas o altas específicas, y las toma cuando "siente estar cerca" del umbral económico; aun así, con un reducido (y a veces arbitrario) número de muestras, es capaz de tomar decisiones confiables gracias a su "intuición".

Para una plaga que se distribuye al azar, de acuerdo al modelo de Poisson, las líneas para la toma de decisiones (que pueden asumir forma de tablas), pueden construirse a partir de las ecuaciones:

$$d_1 = b_n - h_1 \text{ (para la línea inferior)}$$

$d_2 = b_n + h_2$  (para la línea superior); en donde:

$d$  es el número acumulativo de insectos para  $n$  observaciones;

$n$  es el número de observaciones;

$b$  es la pendiente de cada línea; y

$h_1$  y  $h_2$  son sus ordenadas al origen.

Los valores de  $b$ ,  $h_1$  y  $h_2$  se generan de acuerdo a:

$$b = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\ln \bar{x}_2 - \ln \bar{x}_1}$$

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1 - \alpha}{\beta}}{\ln \bar{x}_2 - \ln \bar{x}_1} \quad h_2 = \frac{\ln \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\ln \bar{x}_2 - \ln \bar{x}_1}$$

en donde:

$\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$  son los umbrales de decisión por daño, que podrían significar:

daño ligero o no tratamiento ( $\bar{x}_1$ ), y daño inaceptable o tratamiento requerido ( $\bar{x}_2$ );

( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ) son valores de riesgo, usualmente aplicados al 0.05 ó 0.10 (5 y 10%).

Obvio es que las fórmulas anteriores cambian cuando el modelo de distribución espacial es binomial negativo, o de otro tipo.

Resumiendo, la aplicación de cualquier método de control debe basarse en el conocimiento del tamaño de las poblaciones que causan daños de importancia económica. Para conocerlo, hace falta contar con experiencia previa, acumulada a través de varios ciclos de muestreo, que ayudan a establecer daños y umbrales. En cada ciclo de cultivo, por lo tanto se debe establecer la secuencia de muestreos que ayudarán a determinar la tendencia de la población, de acuerdo a su densidad; si ésta se aproxima o llega al umbral de control (generalmente representado por un nivel de daño o de población por cada unidad de hábitat), deberá tomarse la decisión de controlar. Dependiendo del costo de control y el precio del producto agrícola a proteger (componentes fundamentales del umbral económico), se puede decidir abatir poblaciones ligeras (de umbral bajo), moderadas o altas (de umbral alto). No es redundante insistir en que este muestreo, en un año dado, se basa en años anteriores de trabajo que establecen la disposición espacial, (relación varianza a media), las densidades permisibles de población, y los daños asociados con ellas.

Nuevamente insistimos que el esquema presentado es una exposición de conceptos básicos; en realidad, con los mismos datos o con datos adicionales, podría ser necesario generar más instrumentos de decisión, o menos.

Para los lectores de estas notas que de verdad quieran eventualmente hacer un manejo ecológico del patosistema que mejor conocen, recomendamos un extenuante pero muy útil ejercicio de muestreo:

- Divida una hectárea del cultivo que mejor conozca, atacado por la plaga con que esté más familiarizado, en cien cuadrados de 100 m<sup>2</sup>, que serán la unidad de muestreo.
- Muestree al menos la mitad (50 cuadros), por el método que usted juzgue más adecuado, de preferencia a la misma hora de días consecutivos (es mejor si forma un equipo que realice todo el trabajo el mismo día). Repita el muestreo lo necesario, *en etapas críticas del cultivo, respecto a la plaga*.
- Con esos datos, calcule todos los estimadores (media, varianza, desviación estándar, CV, error estándar, límites de confianza, población total, etc., etc.) *en cada etapa crítica del cultivo*, para esa plaga.
- Defina la disposición espacial, con esos datos.
- Asuma, de acuerdo a su experiencia, dos valores umbral: uno superior a partir del cual aplicaría un método de combate ( $\bar{x}_2$ ), y otro menor ( $\bar{x}_1$ ), de tal manera que se forme una franja de "indecisión" (seguir muestreando), abajo de la cual no se requiere tratamiento alguno (hágalo con probabilidades alfa y beta de 5 y 10%).

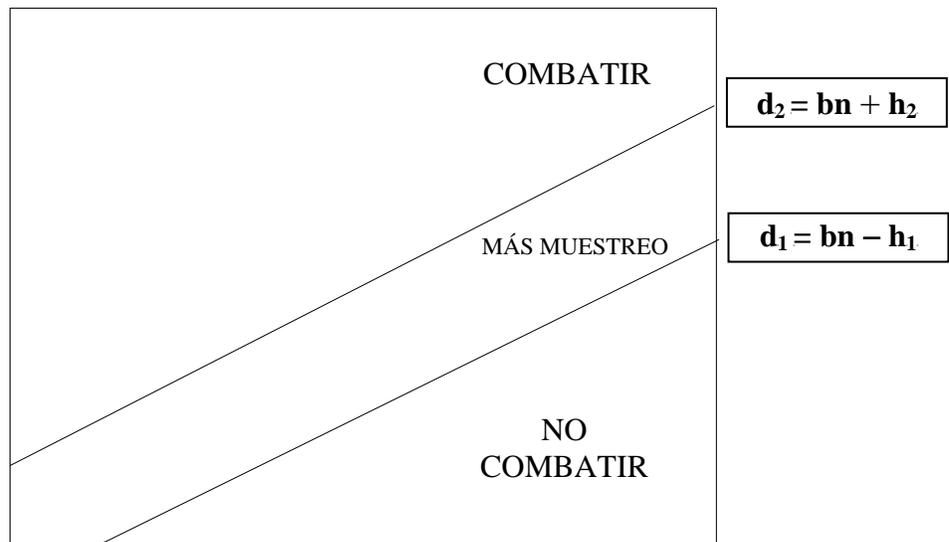


Figura 12. Líneas de decisión generadas por un modelo de distribución al azar (Poisson), aplicado a un muestreo secuencial.  $d$  es el número acumulado de insectos y  $n$  el número de muestras.

- ° Haga una gráfica como la Figura 12 (en caso de ajuste a Poisson), a partir de valores de  $d$  que usted elija de los generados (valores que escogerá por debajo y por arriba de  $\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$ ). Esto implica el cálculo de los parámetros involucrados. Si encontró ajuste a la binomial negativa, las ecuaciones de las líneas de decisión serán diferentes.
- ° Después, repita todos los cálculos, usando los datos previos, de **diez cuadros**:
  - a) elegidos totalmente al azar.
  - b) elegidos en forma estratificada (invente usted sus estratos).
  - c) elegidos sistemáticamente (invente su sistema).
- ° Después, repita todos los cálculos, usando los datos previos, de **cinco cuadros**.
- ° Después, repita todos los cálculos, usando los datos previos, de **menos de cinco cuadros**.

Y trate de responderse:

- ¿Cuál es la disposición espacial de esa plaga, *en cada caso*?
- ¿Cómo se comparan cada uno de los parámetros obtenidos con los tres últimos métodos (con diez, cinco y menos de cinco cuadros), contra los del número máximo de unidades de muestreo (50 cuadros)?
- ¿Cuál de los tres métodos es el más confiable respecto al máximo?
- ¿Con qué número mínimo de muestras del método más exacto (repetitivo), puede usted obtener estimadores tan confiables (precisos) como los que obtuvo del número máximo de muestras?
- ¿Con qué mínimo de muestras secuenciales puede usted tomar una decisión confiable, a diferentes niveles de plaga?
- Aquellas otras dudas que tenga usted de su población.

Obviamente, no todas las plagas requerirían 100m<sup>2</sup> de unidad de muestreo; ni un número máximo inicial de 50 cuadros;... ni etc., etc. Nuevamente insistimos que lo importante es el concepto, y en este caso el concepto es: aprender uno mismo a muestrear su patosistema (a partir de

bases bibliográficas confiables, en caso de haberlas), en las condiciones críticas que uno mismo define (también partiendo de bibliografía confiable, en caso de haberla), para no tener que depender de los especialistas en muestreo o en ecología cuantitativa; ellos nunca van a resolver nuestro problema personal de muestreo.

**EL MUESTREO ES EL TALÓN DE AQUILES DEL CIP Y DEL MIP. LOS ECÓLOGOS CUANTITATIVOS HAN HECHO UN TRABAJO MUY RAQUÍTICO AL RESPECTO.**

Todo lo anterior, para contribuir al conocimiento de la dinámica de las plagas, será aplicado a los factores de control natural, al daño, y al umbral económico, en la medida en que sea económica, biológica y prácticamente factible. Y esto nada más usted lo puede decidir. Sólo así, *sabiendo medir las poblaciones plaga, su daño individual y/o poblacional, y los efectos del control natural*, tendrá usted posibilidades de hacer MEP.

Nota de agradecimiento: Este capítulo fue revisado por el Dr. Roberto Reina R.

## 5. DINÁMICA DE POBLACIONES

### 5.1. FENOLOGÍA DE LAS PLAGAS

El estudio de la dinámica de poblaciones debe ocupar la parte central de todo proyecto de MEP pues, al depender del control natural, la dinámica define los umbrales de daño y económico. Así vista, *la dinámica poblacional es una resultante de los fenómenos ambientales* en el agroecosistema; es pura y llana *ecología de poblaciones* (el estudio de los cambios poblacionales, en tamaño y composición, **y las causas de esas fluctuaciones**).

Originalmente el término *fenología* se refirió a la relación entre las plantas y los *fenómenos* periódicos del tiempo (meteorológico) y el clima. Actualmente se entiende que la *fenología de un organismo* es todo lo que le sucede durante su lapso vital, su “autobiografía” frente al medio que le rodea, sea de carácter biótico o abiótico. Así, la fenología de una plaga sería el recuento de *todo lo que le sucede*, como individuo o población, con relación a su hospedante, parasitoides, depredadores, patógenos, heladas, lluvias y el resto de los fenómenos naturales o inducidos, como la tecnología agrícola.

Para definir una población debemos comenzar con la taxonomía de sus individuos. Una vez conocida la identidad de la especie problema, el estudio de su biología, ecología y comportamiento-etología, en los marcos *autoecológico* y *sinecológico*, nos permitirá identificar todos los detalles relevantes en la vida del individuo como unidad mínima del sistema o subsistema en que se ubica, o en la de su población.

#### 5.1.1 Taxonomía

La aparición de *Systema Naturae* en 1735, cuando Carlos Linneo tenía apenas 28 años de edad, fue un éxito inmediato debido a la enorme facilidad con que podía manejarse su *sistema de clasificación botánica*. Había otros, por supuesto, pero el de Linneo resultó tan fácil y lógico que contribuyó, como ninguno, a impulsar conocimientos fundamentales de biología. Siendo ese el propósito primordial de la taxonomía (del griego *taxis*=arreglo, orden; + *nomos*=ley), pronto fue adoptado por los zoólogos.

El estudio de una plaga debe comenzar con la determinación de su especie y, *para los fines del MEP*, la especie de *todos sus organismos coevolucionados*, sean hospedantes, competidores, parasitoides, depredadores o patógenos.

La taxonomía moderna tiene mucho de evolucionista y de genética, por lo que es ineludible basarse en ella para definir cada patosistema, antes de intentar manejarlo.

#### 5.1.2. Ciclos biológicos

El éxito reproductivo de las especies depende de las tasas de nacimiento, reproducción y muerte: los tres episodios relevantes de su tiempo ecológico durante un ciclo vital. El ciclo es el resultado de la selección natural operando durante el tiempo geológico, y puede ser muy diverso, según las presiones de selección. En los insectos varía espectacularmente, desde especies en casi continua reproducción durante periodos cortísimos de vida (pulgonos en partenogénesis), hasta especies de reproducción única en varios lustros (cigarras periódicas).

En general, podemos identificar tres características que influyen en el número de descendientes de una sola hembra (responsable directa del tamaño de la población):

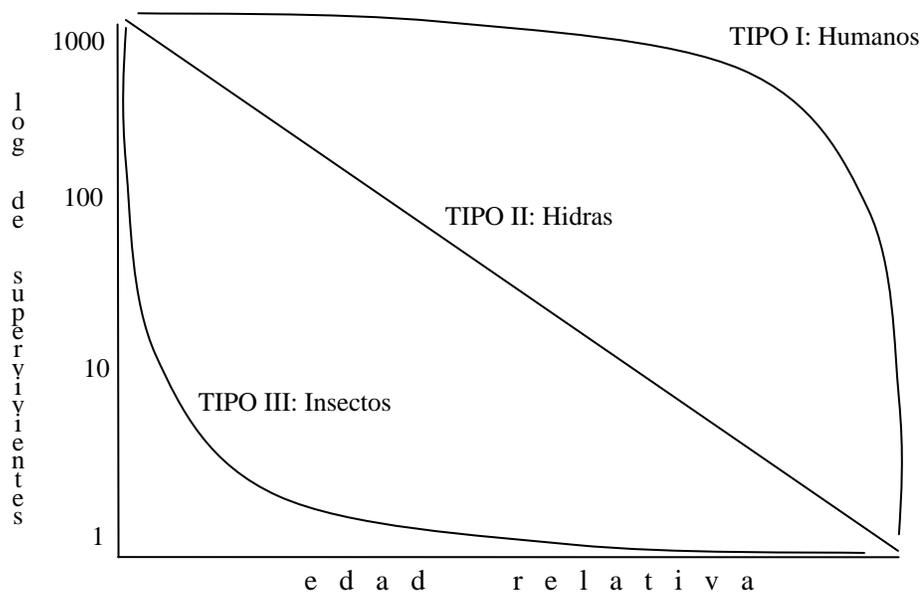


Figura 13. Curvas ideales de supervivencia en humanos (Tipo I), hidras (Tipo II) e insectos (Tipo III). El tipo I implica tasas de muy alta supervivencia juvenil y el III de muy bajas tasas; el II es intermedio.

- 1) El *número de descendientes* por evento reproductivo (*clutch size*, en inglés), que varía según la estrategia del organismo. Aquellos con un solo evento durante toda la vida, normalmente producen mucha descendencia, gran parte de la cual “es desperdiciada” (Figura 13).
- 2) El número de *eventos reproductivos* durante el lapso vital, que en los insectos varía desde el mono hasta el multivoltinismo.
- 3) La edad a la que ocurre la *primera reproducción*.

De los insectos que tienden a tener muchos descendientes por evento, a tener muchos eventos, y hacerlo a temprana edad, se dice que son más **oportunistas** (estrategas **r**, o de ciclo biológico oportunista) que aquellos que tienden a tener pocos descendientes, pocos eventos reproductivos, y a reproducirse lo más tarde posible, a los que se les llama **equilibristas** (estrategas **k** o de ciclo biológico equilibrista). En general, la estrategia de ciclo que adopta una especie de insecto es el resultado de su presupuesto energético para la reproducción, y de la conjugación balanceada de esas tres características.

Las plagas de los cultivos estacionales y anuales son *oportunistas* (**r**), y empiezan con una infestación inicial que siempre es "extranjera" (aloinfestación). Las de los cultivos perennes son *equilibristas* (estratega **k**), tienen una tasa reproductiva menor, y "nunca" abandonan el hospedante manteniendo “constantes” sus poblaciones autoinfestantes; sólo los cuden cuando la estación les es muy favorable. Estos cultivos pueden ser aloinfestados en las partes que se renuevan estacionalmente.

El rasgo más sobresaliente del ciclo biológico es la *meiosis* y, por lo tanto, la forma sexual de reproducción, presente en la mayoría de los insectos. La reproducción asexual, a pesar de ser mucho más simple, no fue elegida por la evolución como la estrategia más común de reproducción, obviamente debido a que reduce las posibilidades de “supervivencia del más apto”. El sexo define

diferencias en conducta, función y forma, que por obvias no serán mencionadas, pero que deben ser tomadas en cuenta al tratar de manejar integralmente a una plaga.

### 5.1.3. Ecología poblacional

Quede claro que el término *ecología poblacional*, en estas notas, se refiere al estudio de: **a)** la interacción de los organismos con su ambiente, **b)** su distribución y **c)** su abundancia. Y de ninguna manera al término periodístico amarillista que “informa” al público que tal o cual contaminante va a acabar con la “ecología” de “x” especie o lugar.

Conocidas que son la taxonomía y biología de la plaga, debe adquirirse el mayor y más profundo conocimiento posible de su ecología y comportamiento, para poder responder a las cuestionantes:

¿Cuáles son las interacciones del **individuo** con su ambiente biótico y abiótico? ¿Cuáles las de la **población**?

¿Cómo modifican su ambiente?; ¿cómo los modifica él?

¿Qué factores ambientales determinan la presencia de tal o cuál especie?

¿Cuáles determinan sus cantidades?

Las respuestas a esas interrogantes son la médula de los estudios ecológicos de las plagas, y deben comenzar a gestarse en el ámbito individual.

La *autoecología* (o ecología fisiológica, o ecología del organismo, o ecología organísmica) de una plaga se centra en el estudio de las maneras en que *el individuo* responde morfológica, fisiológica y conductualmente a los retos que le impone su ambiente físico-químico-biológico-tecnológico. Y en el de los límites individuales de tolerancia a cada una de las diferentes presiones de selección, representadas por factores:

- físicos y químicos (humedad, temperatura, luminosidad, pH, etc.);
- meteorológicos (heladas, sequías, granizo, vientos, etc.);
- de competencia inter e intraespecífica;
- de parasitoidismo y depredación;
- de parasitismo por patógenos;
- de calidad alimentaria (consumo) de su hospedante;
- tecnológicos (cómo afecta al individuo la tecnología agrícola: desde la forma de cultivar, hasta el control con cualquier táctica).

Conocida la autoecología del individuo, se pasa a la ecología de su población, y al análisis de sus límites de tolerancia *a las mismas presiones de selección*, así como al análisis de las comunidades (organismos) con quienes interacciona.

A este nivel, las cuestionantes inquieran cómo los actos de depredación, parasitismo, competencia y otros tipos de interacción, modifican la estructura y organización de las poblaciones. Este nivel ya es ecosistemático. Es el máximo nivel jerárquico de organización biológica, representado por una red de interacciones, esencia misma de los fenómenos ecológicos, que imponen retos a la inteligencia e imaginación de quien pretende hacer manejo ecológico, a partir del análisis del patosistema.

Por eso sostenemos que el entomólogo que quiera hacer MEP debe ser, al mismo tiempo científico experimental y evolucionista teórico.

### 5.1.4. Comportamiento

A pesar de que el comportamiento animal es una ciencia laureada con el Premio Nobel, (Karl

von Frisch, abejólogo, lo compartió con K. Lorenz y N. Tinbergen en 1973), y de que el estudio del *comportamiento* (“actuar, reaccionar y funcionar de manera específica frente a estímulos específicos”) es uno de los aspectos más antiguos de la biología, los insectos han sido muy poco estudiados, especialmente desde el punto de vista etológico (*etología*: biología, fisiología y evolución del comportamiento).

Analizar el comportamiento es desentrañar la esencia de la “adaptación darwiniana” (darwinian fitness); y determinar *a qué se atribuye la supervivencia del más apto*. ¿Cómo podríamos saber la adaptabilidad o adaptación de una plaga a su hospedante y su agroecosistema todo, sin estudiarlos profundamente?

La técnica del insecto estéril, aplicada a la “mosca del mediterráneo” *Ceratitis capitata* y al “gusano de las heridas del ganado” *Cochliomya hominivorax* son magníficos ejemplos de lo que una sola táctica de combate (control genético autocida) puede hacer contra una plaga, *cuando se basa en el conocimiento profundo de su comportamiento*.

El comportamiento es la manifestación de máxima *adaptabilidad genética*, de origen *evolutivo*, para alimentarse, reproducirse y sobrevivir. Siendo genético y evolutivo está sujeto a la selección natural, incluso cuando es aprendido en un contexto ecológico específico. Por lo tanto debemos estudiar *ecología conductual* (el comportamiento de origen evolutivo-ecológico) si es que tarde o temprano vamos a hacer MEP.

Las causas finales y proximales de la conducta de los animales superiores son muy complejas; pero en las plagas artrópodas “no hay” causas; por lo tanto debe ponerse el énfasis en los componentes *del comportamiento innato* y en los *modelos de acción fija*, tan bien estudiados por J.H. Fabre en las avispas ectoparásitas cavadoras, durante el siglo XIX.

Por fortuna para los entomólogos económicos, potenciales “*MEPólogos*”, no hay evidencias de que los insectos **plaga** aprendan comportamientos inducidos por la experiencia. Eso nos permite prever que la conducta de una plaga será siempre predecible y directamente heredada, sin ser modificable, excepto por la selección.

Una nota final nos obliga a mencionar que ningún estudio de comportamiento será totalmente confiable si no se considera la *ecología química* de la plaga, en relación no nomás a sus conespecíficos, sino también a su hospedante, parasitoides y depredadores. Nos referimos, claro está, a los semioquímicos involucrados: sinomonas, cairomonas; feromonas, alomonas y demás.

## 5.2. LOCALIZACIÓN Y TEMPORALIDAD DE LAS PLAGAS

Las poblaciones ocupan un lugar físico determinado (localización geográfica, si quiere llamársele así) en el momento de muestrearlas (temporalidad), y tienen un tamaño numérico. Al referir las poblaciones calculadas a la superficie o sustrato en que se hallaron, tenemos un cálculo de su densidad. Ambos parámetros, tamaño y densidad son determinables por muestreo, ya visto en el capítulo anterior. Refirámonos entonces, así sea brevemente, a la localización espacio-temporal de las plagas.

### 5.2.1. Localización

Al realizar cualquier estudio poblacional, se dijo, se deben referir las *fronteras* de la plaga bajo consideración. Aquí queremos referirnos a algo más simple y elemental, pero no menos importante: dónde buscar a la plaga que se va a muestrear y cuya densidad va a medirse. Cuál es su localización en la planta o ambiente; dónde se alimenta, refugia, copula, o hiberna.

Generalmente el estadio más perjudicial es un inmaduro (ninfa y larva solitarias o agregadas),

que se localiza, con excepciones, en el órgano afectado. Los adultos, individuales o en “colonia”, pueden ocupar estratos diferentes o muy diferentes de los que ocuparon sus inmaduros en la misma planta. En los casos de insectos de metamorfosis completa puede haber un tercer estrato, el de crisalidación o pupación. El panorama se complica algo más cuando los insectos son migratorios, y todavía más cuando, además de migrar, diapausan o invernan (a veces más de medio año). En todo caso la *estructura de edades* (población relativa de cada instar), más las constantes de muerte, nacimiento y crecimiento poblacional, forman la *demografía* de la especie, misma que debe ser considerada por localidades (sin olvidar la proporción de sexos).

Sería por demás prolijo tratar de reseñar todos los espacios en que potencialmente se puede localizar una plaga. Sobre todo cuando los lectores son entomólogos de mayor o menor experiencia, y con conocimiento de sus plagas.

## 5.2.2. Temporalidad de las plagas

En el tiempo, los artrópodos *plaga* se distribuyen aproximadamente como su hospedante, asumiendo dos tipos generales de estrategias.

La estrategia **r**, más modernamente llamada *coyuntural*, caracteriza a los individuos que se reproducen por estación (en hospedantes efímeros), o durante el lapso que un hospedante perenne tiene renuevos. Y lo hacen en grandes cantidades, a bajo costo biológico, con períodos cortos de vida y asumiendo tamaño individual pequeño.

En este caso son frecuentes las explosiones poblacionales, dependiendo del tipo de cultivo, y dependiendo del voltinismo o número de generaciones de la plaga “por temporada”. Generalmente predomina el multivoltinismo (varias generaciones en la estación o el lapso), pero puede haber bivoltinismo y, ocasionalmente, puede haber estrategias **r** que son mono o univoltinos (una generación anual, donde el insecto puede pasar gran parte del ciclo en estadio diapáusico adulto, como sucede en el altiplano con la conchuela del frijol *Epilachna varivestis*).

La estrategia **k** caracteriza a los organismos que aproximadamente están en equilibrio con el hospedante, razón por la que, modernamente, se les llama “*equilibristas*”. Estos no alcanzan a formar grandes poblaciones; “nunca” abandonan al hospedante; y son relativamente grandes de tamaño (rara vez cierto en los insectos).

En este caso el voltinismo funciona al revés: predomina el univoltinismo, puede haber bivoltinismo y es raro el voltinismo múltiple (recomendamos que el lector de estas notas busque las definiciones de semi, homo y heterovoltinismo).

Excepciones notables de voltinismo son los insectos que tienen una generación cada dos o más años, sobresaliendo el caso de las cigarras periódicas. El ciclo más corto conocido de una cigarra periódica es de cuatro años; algunas llegan a 17.

La diferencia fundamental estribaría en que el **r** interrumpe su relación con el hospedante y el **k** la mantiene constante; en otras palabras, el primero es epidémico y el segundo, asumiendo una relación *permanente* con el hospedante, es endémico.

La distribución temporal, por lo visto, depende de los ciclos temporales del hospedante y de la adaptación de sus plagas a él. Es obvio que la distribución de los depredadores y parasitoides sigue patrones semejantes, según su especificidad.

Todas las plagas oportunistas pasan parte de su ciclo *fuera* del hospedante, es decir, tienen que aloinfestarlos inicialmente. Las equilibristas “jamás” lo abandonan.

Es bueno hacer notar que todos estos términos y clasificaciones son relativos; son reglas biológicas que no son absolutas, ya que nos permiten conceptualizar fenómenos que rara vez carecen de excepción.

### 5.3. DISPERSIÓN

Los insectos, como animales evolucionados que son, responden a los cambios ambientales de corto y largo plazo. El cambio más frecuente en su ambiente es la abundancia relativa de alimento; la abundancia de sitio de oviposición o de refugio cambia relativamente menos. Cuando los sitios de oviposición y refugio escasean, o se reduce la capacidad de sustento *local*, los insectos comienzan a vagar en busca de estos satisfactores. Esto los obliga a disminuir la densidad de población por unidad de superficie, es decir, a dispersarse (en los libros de ecología, *dispersión* es el atributo estadístico que aquí llamamos "distribución espacial"). Muy frecuentemente, sobre todo entre los no entomólogos que se dedican a la entomología, a este fenómeno lo llaman emigración. Falso; la emigración es parte de un *fenómeno periódico y fijo*, que no siempre tiene que ver con situaciones coyunturales como el agotamiento *temporal* de un recurso; además, suele tener la fase contraria o inmigración; ambas configuran la migración.

La dispersión normalmente abate la densidad de *población local* sin modificar las poblaciones absolutas, y se efectúa hacia hospedantes vecinos más susceptibles o simplemente disponibles como alimento, refugio temporal o lugar para ovipositar, mudar, crisalidar o copular.

Cuando los artrópodos se dispersan para crisalidar y/o diapausar ya no los consideramos plaga, y lo mismo sucede cuando se esparcen en busca de hospedantes silvestres *locales*; esto es un error porque el manejo ecológico de una plaga implica ser implacable, especialmente cuando se conocen todas sus bases. Conocerlas bien significa identificar las posibilidades de supervivencia y las trincheras del artrópodo, que deben ser conocidas al máximo; sin dejar de considerar los aspectos ecológicos y económicos.

### 5.4. MIGRACIÓN

Son los insectos epidémicos quienes tarde o temprano agotan algún recurso local y tienen que *desplazarse localmente* en busca de nuevas áreas susceptibles; ya se dijo que esto es una *dispersión*. Ocurre bajo presiones poblacionales, y "no obedece" a órdenes genéticamente codificadas expresos. Se trata simplemente de competencia intraespecífica, en donde el más apto coloniza otra planta vecina o cercana, antes que sus conespecíficos.

La migración completa es un fenómeno recurrente que involucra un éxodo o emigración y un regreso a la misma zona o inmigración. Está genéticamente programada y es ineludible en el ámbito poblacional. Predomina entre insectos epidémicos, y sería raro entre endémicos (aunque hay quien sostiene, por ejemplo, que ciertos homópteros equilibristas, huéspedes permanentes de plantas perennes, están genéticamente programados para emigrar e inmigrar *dentro de su misma planta*, según las condiciones ambientales les sean favorables o no).

**ERRÓNEAMENTE SE SIGUEN PUBLICANDO MUCHOS TRABAJOS SIMPLES, DE FLUCTUACIÓN POBLACIONAL DE PLAGAS, COMO "DINÁMICAS POBLACIONALES".**

Como animales capaces de "autotransportarse", los insectos cubren todas las posibilidades de distancia. Se han detectado movimientos con retorno y sin retorno, de unos cuantos metros, de unos cuantos kilómetros y de cientos o miles de kilómetros.

Las emigraciones sin retorno, de muchos kilómetros de distancia de la langosta *Schistocerca spp* son uno de los fenómenos entomológicos mejor estudiados; técnicamente deben llamarse *emigración* (porque es genética y sin retorno al lugar de origen); pero la *Schistocerca gregaria* de algunos desiertos de África, viaja al sur en primavera y al norte en el verano; por lo tanto *migra* (emigra e inmigra).

Los movimientos migratorios de las mariposas monarca comenzaron a ser estudiados más

tarde porque su impacto económico es menor, pero los estudios han avanzado mucho en años recientes debido al ambientalismo que prevalece en los países involucrados; y por supuesto al interés científico.

Adultos de *Cochliomya hominivorax*, el gusano de las heridas del ganado o "gusano

UN ESTUDIO DE DINÁMICA POBLACIONAL INVOLUCRA EL ANÁLISIS DE TODAS LAS CAUSAS IMPORTANTES (FACTORES CLAVE) QUE DETERMINAN LOS CAMBIOS DE DENSIDAD POBLACIONAL. UN CAMBIO O FLUCTUACIÓN ES SÓLO EL EFECTO DE LO ANTERIOR.

barrenador" exhiben movimientos de dispersión que parecen migraciones, debido a que en el verano van hacia el norte (les "falta frío") y en invierno regresan al sur (les "falta calor"), pero para algunos autores no son verdaderas migraciones ya que no dependen de condiciones *extrínsecas e intrínsecas conjugadas*:

temperatura, humedad, fotoperiodo, calidad de la alimentación, cuerpo graso y balance hormonal.



## 6. CONTROL NATURAL ABIÓTICO Y BIÓTICO

### 6.1. INTRODUCCIÓN

El control natural es "milagroso"; tanto, que por sí solo puede reducir espectacularmente las aplicaciones de plaguicidas en un cultivo; y eso nos consta en México. A mediados de los años 60, las aplicaciones de plaguicidas contra plagas del algodón llegaban a las 15 aplicaciones en partes de la Región Lagunera y tendían a aumentar. Como intento de solución, la Dirección General de Sanidad Vegetal había establecido un programa de control biológico basado en la cría masiva y liberación de parasitoides de huevecillos *Trichogramma*, en Centros Reproductores de Insectos Benéficos (CRIB). La técnica es bien conocida: se incuban los parasitoides en huevecillos de una palomilla de los granos almacenados, se liberan esos huevecillos parasitados por la avispa, y de ellos emergen hembras que ovipositarán a las plagas en el campo. Cuando comenzaron a hacerse esas liberaciones se prohibió la aplicación de insecticidas en las áreas bajo control biológico... y se hizo el "milagro"; se redujeron los daños, y las aplicaciones de insecticidas bajaron gradualmente, año con año, hasta llegar a casi la mitad de lo que se aplicaba.

Nomás que el éxito **no** se debió al control biológico. Por falta de control de calidad, las avispas que emergían en el campo eran puros machos; y también, frecuentemente, eran puras hembras, pero ápteras. Sin embargo el sistema funcionó gracias a la mencionada prohibición, que tuvo el efecto de magnificar espectacularmente el control natural (el control de calidad en los CRIB comenzó en los 80's).

Poco antes de este triunfo del control natural, que no del biológico, la misma Dirección General estableció una "Campaña de control biológico contra plagas de los pastos", mediante la cual se pretendía controlar el complejo mosca pinta de los pastos (*Aeneolamia sp* y *Prosapia sp.*), y a la escama algodonosa, *Antonina graminis*, ambas presentes en los Estados mexicanos del Golfo de México.

Siendo Jefe de la Campaña en Tabasco, constaté que la mosca pinta era, con mucho, la más visible y perjudicial de las dos, pero sólo desde el punto de vista "cosmético", ya que secaba los pastizales en enormes manchones; pero como lo que sobraba en Tabasco es pasto y agua, el verdadero impacto económico de la plaga era casi nulo (el umbral económico era muy alto). De todas formas, se liberaron millones de chinches *Zelus*, acarreadas desde Nanacamilpa, Tlaxcala, que servían para impresionar a los ganaderos tabasqueños, mas no de control alguno por ser absolutamente torpes, en comparación con los adultos de mosca pinta que se pretendía combatir; además eran inespecíficas. Antes de ese "show", se solía establecer "criaderos de chinche asesina" en minimaizales situados al centro de algún pastizal, para que, a partir de ahí "salieran a capturar a sus presas". Ni se criaban masivamente ni capturaban nada... o casi nada, contradiciendo a quienes les atribuían eficacia a una "dosis de 100 chinches por hectárea". ¿Increíble? sí, pero esto sostenían los autores intelectuales de ese fraude fitosanitario.

Contra la escama algodonosa se liberaba el parasitoide *Anagyrus antoninae*, pero llegaba contaminado con el hiperparásito *Marietta graminicola*, "a pesar de la eliminación rigurosa del hiperparásito" por parte del "especialista" encargado de esta purificación de especies, en Tamaulipas. Esta persona, sobre la que gravitaba el peso "técnico" del uso de parasitoides, atribuía la presencia de *Marietta* a... ¡la generación espontánea!, ya que él aseguraba que su trabajo de purificación era más que "riguroso".

La campaña, siendo una estafa técnica, fue suprimida a partir de las demostraciones experimentales de quien esto escribe; pero, debido a mi actitud "rebelde", tuve que buscar trabajo fuera de la Secretaría de Agricultura (antes de "rebelarme" intenté convencer a Sanidad Vegetal de la necesidad de cambiar el método de la campaña).

Gracias al fracaso de esa Campaña, el INIA (hoy INIFAP) recibió recursos y emprendió un programa para generar tecnología contra la plaga más espectacular, la mosca pinta de los pastos. Cuatro años después de cancelada la Campaña, ese instituto me contrató como investigador regional para Tabasco, Campeche y Yucatán. Así, la mosca pinta fue estudiada integralmente, desde el control natural, la dinámica de poblaciones y el umbral económico, hasta el combate físico (quemadas controladas y localizadas), mecánico (chapeo y concentración del ganado en los focos de infestación), genético (búsqueda de clones resistentes), y químico, con énfasis en diferir el uso de insecticidas, muchos de ellos experimentados con éxito. A la larga, el control natural se encargó del problema real, ya que abundan los enemigos naturales bióticos, aunque también se detectaron algunos abióticos, como las lluvias y canículas fuera de la normalidad climática. Ésto sin olvidar que, siendo muy alto el umbral económico, los ganaderos tabasqueños aceptaron abstenerse de aplicar insecticidas, y adoptaron el uso del control físico y mecánico, desarrollados en este programa precursor del MIP, que fue liderado, entre otros, por H. Velazco, desde Cotaxtla, Ver.; sede regional del INIA.

## 6.2. LAS BASES DEL CONTROL NATURAL

Los insectos son mucho más benéficos que perjudiciales para los ecosistemas de la biosfera, y para el hombre y sus agroecosistemas. Menos de una milésima de las especies existentes de insectos son plaga de primera importancia agrícola, pecuaria, forestal y humana en el mundo; sin embargo, en el marco de sus relaciones directas con el hombre, sus plantas y animales, los insectos ocupan el lugar más prominente como enemigos de la economía y salud.

En cuanto a los virus, bacterias y hongos, el desarrollo de la biotecnología los está situando, también, como mucho más benéficos que perjudiciales a pesar de que apenas estamos aprendiendo a utilizarlos como agentes de control microbiológico. Poco sabemos de su valer cuando actúan como agentes de control natural (CN).

Con respecto a los nematodos y protozoarios benéficos, no se tienen estimaciones, ni siquiera así de imprecisas.

En cuanto a los agentes de CN abiótico, poco hemos aprendido del valor plaguicida que tienen o puedan tener.

Todos los agentes bióticos que naturalmente controlan a una especie han estado operando sobre ella durante millones o miles de años, gobernados por los principios que establece la Teoría de la Evolución (TE) y por la Ley de Hardy-Weinberg (LHW).

### 6.2.1. Teoría de la evolución

La TE establece que, a partir de un ancestro común *que se reproduce por vía sexual*, sus numerosos descendientes cambian de forma permanente y continua sobre la base de una lucha por la existencia contra (los agentes de) la selección natural, que resulta en la sobrevivencia y reproducción del más apto.

Más explícitamente, lo anterior significa:

- Que todos los organismos generan muchísimos más descendientes, que los que habrán de sobrevivirle para reproducirse.
- Que hay gran variabilidad en esa descendencia, no ocurriendo dos organismos idénticos.
- Que los que poseen ciertas características tienen probabilidad de sobrevivir y reproducirse, a costa de los poseedores de características deficientes.
- Que por lo menos algunas de estas características ventajosas (ventajas adaptativas),

inducen una reproducción diferencial favorable a quienes las poseen, y son hereditarias.

- Y que todos los cambios y adaptaciones posibles son normalmente lentos y graduales ya que disponen de todo el tiempo necesario para darse o no.

Las evidencias científicas apoyan la validez de todas y cada una de esas cinco partes de la TE de Darwin (y Wallace); su “contraparte”, el creacionismo bíblico nomás es apoyado por la fe. Asimismo, cada uno de esos cinco componentes de la TE describe parte del funcionamiento del CN biótico y abiótico de los seres vivos. Y por supuesto que también explica la resistencia a sus agentes de control.

Las especies, por lo tanto, no son estáticas, ya que continuamente cambian para adaptarse al medio, también cambiante. Esto explica que por muy "idénticos" que nos parezcan ciertos “fósiles vivientes" a especies extinguidas hace millones de años, lo más probable es que estén reproductivamente aislados de ellas (esto es, que sean especies diferentes), en el supuesto que pudiésemos recrearlas a partir del ADN disponible, y aparearlas con sus representantes modernos (son biológicamente modernos aunque sean llamados "fósiles vivientes").

A la evolución conjunta de un organismo con sus agentes bióticos de CN también la llamamos coevolución, término que resulta inaceptable para describir su evolución ante los agentes abióticos, puesto que éstos no poseen genes. El proceso coevolutivo se da en todas las especies, en todas las condiciones y en todo tiempo.

### 6.2.2. Ley de Hardy–Weinberg

Genéticamente, la evolución es explicable por la LHW quien establece que, en poblaciones sumamente grandes de organismos, las frecuencias de los genes y las proporciones de los genotipos *permanecen constantes* de generación a generación, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- Que la población sea al menos lo suficientemente grande como para que no se alteren significativamente las frecuencias genéticas por puro azar.
- Que no haya mutaciones, o éstas se den en equilibrio neutralizante.
- Que no haya migración (emigración o inmigración) genética notable.
- Que la reproducción sea sexual y se efectúe totalmente al azar.

Lo anterior significa que el patrimonio genético de una población o “pool genético”, caracterizado por el conjunto de sus genes, permanecerá “idéntico” generación tras generación, de cumplirse las cuatro condiciones. Sólo que, de ellas, probablemente la primera es la única en cumplirse entre los artrópodos plaga... y no siempre. En efecto: estamos induciendo o seleccionando mutaciones; casi siempre propiciamos dispersiones y es prácticamente imposible que la reproducción se dé 100% al azar. En consecuencia, lo que debemos concluir es que la genética de

		ESPERMATOZOIDES	
		0.9 p	0.1 q
Ó V U L O S	0.9 p	0.81 pp	0.09 pq
	0.1 q	0.09 qp	0.01 qq

Figura 14. Proporción constante de dos alelos  $p$  y  $q$  en la segunda generación  $(p + q)^2$ , de acuerdo a la Ley de Hardy-Weinberg, en una matriz de Punnett.

las plagas *tendería* a ser constante si no la violentáramos tanto, en términos de sus interacciones “normales” con el hombre y su ambiente.

Si tenemos los alelos  $p$  y  $q$  con frecuencias respectivas de 0.9 y 0.1 en los machos y hembras de una población (Figura 14), al reproducirse para dar paso a la segunda generación sus gametos tendrán la misma frecuencia, y el mini sistema funcionará como:

$(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2$ ; consecuentemente, en la generación **enésima** funcionará como:

$(p+q)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} p^{n-k} q^k = \sum_{k=1}^n \left( \frac{n!}{k!(n-k)!} \right) p^{n-k} q^k$ ; donde:  $p$  y  $q$  representan la probabilidad de frecuencia de un gene determinado; y donde la suma de las combinaciones sirve para calcular los coeficientes de  $p^{n-k} q^k$ , más fácilmente obtenibles con el triángulo de Pascal (Figura 15).

Luego entonces, cualquier agente de CN biótico mantiene una relación genética "constante" con su(s) presa(s), debido a los genes que mutuamente les ligan, en simbiosis de coevolución no menores que milenarias.

Respecto a los agentes abióticos de CN, cuya mayoría son meteorológicos, puede decirse que "no" evolucionan (aunque existen ciclos milenarios, p.e. de glaciación) y por lo tanto son incapaces de adaptarse a los insectos o plantas que desarrollen resistencia en su contra (al menos, en el sentido genético, contamos con esa gran ventaja); así, las plantas que hiciésemos resistentes a sequías, heladas, inundaciones o granizo, serían menos siniestradas por esos fenómenos naturales y, aunque lo fueran, tales siniestros afectarían equivalentemente a sus insectos. Éstos, en general no tendrían problemas para parasitar los cultivares resistentes a los meteoros climáticos y temporales.

La genética y la biotecnología del futuro podrán seleccionar o sintetizar ADN para que los cultivos resistan a sus plagas. Pero también para que éstas sean más susceptibles a sus agentes supresores, o menos agresivas contra las plantas.

### 6.3. AGENTES DE CONTROL NATURAL ABIÓTICO

El CN de insectos plaga incluye a todos los factores bióticos y abióticos del ambiente "natural" (excluido el hombre), que limitan su distribución geográfica y explosión demográfica.

Bajo esta definición es fácil identificar como *agentes abióticos* de CN de artrópodos, entre otros, a los:

- *factores mecánicos* como los océanos, mares, cordilleras, montañas, desiertos, valles, etc., que actúan como barreras naturales contra ciertas especies, impidiéndoles el acceso a nuevas áreas; la estructura o textura del suelo; los vientos (aquellos que los confinan, no los que los dispersan);
- *factores físicos* como la humedad escasa, excesiva o desequilibrada; la temperatura, también en esos grados; y la luminosidad (sea fotoperiodo o calidad de la luz, cuando sea impedimento para establecerse en nuevos lugares, alcanzados al azar o por acarreo humano);
- *factores químicos*, como el pH del suelo o la acidez de la lluvia;
- *factores meteorológicos* (su forma física y su forma mecánica), incluida la lluvia ácida, en cuanto a lluvia, no a acidez.

Poco, muy poco en verdad, se ha hecho en todo el mundo para *evaluar, predecir y utilizar* al control natural abiótico en el combate de plagas agrícolas. En muchas ocasiones, bastaría con consultar los registros meteorológicos para concluir que es altamente probable un aguacero, lluvia o

<u>n</u>	<u>m</u>																				
0	1																				
1								1	1												
2								1	2	1											
3								1	3	3	1										
4								1	4	6	4	1									
5								1	5	10	10	5	1								
6								1	6	15	20	15	6	1							
7								1	7	21	35	35	21	7	1						
8								1	8	28	56	70	56	28	8	1					
9								1	9	36	84	126	126	84	36	9	1				
10								1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1			
11								1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11	1		
12								1	12	66	220	495	792	924	792	495	220	66	12	1	
13								1	13	78	286	715	1287	1716	1716	1287	715	286	78	13	1

Figura 15. Triángulo de Pascal para obtener los coeficientes de  $(p+q)^n$ . Cada número representa un *coeficiente* de  $p^n - k$  o  $q^k$ . Cualquier coeficiente es igual a la suma de los valores “adyacentes” de la línea superior. El área sombreada corresponde a la moda.

helada que podrían ahorrarnos la molestia y el coste de una aplicación insecticida, pero casi nadie lo hace, a pesar que, incluso en los países en desarrollo, hay buenas redes meteorológicas.

#### 6.4. FACTORES BIÓTICOS DE CONTROL NATURAL

Por definición, en el momento en que el hombre auxilia a una especie benéfica en su trabajo contra las plagas desaparece el CN para configurarse alguna forma de control biológico o microbiológico. Esta tecnología, el control biológico, no puede dejar de mencionarse en un capítulo de control natural; es inevitable hacerlo.

Los *agentes bióticos* de CN incluyen muchos factores. Pero algunos, como la competencia intra e interespecífica, la resistencia vegetal y la escasez de recursos (alimentarios, de oviposición o de otro tipo), no se consideran CN. Los parasitoides, depredadores y patógenos, agentes clásicos de CN, serán conceptualmente mencionados.

Las plagas cuentan con enemigos de mayor o menor importancia, que aportan algún porcentaje bajo o alto de supresión y las podrían mantener en cierto equilibrio natural. Lo malo es que la agricultura se sustenta en relaciones que no son del todo naturales, ni de equilibrio.

La observación inicial de especies "aliadas", y su posterior evaluación biológica y económica, han transformado a muchos agentes de control natural, en agentes de control biológico. Esto significa que existe una relación más que estrecha entre ambos tipos de control y que, si tenemos preparación en una de estas áreas, "automáticamente" podemos traspolarla a la otra, sin grandes riesgos de un error fundamental.

##### 6.4.1. Protozoarios y nematodos

Según el párrafo anterior, si en nuestro ámbito de trabajo cotidiano de campo descartamos en principio a los protozoarios locales como agentes de CN, sabiendo que en el mundo prácticamente no hay protozoarios comercialmente utilizados como agentes de control biológico, estaremos

*bastante seguros* de no cometer un error básico al suprimir su búsqueda específica y subsiguiente evaluación, especialmente en el corto plazo (a largo plazo tendríamos que generar métodos de producción *in vivo*, cosa por demás difícil, y determinar los mecanismos de infección, virulencia, dispersión, etc.)

No obstante lo anterior, no debe perderse de vista que con cierta frecuencia se reportan no menos de diez géneros de flagelados (*Leptomonas*), amibas (*Malamoeba* en ortópteros) y coccidias (*Adelina* en plagas de granos almacenados), atacando órganos específicos (gónadas, tubos de Malpighi, cuerpo graso, epitelio intestinal) y causando epizootias en casi cualquier Orden de Insecta. Se ha intentado su uso en frutales y algodónero.

Lo mismo se dice de los nematodos: no menos de diez géneros importantes se reportan en el hemocelo y tracto digestivo de inmaduros de dípteros, ortópteros, coleópteros, himenópteros, lepidópteros, homópteros no escamiformes, ácaros (e incluso contra otros nematodos), destacando las familias Mermithidae y Tylenchidae. La incidencia de parasitismo es relativamente alta, y frecuentemente operan como vectores de entomopatógenos, pero su (poco estudiada) eficiencia relativa como agentes de control se considera baja. Hay bastantes reportes de intentos de control, contra plagas que pasan parte de su ciclo en el suelo (*Popillia*, *Diabrotica*, *Cydia*, *Costelitra*, *Heliothis*, *Hylemya*, *Pieris*, etc.); los resultados varían desde cero eficiencia hasta 85% de control.

La limitante más severa a su uso comercial es la dificultad de producirlos en masa, siendo parásitos obligados.

#### 6.4.2. Virus

Los virus, también parásitos obligados, seguirían en importancia ascendente. Se conocen cientos de enfermedades virósicas, atacando a más de 200 especies de artrópodos económicamente importantes, especialmente orugas lepidópteras e himenópteras. Los virus producen poliedrosis nucleares o citoplásmicas y granulosis, pero en ciertas ocasiones hay virus no inclusorios que resultan no fácilmente detectables (p.e. en arañas rojas). Transmisibles básicamente por ingestión o en forma hereditaria, los síntomas que inducen son muy variables, pero las deformaciones corporales que causan algunos virus, facilitan su reconocimiento inicial.

Su uso, incluso comercial, está bastante extendido, aunque sin corresponder a la escala de su verdadero potencial, que es muy alto, especialmente cuando se considera su enorme capacidad de permanencia en los ecosistemas (tanto los virus de las granulosis como los de las poliedrosis pueden persistir, hasta años, en el suelo). De ser detectados estos parásitos obligados, no deben descartarse especialmente por su gran agresividad, especificidad y persistencia.

#### 6.4.3. Hongos

Los hongos constituyen un Reino dividido en tres divisiones Zygomycota, Ascomycota y Basidiomycota, anteriormente eran clasificados en ficomicetos, ascomicetos, basidiomicetos y hongos imperfectos dentro del Reino Vegetal. Se conocen más de 100,000 especies de hongos y cada año se describen más, no necesariamente entomopatógenas.

A pesar del gran número de especies entomopatógenas, ni los mecanismos de adquisición (infección) ni los síntomas que inducen son demasiado amplios. En general las fungosis o micosis son detectables por la presencia de micelio y/o cuerpos fructíferos en la superficie de los insectos que fueron parasitados y muertos por esos microorganismos.

Las fungosis producidas por *Coelomomyces*, *Cordyceps*, *Massospora*, *Beauveria*, *Metarrhizium*, *Entomophthora*, *Septobasidium*, *Aschersonia*, *Aspergillus* y decenas más de géneros,

contra prácticamente todos los Órdenes de Insecta, los sitúa como los microorganismos tal vez más importantes del CN. Además, han sido los más estudiados como grupo, y ocupan el primer lugar histórico en el control microbiológico de insectos plaga.

Deben buscarse, detectarse y evaluarse activamente, ya que es fácil que estén presentes en cualquier campo y casi en cualquier tiempo, *dependiendo de las condiciones ambientales*. Esta es su más seria limitante, pues la espora casi siempre debe germinar en la epicutícula insectil poco antes de penetrarlo, lo que determina que su microambiente (en cuanto a luz, viento, humedad y temperatura) tenga que ser ideal.

Como agentes naturales de control, se les encuentra desde niveles enzoóticos hasta epizoóticos. Cuando lo último sucede, es primordial estudiar la epidemiología del hongo en cuanto a dispersión, viabilidad, población de esporas y virulencia; y su efecto en la plaga en cuanto a demografía, movilidad, susceptibilidad genética y densidad poblacional, si es que se quiere entender el fenómeno epidemiológico a profundidad, para poder utilizarlo.

Algunas especies producen toxinas, *incluso in vitro*, y otras, muy pocas y bien conocidas, afectan al hombre y sus animales.

#### 6.4.4. Bacterias

El Reino de los procariotes, llamado Monera, incluye a las bacterias entomopatógenas que comenzaron a ser famosas hace más de 125 años cuando Pasteur las identificó como causantes de epizootias en el gusano de seda; pero desde el punto de vista práctico fue hasta 1940 que comenzaron a ser económicamente notables por su efecto en *Popillia japonica*.

Compitiendo con los hongos por el sitio de honor entre los agentes microbiológicos de control natural, se encuentran las bacterias endoesporulantes o no, conocidas ampliamente por sus estragos, a veces espectaculares, en poblaciones insectiles naturales y de laboratorio, cuando son ingeridas por el hospedante.

Géneros como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Cloaca*, *Proteus*, y varios más (que por fortuna ya cambian de nombre con menos frecuencia), han sido conocidos e intentados, desde principio del siglo xx, como agentes de control. *Serratia*, en crías de insectos de laboratorio e invernadero, ha sido pertinaz enemigo de tales cultivos, pero también persiste en ser poco eficaz cuando el hombre trata de manipularla, ya en el campo, contra los mismos insectos (algunas son parásitos facultativos).

Un efecto bastante general es la inducción de “septicemias” hemocélicas, a menudo blanquecinas o cremosas, aunque ciertos síntomas son parecidos a los que sufren los animales superiores cuando son atacados por tíficos y paratíficos (pérdida de apetito, descargas orales y rectales, deshidratación y muerte... ¿les dará fiebre y dolerá la cabeza?).

Con frecuencia el síntoma depende del género atacante; por ejemplo las bacterias cristalógenas como *Bacillus*, al esporular producen un cristal proteináceo tóxico (*exotoxina*) capaz de paralizar los intestinos de sus hospedantes. Pero hay bacterias que ni esporulan ni producen cristales, pudiendo producir toxinas no excretadas o *endotoxinas*. El énfasis puesto durante los últimos años en *Bacillus*, ha determinado cierto abandono de otras bacterias.

En general, el respeto al CN microbiológico, pero incluso su inducción en el campo mediante ciertas prácticas conservacionistas, permitiría usufructuar algunas de sus ventajas; a saber:

- persistencia,
- especificidad,
- “no selección” por resistencia de la plaga,
- no contaminación ambiental,
- inocuidad al hombre y sus animales (con poquísimas excepciones),

protección de organismos “inocentes”, y buena compatibilidad con otras tácticas de combate.

Muchos microorganismos son vitales para la subsistencia de ciertas especies de insectos, pues les suministran aminoácidos, complejo B, elementos traza, etc. Si de alguna manera se lograra eliminar a estos microsimbiontes del interior de los macrosimbiontes albergantes, los insectos aposimbóticos resultantes (insectos plaga, p.e.) mostrarían síntomas severos de desnutrición, enanismo, deformaciones, poca fecundidad, etc., etc. Finalmente morirían. ¿Podrá ser éste, otro integrante potencial del MEP?

#### 6.4.5. Depredadores

El *control biológico clásico* ha generado modelos determinísticos simples que tratan de explicar el funcionamiento de la relación depredador: presa, artificialmente simples por el hecho de la importación de **un** depredador (o parasitoide) en un agroecosistema donde no tiene antecedentes. El control natural no funciona de manera tan simple, razón por la que pocos han intentado modelarlo, de manera estocástica, y sin éxito todavía. Es obvio; el control natural incluye, comparativamente, muchas variables más de origen biótico (*muchas especies indígenas*), sus interacciones, y las interacciones con el ambiente abiótico. Los especialistas en control biológico, al igual que en cualquier otra ciencia, han generado conceptos como la *respuesta numérica*, que se refiere a la resultante poblacional de los depredadores, en una relación depredador: presa; o la *respuesta funcional* que, en la misma relación, se refiere al consumo de presas por un depredador. Los depredadores pueden cambiar su respuesta numérica o la funcional, dependiendo de los diferentes tipos de presa.

El hábito depredador se considera más bien polífago o “primitivo”; por lo tanto es menos específico que el parasitoide. En consecuencia, prevalece entre un mayor número de Ordenes de Insecta; *no hay depredadores* en los Órdenes *Ephemeroptera*, *Anoplura*, *Mallophaga*, *Homoptera* (?) y *Siphonaptera*. Por el hecho de ser “primitiva”, la depredación rara vez alcanza los niveles de especialización adaptativa logrados por el parasitoidismo; en consecuencia resulta menos útil al control biológico, sin que eso signifique menor utilidad para un lugar, cultivo, tiempo o plaga determinados.

De los insectos hemimetábolos, el Orden **Hemiptera** es el más efectivo, con muchas familias exhibiendo este hábito, pero destacando Pentatomidae, Lygaeidae, Nabidae, Miridae, Reduviidae y Anthocoridae.

Odonata y Mantidae son depredadores sumamente activos debido a que este es su único hábito alimentario; pero son, en general, poco útiles en los cultivos.

Entre los holometábolos destacan, aproximadamente en orden creciente, Diptera, Neuroptera, Hymenoptera y **Coleoptera**. Este último Orden sobresale a partir de unas cuantas familias como Histeriidae, Staphylinidae, Cicindelidae, Carabidae y Coccinellidae, entre otras. Pero en el liderato de importancia biológica, ecológica y económica indiscutiblemente destaca Coccinellidae con *Hyppodamia*, *Cryptolaemus*, *Coleomegilla*, *Rodolia*, *Coccinella* y otros géneros *oligofágicos*.

Obviamente, este hábito alimentario se presenta entre otras Clases de artrópodos como Arachnida (con multitud de arañas cazadoras y trampeadoras), Miriapoda, Scorpionida, Araneida y Phalangida, mas este hábito destaca en Acari, con familias de depredadores de otros ácaros e insectos muy pequeños, sobresaliendo Anystidae, Tydeidae y Raphignathidae. Pero, como depredador de tetraníquidos y otros pequeños artrópodos de importancia económica, destacan varios géneros de Phytoseiidae.

En este apartado es justo mencionar que hay otros predadores que contribuyen al control natural de plagas; nos referimos a los moluscos, batracios, reptiles, aves y mamíferos que medran en

cultivos; pero el más efectivo de los enemigos naturales de los insectos, hasta hoy encontrado, es el insecto mismo. Baste saber que el 25% de los himenópteros son depredadores.

En aras de la justicia histórica debemos mencionar aquí que el control biológico clásico nació gracias a la importación a California, en 1888, de *Vedalia (Rodolia) cardinalis*, un depredador australiano de la escama algodonosa de los cítricos, cinco años antes se había intentado infructuosamente el uso de *Apantheles* contra el gusano de la col. Ambos intentos por parte de C.V. Riley.

#### 6.4.6. Parasitoides

Los parasitoides rara vez son polífagos; muy frecuentemente son oligófagos, y abundan los monófagos. Eso les hace más específicamente útiles al control biológico, y no necesariamente al natural biótico. Sin embargo son tan abundantes que no hay plaga que no cuente con parasitoides más o menos específicos. El grado de coevolución parasitoide–presa es enorme, e involucra interacciones, incluso químicas, que abarcan varios niveles tróficos. Eso explica, al menos en parte, la necesidad de sincronización entre los niveles tróficos  $T_1$  a  $T_3$  (a veces  $T_4$ ) para que funcione el sistema.

Para que el control natural por parasitoides funcione aceptablemente, deben ser propicias las tres características que influyen en la descendencia de una sola hembra, a saber:

- 1) Alto número de descendientes
- 2) Alto número de *eventos reproductivos* durante su lapso vital,
- 3) Ocurrencia temprana de la *primera reproducción*.

Esto es obvio si consideramos que son las hembras las responsables de buscar y parasitar al hospedante, pudiendo algunas de ellas hasta prescindir del macho.

Varios órdenes de Insecta incluyen especies con el hábito ectoparásito o parasitoide; sin embargo Hymenoptera y Diptera se significan como los agentes de control natural más importantes con estos hábitos. De ellos, Hymenoptera, y con mucho, es el mejor.

**Diptera.** De Diptera se conocen unas 15 familias importantes, pero destacan Sarcophagidae y Tachinidae, cada una con al rededor de cinco géneros (por supuesto que hay más), parasitoidando a insectos que son plaga importante de la agricultura.

**Hymenoptera.** Casi todos los himenópteros parasitoides importantes pertenecen al Suborden Clistogastra (si es que no le han cambiado el nombre); de éste, las Superfamilias Chalcidoidea, Proctotrupeoidea, Serphoidea e Ichneumonoidea incluyen las familias más sobresalientes de parasitoides e hiperparasitoides. Vale la pena destacar a Ichneumonidae (hay más ichneumonidos que todas las especies prevalecientes de vertebrados), Braconidae, Mymaridae, Trichogrammatidae, Eulophidae, Encirtidae, Chalcididae, Scelionidae y Platigasteridae (esta última familia, con no menos de 25 géneros muy importantes).

Mención aparte merece **Acari** que incluye a no menos de 20 familias parásitas de himenópteros, coleópteros y ortópteros; y ectoparásitos de insectos inmaduros holo y hemimetábolos. Su importancia en el control natural no ha sido objetivamente calificada ni cuantificada.

Debemos insistir que para evaluar el control natural son válidas las recomendaciones de muestreo que hicimos en el capítulo correspondiente. Así se lograrán estimaciones objetivas, en tiempo y espacio, de la fauna artrópoda benéfica en los agroecosistemas.

### 6.5. COMPETENCIA Y RESISTENCIA

### 6.5.1. Competencia intra e interespecífica

Los recursos ambientales son siempre limitados y hay que competir por ellos. Rasgo fundamental de la supervivencia del más apto es la competencia con los individuos de su especie y contra los de especies afines, es decir contra las especies que le disputan el alimento, sitio de oviposición, lugar de reposo y otros recursos.

*Intraespecíficamente* la competencia comienza desde de la fecundación, pues serán ciertos espermatozoides los que alcanzarán primero el óvulo para fecundarlo. Durante cada uno de los estadios subsecuentes persistirá esa competencia, de tal suerte que se reproducirán los triunfadores biológicos que alcancen la edad adulta. Sus genes y los de la población de que forman parte integrarán el patrimonio genético de los prevalecientes, en futuras generaciones.

Desde este punto de vista, el de la competencia, no hay especie viviente a la que se pueda considerar primitiva pues todo ser vivo está genéticamente actualizado, considerando que ha heredado, seleccionado o "producido" genes que le permitieron adaptarse al medio, medrar en él, y no ser eliminado por múltiples competidores "hermanos". Ha sabido vencer la resistencia ambiental intrínseca.

Todos los individuos de la *misma* especie usan los *mismos* recursos naturales; cuando alguno de estos es limitado, tienen que competir por él, organizarse para explotarlo, o aprender a comunicarse para no interferir innecesariamente. Aunque suele ocurrir poco entre los insectos plaga, al menos en forma "consciente", el espaciamiento, la territorialidad, las jerarquías sociales y la organización social, son formas de evitar la competencia; pero es evidente que quienes adoptan estas tácticas están compitiendo contra los que no se adaptan a ellas. Luego, *siempre hay competencia*.

Aunque sabemos que hay mecanismos de especiación, como el aislamiento ecogeográfico, el aislamiento del hábitat dentro de la misma ecogeografía, y otros tipos de aislamiento (estacional, conductual, mecánico o gamético), la competencia *intraespecífica* es, por todo lo visto, un fenómeno biológico de gran peso evolutivo incluso en la especiación.

*Interespecíficamente*, cada especie representa y ocupa un nicho ecológico *único* (nicho: lo que una especie hace durante toda su vida, sus relaciones con el ecosistema y sus interactuantes, sus estrategias de supervivencia y reproducción), labrado durante millones de años, a costa de todas las especies que en algún momento le compitieron, y "perdieron para siempre" la competencia por ese nicho, puesto que ya no existen. La competencia interespecífica entre especies muy cercanas puede significar que ambas están compitiendo para quedarse como únicas propietarias del nicho o, por lo contrario, que se están difersificando para dejar de competir por él.

De cualquier forma, en este texto no se considera como control natural a la competencia, pero se ha mencionado brevemente porque tiene enorme importancia biológica, ecológica y económica.

### 6.5.2. Resistencia vegetal

La resistencia vegetal, desde el punto de vista económico, no se considera control natural, pero por su origen evolutivo la mencionaremos en este capítulo.

Antes que insectos fitófagos terrestres hubo vegetales en la superficie de la tierra. Cuando los primeros fitófagos terrestres diezmaron las poblaciones de plantas prevalecientes, "dejaron vivir" (seleccionaron) a aquellas que contenían defensas naturales o las obligaron a "inventar" genes capaces de construir tales defensas. Las siguientes generaciones de insectos, a su vez, acopiaron nuevas estrategias de ataque que redujeron aquellas poblaciones vegetales defensivas, y así continuaron su evolución en "pareja" o coevolución. El resultado actual es que existen insectos más o menos especializados y vegetales más o menos resistentes. En los patosistemas silvestres la resistencia es la regla; en los artificiales agroecosistemas de hoy, es la excepción

La necesidad de producir alimentos suficientes para alimentar a la población humana actual, hace imposible el uso de plantas silvestres para obtenerlos; pero queda el recurso de incorporar *su resistencia* en los cultivares que son gran-productores, aunque también son “gran-susceptibles”.

Los patosistemas silvestres (parásitos y plantas al natural, cuyo patrimonio genético no ha sido intencionalmente alterado por el hombre) tienen dos tipos de *resistencia*; la *horizontal*, dependiente de muchísimos poligenes, y la *vertical* o monogenética que depende de un gene dominante y ocasionalmente de unos pocos de ellos. En patosistemas cultivados, la horizontal es duradera, laboriosa de obtener, poco espectacular y potencialmente de gran valor social; la vertical depende del hallazgo de una buena fuente de resistencia a partir de la cual, en poco tiempo, se logran resistencias espectaculares... que también pueden durar muy poco. Tres mecanismos de Painter explican la resistencia vegetal:

- la *antibiosis*, o capacidad genética del vegetal de reducir la esperanza de vida de los fitófagos por intoxicación aguda o crónica, u otros efectos similares, hasta la muerte. Ésto, debido a la presencia de factores aleloquímicos o nutricionales;
- la *antixenosis* (mal llamada preferencia o no preferencia por Painter) o capacidad del vegetal para impedir o limitar, a distancia o al contacto, la colonización por el insecto. Ésto, debido a mensajes aleloquímicos, a estructuras superficiales, a colores y temperaturas, entre otras causas;
- y la *tolerancia* o capacidad de un individuo vegetal, para producir ante el ataque de poblaciones de fitófagos que matarían a otros individuos no tolerantes. Ésto, debido a reparaciones del daño que recibió el vegetal.
- Para Painter el fenómeno de *evasión del hospedante* (capacidad del vegetal para eludir las poblaciones "pico" de sus fitoparásitos) es una falsa resistencia, pero considerando el origen y evolución de la precocidad o retraso genético del ciclo o parte de él, debe aceptarse como el cuarto mecanismo de resistencia vegetal verdadera.

Quede claro que el uso de cultivares resistentes no es control natural (y por supuesto tampoco es cultural ni biológico); es control genético.

De la misma manera, la asociación de cultivos y la tolerancia a la presencia de cierta maleza, confiere ciertos grados de diversidad genética cultural que reduce la probabilidad de plagas, pero esta tecnología tradicional (y futurista en el ámbito de la agricultura sostenible) es parte del control cultural.

En el caso de malezas debemos estar conscientes de que existen especies que benefician a parasitoides y depredadores, razón por la cual deben ser evaluadas a partir de un análisis de riesgo para permitirles o no su permanencia como parte del agroecosistema.

## 6.6. LOS FACTORES CLAVE DEL CONTROL NATURAL

Aunque originalmente se diseñó para parasitoides y depredadores, el análisis de factores clave de control natural permite la identificación y evaluación del potencial de cualquiera de los agentes más notables de CN, especialmente a partir de la elaboración de tablas de vida. Los datos requeridos para construir *tablas de vida* referidas a factores clave son series sucesivas de muestras tomadas en cada estadio, durante 8 a 15 generaciones. Los enemigos naturales bióticos comúnmente se expresan por metro cuadrado, u otras unidades prácticas de medida que permitan una fácil comparación y el análisis estadístico.

Se han sugerido ciertas reglas para aplicar este análisis, como:

- Definir claramente, en el tiempo, las causa de mortalidad, sin que estas se traslapen. Cuando se traslapan se toman como contemporáneas, atribuyendo la mortalidad al primer agente causal detectado.

- Considerar como muerto o vivo (ciertamente va a morir o a sobrevivir), al insecto que se encuentra afectado por el agente de CN.
- Considerar que ningún insecto puede morir dos veces; es decir, su muerte se atribuirá a uno de los atacantes, el considerado más efectivo.

Es obvio que este análisis implica la aplicación de todos los procedimientos estadísticos mencionados, para cada agente de CN que se considera potencialmente clave, después de haber determinado su distribución temporal y espacial. La tecnología del "factor clave", pareciendo muy laboriosa y complicada, a menudo no lo es, debido a que frecuentemente basta con determinar a uno o dos de ellos para predecir con bastante exactitud los cambios poblacionales de una generación a la próxima. Además, no es necesario conocer y explicar profundamente los mecanismos operativos de tales factores; basta con que sea útil para la predicción.

Los autores originales de la idea, entomólogos forestales, han encontrado que:

- hay un método de análisis simple que es bastante eficiente para identificar y valorar a los factores clave; se trata de una regresión lineal como ecuación de predicción. Esto parecerá complicado a unos cuantos entomólogos, pero es simple para la mayoría;
- el método es empírico (experimental) y, por lo mismo, la interpretación biológica es significativa y muy útil para la elaboración de modelos de predicción poblacional;
- el método simplemente representa un intento para explicar las causas de regulación poblacional, y no la aceptación de tal o cual teoría explicatoria;
- el método es aplicable después de que se ha estudiado "un número suficiente" de generaciones (por lo cual, los insectos univoltinos requerirán de muchos más años de estudio, que los multivoltínicos).

Operativamente, después de contar con los registros poblacionales de *varios* años, se hace una correlación ( $r$ ) con los logaritmos de esos registros para que sea gráficamente lineal, hasta el año  $n$  ( $N_n$ ), contra el año  $n+1$  ( $N_{n+1}$ ); esto sirve para calcular qué tanto depende una generación de la anterior, o qué tan similares pueden ser sus poblaciones consecutivas.

Si el valor de  $r$  fuera cero, ya no tendría objeto continuar el análisis puesto que no habría ninguna similaridad entre ellas; obviamente, el valor debe ser positivo.

A continuación se calcula  $N_{n+1}$  contra el logaritmo de un supuesto factor clave, para obtener ecuaciones del tipo:

$$Y = \alpha + b x ; \text{ o, en su defecto, } \log N_{n+1} = \log \alpha + \beta \log N_n(p) ; \text{ donde:}$$

$N_n(p)$ , es el número de insectos o población de un estadio determinado, en el año  $n$  (insectos que, p.e., escaparon al parasitoide  $p$ );

$N_{n+1}$ , es la población considerada, en el año  $n+1$ ;

$\alpha$ , es la ordenada al origen, que representa la capacidad efectiva de crecimiento poblacional;

$\beta$  es la pendiente de la ecuación modelo.

**LOS ENTOMÓLOGOS DE TODO EL MUNDO, INCLUIDOS MUCHOS CONTROL-BIOLOGISTAS, HAN SIDO NEGLIGENTES EN LA VALORACIÓN Y USO DEL CONTROL NATURAL BIÓTICO. PEOR ESTÁN EN CUANTO AL ABIÓTICO.**

Cuando la pendiente permanece muy alta, se está evidenciando que hay otros factores de CN, denso-dependientes o no, que deben ser identificados y evaluados, como la depredación o patogénesis.

Quede claro que el cálculo de tablas de vida es un método más sólido cuando se basa en el conocimiento de la fluctuación poblacional de muchas generaciones, y de todos los factores clave importantes.

## 7. EL UMBRAL ECONÓMICO

### 7.1. INTRODUCCIÓN

En éste análisis nos vamos a referir a los insectos. La combinación de todos los recursos para la producción agrícola, cada uno de ellos a nivel óptimo, configura el potencial de productividad ideal; hay un potencial de cosecha ideal local y otro regional, que rara vez serían alcanzados, suponiendo que fueran alcanzables, pues ello implicaría el uso del potencial óptimo del suelo, de la maquinaria, del agua, del fertilizante, de los plaguicidas, del cultivar, del productor o productores, de los trabajadores y demás factores directos de la producción agrícola.

A lo más que aspira el productor o la asociación de productores, es a obtener una cosecha que pague el máximo con respecto a la inversión; mas siempre hay pérdidas por plagas, meteoros, o por suboptimización de uno o más de los recursos. Frecuentemente se combinan dos o más de ellos para ocasionar las pérdidas "normales".

El ingreso (I) ideal del productor sería:  $I = T \$$ ; donde T y \$ son tonelaje y precio ideales, respectivamente.

En la practica, T se ve afectado (disminuido) por muchos factores, y a su vez modifica el precio \$, haciendo que exista un alto grado de impredecibilidad.

El productor individual combate o no a las plagas según su conocimiento, el costo y la asesoría, según los montos iniciales invertidos y según la espectancia de recuperación o ganancias, asumiendo riesgos personales o familiares, pero siempre empresariales.

A nivel regional intervienen, entre otros factores adicionales (como la disponibilidad y precio del agua, la de los plaguicidas permitidos, el subsidio a los combustibles y lubricantes o a la energía eléctrica), la probable contaminación del eco y agroecosistema, el control del impacto en la entomofauna benéfica y otros organismos, la selección de insectos resistentes, las cuotas de producción y el destino de la misma.

De esta manera, lo que puede ser bueno para un agricultor determinado, no necesariamente lo es para su región, o viceversa. Esto trae como consecuencia la intervención de los gobiernos para:

- planear, y/o
- subsidiar indirectamente la producción, (con comunicaciones, investigación, desmontes, créditos y seguros baratos, etc.) y/o
- subsidiarla directamente con precios del agua, de energéticos, de insumos, de maquinaria; con
- asegurar precios de garantía, y/o
- iniciar programas de capacitación,
- y demás medidas que hacen aceptables las políticas regionales, que generalmente son combinaciones de lo anterior.

Todo esto afecta y modifica la producción y la productividad, uno de cuyos pilares es el combate de plagas.

Los entomólogos deben resolver, más o menos fácilmente, los problemas técnicos *sin ignorar los ecológicos*; lo que ya no les compete y está fuera de su jurisdicción, son algunos aspectos socio-económicos, o socio-políticos del combates de plagas.

Parece haber una contradicción entre el interés económico y el ambiental, pues incluso hoy los sistemas más productivos son los más contaminados, los más contaminantes y los más socialmente perjudiciales; sin que nada de esto pueda ser cambiado por el entomólogo.

El colmo de la economía de mercado y neoliberal es que, además de ser *la gran contaminadora*, continúa controlando los mercados, los precios, las superficies a cultivar, las cosechas, los insumos... y la política ecológica mundial. Y esto tampoco depende del entomólogo agrícola.

## 7.2. ASPECTOS NEGATIVOS DEL COMBATE QUÍMICO DE PLAGAS

Aparte las estadísticas de insecticidas y equipos de aplicación, las de obra de mano y jornales ahorrados gracias a ellos, las de cosechas producidas y protegidas, las de balanza agrícola, y muchas más de carácter general, existen ciertos aspectos *técnicos* que sí son incumbencia del entomólogo agrícola. Y, aunque no estén bajo su control total, en cierta medida dependen de él; a saber:

- los costos del combate (por lo menos su optimización),
- los costos del control de residuos (*ídem*),
- los costos de la contaminación o descontaminación ambiental (*ídem*), y
- el desarrollo (no su síntesis) de nuevos productos (*ídem*).

### 7.2.1. Resistencia, contaminación y control de residuos

Los costos del combate, se dijo, pueden ser diferentes a nivel individual o regional, dependiendo del interés del estado en el desarrollo de determinada región, cosecha, o “x” plaguicida (p.e. para impulsarlo o sacarlo del mercado).

La influencia de muchos entomólogos al servicio de las grandes compañías transnacionales o no, ha propiciado el encarecimiento del combate de plagas e incluso ha propiciado el abandono de cultivos en grandes regiones, por incosteabilidad del combate o su imposibilidad, al seleccionarlas por resistencia mediante el abuso de los insecticidas que ellos venden.

Lógicamente esto trae problemas de contaminación ambiental y pérdida de mercados internacionales por exceso de residuos de plaguicidas en las cosechas, además de modificar el umbral económico.

El control estatal de plaguicidas, equipos y aplicaciones, requiere de personal, de instrumentos y de una mejor organización para monitorear, lo que también modificará los umbrales económicos, porque las compañías que cumplan esos controles tendrán que cargar los costes al productor y éste al consumidor.

En cuanto al control de los residuos en cosechas, esta actividad de servicio social que debería ser operada por los gobiernos para lograr impactos positivos en la ecología y comercio internacional, se está dejando en manos de particulares registrados quienes venden el servicio. Tarde o temprano quedará en manos de la misma industria que propicia su abuso, lo que indudablemente también aumentará (y será cargado a) los costes de producción y modificará más aún el umbral.

Todo esto resulta en un aumento de los costos fitosanitarios, identificables como todos los gastos que son indirecta y directamente aplicados al combate de una plaga; en contraste con los gastos agrotécnicos, que son aquellos invertidos en el proceso de producción agrícola, excluyendo la fitosanidad.

### 7.2.2. El desarrollo de insecticidas

Los métodos no químicos de control abaten el umbral económico, especialmente el control biológico, el microbiológico, el cultural y la resistencia vegetal. Pero a pesar de ser potencialmente la columna vertebral del MEP, rara vez se les destinan recursos para la investigación por parte de los sectores oficiales técnicos y académicos, prefiriendo invertir en investigación *del uso de plaguicidas*. Esto beneficia a las transnacionales, pues así se contribuye al desarrollo de sus productos.

En los últimos 20 años, muchos países en desarrollo han invertido, considerando su reducida capacidad económica para la investigación, cuantiosos recursos en la búsqueda, *a ciegas*, de polvos, infusiones y extractos de plantas con capacidad insectistática o insecticida:

A ciegas porque el *Homo sapiens* lleva tal vez doscientos mil años experimentando con vegetales en general, y unos 10,000 en la identificación de vegetales claramente insectistáticos o insecticidas, habiendo descubierto casi todo lo conocido al respecto, incluido al neem *Azadirachta indica*, hace miles de años.

A ciegas porque lejos de centrarse en las Familias, Géneros y Especies ya identificadas como muy prometedoras, han invertido *su tiempo* y *nuestros recursos* en casi cualquier planta que se les puso en frente.

Si "el sistema" representado por esos gobiernos se propuso apoyar formas de control alternativas, nacionalistas y ecológicas (indudablemente lo son), al menos debió consultar la opinión de los especialistas en MEP y no nada más la de los proponentes, expertos sólo en combate químico.

Los resultados, ciertamente, han servido para que muchos estudiantes hagan tesis y se introduzcan al método científico, pero poco han aportado que sea entomológica y económicamente útil.

Esos resultados era predecibles. Y aunque se les previno de muchas maneras, los líderes de tales proyectos, realizados en muchos países, se negaron a aceptar lo evidente; a saber:

que el método científico se basa en observaciones anteriores y por lo tanto debieron haber comenzado por *reconocer* las especies nacionales potencialmente útiles (El planteamiento inicial debió ser: "*ya se conocen miles de vegetales insecticidas en México y el mundo; ¿cuáles de aquellos existen en mi país?, ¿cuáles son autóctonos?*");

que a partir de esas experiencias se plantean *nuevas* hipótesis en cuanto a la utilidad insecticida o insectistática de la flora autóctona, correlacionada con la mundial ("por correlación botánica con las extranjeras: *¿con qué otras especies botánicas podríamos contar en este país?*");

que las especies potencialmente importantes se deben probar lo más objetiva y realistamente posible ("los mejores candidatos debo experimentarlos en condiciones normales de *combate químico* comparativo"); y

que se debe desechar, sin miramiento, lo que no responde a expectativas científicas según las hipótesis planteadas ("no debo a experimentar con lo primero que se me ponga enfrente").

Tal vez no consideraron esas premisas elementales, influenciados por la moda aún hoy vigente de ecologismo populista, o por superficialidad científica, o por buena fe; pero nada de esto es científico.

En general, pocas nuevas alternativas han obtenido; pero si llegan a dar con un vegetal excepcional, éste se convertirá en cultivo *comercial*, con todos sus problema y sus plagas; y después las transquímicas sintetizarán el principio activo. Así, aunque los gobiernos de esos países inviertan bastantes recursos en ésto, vía sus instituciones nacionales de enseñanza e investigación, son las compañías transnacionales las que a la larga obtendrán resultados ventajosos, en lo económico, respecto a inversiones que ellas no hicieron.

Y mientras nuestros países desperdician recursos que deberían ser aplicados en la identificación de moléculas "más amigables" (atrayentes, deterrentes, repelentes, e incluso tóxicas), las compañías transnacionales mantienen su rumbo sin competencia, y muy probablemente subsidiando a trasmano los ecológicos, pero hasta hoy poco útiles, proyectos mencionados. Se antoja pensar que las empresas plantaron estas "audaces" ideas "ecológicas" en las mentes de sus presuntos creadores, como cortina de humo que les impidiese ver con claridad el problema: hay que identificar, sintetizar y utilizar las moléculas más amigables que *ya existan*.

El desarrollo de una nueva molécula es, ciertamente, costosísimo hasta su puesta en el

mercado, lo que encarece la fitosanidad; pero también es muy factible la identificación, aislamiento y síntesis de aleloquímicos presentes en plantas resistentes cultivadas y silvestres; de bacterio o micotoxinas, o de feromonas. No tienen que ser forzosamente insecticidas, ni derivados de la petroquímica.

Aun dentro de su tónica neoliberal, los gobiernos deberían ser nacionalistas y apoyar el desarrollo de tecnología competitiva y ecológicamente saludable, impulsando en el sector público los métodos no químicos de control de plagas, partiendo de una estructuración adecuada y comprometida de sus instituciones de investigación y enseñanza (escuelas y facultades de agronomía; postgrados de control biológico, resistencia y genética; institutos de investigación agrícola y ecológica).

Asimismo, en el sector privado nuestros gobiernos deberían estructurar y apoyar a una industria agroquímica nacional, que sea capaz de sintetizar las moléculas que generaron hace tiempo las compañías transnacionales, pero cuyos derechos de patente han caducado (nos referimos a las más efectivas e inocuas al ambiente). Además, también podrían impulsar la síntesis de las moléculas amigables mencionadas.

En todo caso, la investigación de cualquier tipo de métodos de control de plagas modifica el umbral económico.

### 7.3. COSTOS, SUBSIDIOS, UMBRALES Y DAÑOS

La conjugación de factores favorables a la producción nacional debería culminar en subsidios directos o indirectos que permitan al productor competir y capitalizarse, con el apoyo profesional de los entomólogos agrícolas. Pero muchos de esos entomólogos trabajan para compañías que les “obligan” a propiciar la venta, *muchas veces innecesaria*, de ciertos agroquímicos. Eso corrompe la competencia y encarece la producción.

#### 7.3.1. Costos, subsidios y umbrales

Todo productor tiende a economizar en sus costos agrotécnicos y fitosanitarios. Los agrotécnicos (que incluyen los recursos estatales invertidos en la ampliación de la frontera agrícola como desmontes, presas, canales, caminos, drenes etc.), rara vez son economizables, a menos que se adopten tecnologías revolucionarias y relativamente poco probadas como la labranza mínima o cero; de otra forma, el productor realiza todas las labores culturales prescritas por la tradición y el éxito agronómico regional, invirtiendo, a fin de cuentas, gran cantidad de esfuerzo personal y recursos, que en un mal año pueden quedar a merced total de las plagas.

Los costos fitosanitarios son, en consecuencia, la preocupación central del productor, una vez que ha sufragado todos los demás renglones involucrados en la producción agrícola, excepto la cosecha y comercialización.

Es en los años muy malos y muy buenos, cuando el productor puede aprender a conjugar la relación costo beneficio, a entender el nivel de daño económico, y a aplicar el umbral.

El nivel de daño económico  $D_e$  (Figura 16) es la **pérdida** cualitativa o cuantitativa de cosecha, cuyo coste compensaría los costos de combate de la población–plaga asociada.

El umbral económico ( $\blacklozenge$ ) es la densidad de población plaga, **a partir de la cual** deben tomarse medidas de combate, para no llegar al nivel de daño económico.

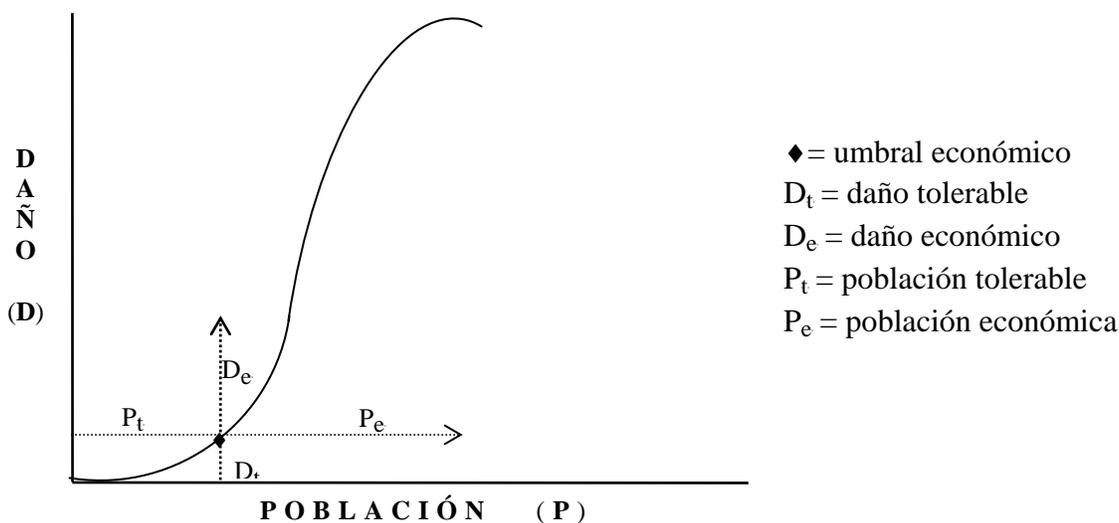


Figura 16. Determinación del umbral económico, tomando como base las poblaciones y daños tolerables ( $P_t$ ,  $D_t$ ) y los de importancia económica ( $P_e$ ,  $D_e$ ).

Debido a que ambos conceptos son muy cercanos (en lo biológico y lo conceptual), se ha convenido implícitamente en el uso casi exclusivo del término umbral económico, como la *población y daño que justifican la adopción de medidas de combate*. Pero el nivel de daño económico implica una densidad de población *ligeramente* mayor que la del umbral.

Cuando un cultivo recibe subsidios (en los costos de semillas, mecanización, fertilizantes, energía, precios de garantía, seguro agrícola y demás), el agricultor, habiendo arriesgado poco, puede tender a permitir una elevación del umbral, es decir, a combatir tarde a las plagas, a menos que su producto tenga gran demanda en el extranjero o que el gobierno haya generado una conciencia social nacional de autosuficiencia e independencia agrícola.

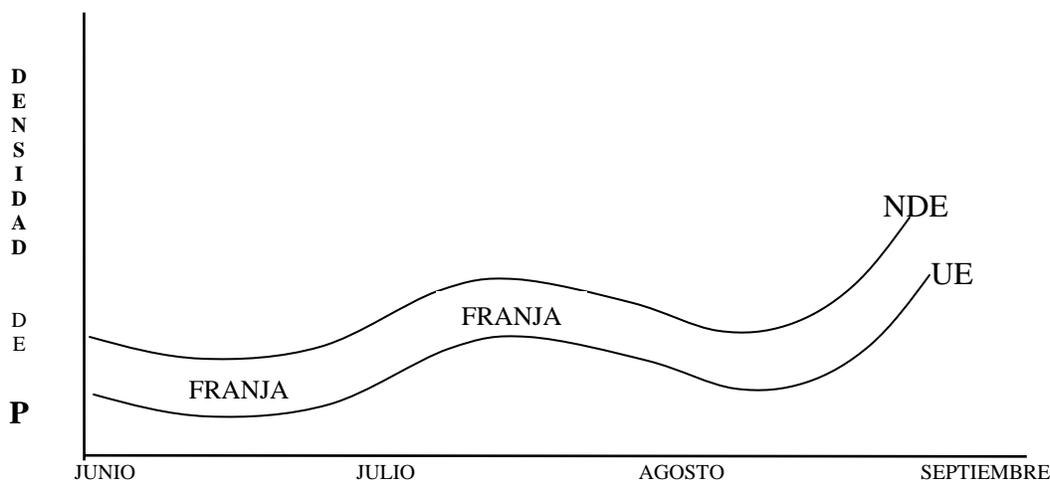


Figura 17. Relación poblacional entre el nivel de daño económico (NDE) y el umbral económico (UE), formando una franja de decisión (combatir o no), durante las diferentes etapas fenológicas en que un cultivo es atacado por una plaga.

Cuando tal conciencia existe, aumenta la oferta local inmediata, sea por exceso de producción, sea por subconsumo, sea por carencia de agroindustrias y almacenes, o por combinaciones de lo anterior. Ésto, a plazo medio, eleva nuevamente los umbrales, a menos que se desarrolle capacidad de consumo, de almacenaje, de industrialización, de competencia internacional o sus combinaciones.

Es evidente, entonces, que los subsidios deben ser integrales, de manera que se socialice la producción, transformación, distribución y consumo de productos agrícolas y que el estado asuma la responsabilidad de proveer al productor con insumos, nacionalismo productivo, y protección en sus mercados internacionales. De esta manera los productores operan a partir de niveles bajos de daño o de umbrales económicos (Figura 17), pero con cierto nacionalismo productivo.

Los cultivos no subsidiados operan rigurosamente bajo la mecánica del darwinismo económico: cuando los productos escasean sus precios son altos y el agricultor tiende a "echarles de todo" para llevarlos al mercado; en tales condiciones se justifica económicamente combatir desde niveles mínimos de daño, aunque muchas veces no se toma en cuenta el costo ecológico y el social.

### 7.3.2. Análisis de daños

No es adecuado hablar de umbral económico sin mencionar los daños, las pérdidas de calidad y de cantidad de cosecha, las poblaciones dañinas, los precios de los productos afectados o no, y las ganancias del productor.

Excepto las vectores de virus, el daño de una plaga generalmente mantiene una relación lineal y directa con sus poblaciones; en cambio, la calidad de las cosechas mantiene una relación no necesariamente lineal. En cuanto al precio, a menos que el producto deba mantener una apariencia cosmética impecable, las poblaciones y los daños no modifican mucho los precios de productos cosechados. No puede decirse lo mismo de la ganancia del productor, puesto que a mayor población y daño, menor cosecha, y en casos extremos ocurren pérdidas a totales.

La evaluación de daños y pérdidas de cosecha es una disciplina poco desarrollada en los países pobres, y en algunas regiones de los países ricos. No es posible establecer umbrales económicos a nivel regional, sin emprender experimentación previa en el campo, en cámaras de cría, en cajas, en invernaderos e incluso laboratorios, para establecer la capacidad de daño de individuos o poblaciones. En este caso el productor individual es poco importante, ya que del análisis regional de pérdidas puede surgir una política económica respecto al cultivo. En ocasiones se han evaluado las pérdidas de cosecha a partir de encuestas; eso es poco confiable comparado con la investigación y la experimentación *ad hoc*.

### 7.3.3. Concepto poblacional del daño

La investigación con insectos masticadores permite establecer fácilmente el consumo individual e inferir sobre el poblacional; con chupadores es más difícil, pero hay técnicas, también cuantitativas, que permiten medir el consumo de savia; aunque esto no es una medida tan directa del daño como lo es el consumo por masticadores. Por lo pronto vamos a referirnos a los daños poblacionales, lo que no necesariamente presupone un conocimiento de los individuales.

El daño o intensidad del perjuicio ocasionado por plagas puede describirse como el producto de tres variables (aparte la resistencia vegetal):

- la densidad de la población
- su estado de desarrollo, y
- el tiempo que dura el ataque.

La densidad de la población determinada con metodología de muestreo secuencial, es la herramienta más útil; sin embargo, normalmente se comienza a un nivel de muestreo más bajo.

El estado de desarrollo es importante, conjugado con el tiempo, porque se parte del supuesto que todos los insectos consumen aproximadamente lo mismo, siempre y cuando estén en la misma fase o estadio y ataquen el mismo sitio de la planta; como esta situación es raramente alcanzable, puede resultar conveniente hacer un análisis estructural de la plaga (supongamos, p.e., que la mitad de la población está compuesta por larvas muy pequeñas, una cuarta parte por larvas chicas y la última parte por larvas muy grandes; esto permitiría calcular, sobre la base de experimentos previos de consumo individual, que el daño, en este momento, es atribuible en un 75% a las larvas grandes, que van a dejar de alimentarse para entrar en metamorfosis. Las larvas pequeñas, que en este momento hacen poco daño: ¿disponen de suficiente tiempo para llevarlo al umbral?).

El *daño total*  $D$ , es la resultante de la *población total* ( $P$ ), por el *daño inherente* a cada individuo de esa población ( $b$ ):  $D = b P$ ; pero ese daño poblacional incluye al *daño tolerable* ( $D_t$ ) y al *económico* ( $D_e$ ):

$$D = D_t + D_e;$$

de la misma manera que la población total incluye a la tolerable y a la económica:

$$bP = b(P_t + P_e); \text{ de ahí que:}$$

$$D_e = D - D_t; \text{ y si sustituimos a } D \text{ y } D_t \text{ por sus poblaciones inherentes tenemos:}$$

$D_e = bP - bP_t$ ; fórmula indicadora de que, para *cualquier momento*, el daño económico refleja el daño inherente a la población total, menos el atribuible a la población tolerable (Figura 16); y

$D_e = b(N_0 e^{rt}) - b(P_t)$ ; lo que pone de manifiesto la necesidad de conocer el efecto del tiempo involucrado  $t$ , la tasa de crecimiento poblacional  $r$  y, en este caso, el daño  $b$ , inherente a cada individuo.

En la figura 17 tratamos de ilustrar los conceptos de nivel de daño económico y umbral económico formando una franja de decisión, a lo largo de diferentes estados fenológicos (tiempos) del cultivo. Las muestras que caen arriba de la franja (¿o también dentro de ella?, ésto depende del criterio técnico), indicarían que debe tomarse una decisión de combatir a la plaga, mientras que las muestras por debajo del umbral significarían continuar el muestreo y analizar la acción de los agentes bióticos y abióticos de CN, quienes podrían mantener ese estatus poblacional indefinidamente, considerando que a cada población corresponde un daño que le es fijo. El problema, ahora, consistiría en conocer objetivamente ese daño, y las pérdidas derivadas.

#### 7.4. PÉRDIDAS DE COSECHA Y ASPECTOS BIOECONÓMICOS DEL UMBRAL

A partir de los estudios y modelos de análisis del desarrollo vegetativo, pueden predecirse los rendimientos de cosechas. Esos modelos y estudios no son competencia obligatoria al entomólogo, pero sirven de base a sus estudios de pérdidas de cosecha. En esa virtud está obligado a conocerlos, y poseer criterios objetivos al respecto.

Los aspectos económicos de las pérdidas de cosecha, siendo cambiantes a nivel local, regional, nacional e internacional, competen a los economistas.

Las pérdidas **biológicas** en cantidad o calidad de cosecha son evaluadas con técnicas experimentales *ad hoc* para cada cultivo y cada plaga por entomólogos; por lo tanto deben mencionarse algunos principios que sean útiles a ellos.

#### 7.4.1. Estudios con infestaciones naturales

La experimentación con infestaciones naturales es extremadamente difícil, pues normalmente no hay manera de asegurarse una población atacante y, cuando esta acude a la cita, llega en números impredecibles, lo que hace absolutamente necesario contar con métodos de muestreo muy expeditos y exactos (repetibles), pero además apegados a la realidad (precisos). Desgraciadamente estos estudios son los más populares para estudiar los daños de una plaga, y ésto se explica por ser, también, los más baratos.

Cuando las poblaciones atacantes son muy altas, se pueden obtener buenos resultados pues, obvia y necesariamente, estas poblaciones tienen todas las ventajas de lo natural; de lo no manipulado por el hombre. En esas condiciones incluso es posible "dosificar" la plaga, mediante el uso de insecticidas u otros procedimientos que regulen los números de insectos en cada parcela y cada repetición. Idealmente deben usarse insecticidas que sean selectivos y tengan mínimo impacto en el control natural biótico. La experiencia así adquirida es la más útil pues induce los mejores criterios de daños y pérdidas, especialmente cuando ambos son estadísticamente medidos, regresionados y correlacionados.

#### 7.4.2. Estudios de laboratorio

Las plagas de granos (y otros productos) almacenados son tradicionalmente estudiada en laboratorio; las técnicas aplicadas dependen de la especie, y ocasionalmente se apoyan en el uso de equipo, herramientas y utensilios especiales.

Con mucha exactitud y precisión, y basados en buenas experiencias de campo, es posible medir, en laboratorio, las siguientes variables referidas a masticadores de casi todo tipo (aunque no es fácil con barrenadores y similares):

- la capacidad de consumo individual;
- los picos circadianos de mayor actividad;
- los de mayor consumo;
- los de excreción;
- la duración de cada instar;
- el periodo biológico total;
- el periodo total alimentario;
- el consumo total preimaginal;
- y demás variables relacionadas al daño individual.

Si como complemento adicionamos el estudio de las poblaciones de campo y su composición, se logran buenas predicciones de pérdidas de cosecha.

Estos estudios son especialmente útiles cuando se refieren a consumo foliar por planta o por parte cosechable (pérdida directa), aunque no debe perderse de vista que esos insectos estuvieron bajo condiciones ideales, sin el estrés de factores ambientales de carácter abiótico (y biótico). En general, los mismos insectos consumirán menos bajo estrés y, por lo tanto, los cálculos de laboratorio dejan un margen de seguridad.

#### 7.4.3. Estudios con daño simulado

Esta ha sido una técnica popular para correlacionar el daño y las pérdidas de cosecha, aun en ausencia de una población plaga. Las prácticas de simulación de daño mecánico, son laboriosas y muchas veces consumen bastante tiempo para infligir el daño artificial, para anotarlo y evaluarlo. Incluso se han usado diferentes tipos de herramientas y utensilios para facilitarlos y hacer más

repetitiva y estándar la supresión y medición de follaje, flores o frutos. Entre los aparatos utilizados destacan el medidor de área foliar y las perforadoras.

Nuevamente se subraya el hecho de que resulta fácil simular daños de masticadores de cierto tipo, y difícil o muy difícil el de los insectos chupadores, los ácaros o los trips. En general, los homópteros se dificultan porque no existen técnicas para extraer artificialmente los jugos vegetales y medir el impacto de esas extracciones en la economía del vegetal. Los hemípteros, aunque ocasionan daños más medibles (porque inyectan toxinas), también son, hasta hoy, dificultosos de evaluar.

Una de las técnicas de daño simulado consiste en remover hojas, flores o frutos *completos*, para medir posteriormente el impacto de la remoción en la cosecha final.

#### 7.4.4. Estudios con infestación artificial

La cría de insectos plaga, en dietas artificiales o naturales, ha servido en buena medida para infestar artificialmente plantas de laboratorio, invernadero o de campo. La gran ventaja de esta tecnología es que permite el control de densidades poblacionales que inducen pérdidas proporcionales, en tiempos también bajo control, durante los cuales se induce el daño. Otra ventaja es que los daños inducidos son muy cercanos a los naturales, y puede elegirse el sitio de acción y la etapa fenológica adecuada. Alternativamente, se pueden hacer este tipo de infestaciones a partir de insectos recolectados en el campo. En ambos casos surgen problemas de manejo de las poblaciones infestantes, más otros adicionales como la súbita aparición de enemigos naturales que obstaculizan el establecimiento de las poblaciones. En todo caso, esta metodología es más realista que la simulación de daños y más controlable que el daño natural. La cría de diabroticas, cogollero y barrenadores del tallo, para infestar maíz, son buenos ejemplos de esta tecnología aplicada a un solo cultivo.

#### 7.4.5. Experimentación para cuantificar los daños

Cuando el experimentador cuenta con recursos para hacer esta investigación, tan descuidada pero de tanta importancia económica, prácticamente no hay límites a su creatividad.

El diseño de parcelas apareadas es frecuentemente utilizado, aunque a veces estas son subdivididas o se usan diseños más versátiles.

##### 7.4.5.1. Experimentos de campo

Se basan en la investigación a partir de métodos y diseños estadísticos estándar, en los que se aplican las prácticas agrícolas prevaleciente en la región, para los lotes tratados (con plaga) y no tratados (sin plaga). Es preferible aplicar los tratamientos de daño en aquella parte de la región donde se concentra la plaga, y poner los testigos sin daño en donde ésta escasea; pero generalmente el investigador se inclina por hacer todo en el primer sitio, suprimiendo químicamente la plaga en los testigos.

Cuando se dispone de escasos recursos se efectúan estudios en lotes pequeños, de uno a tres surcos, infestados a dos o tres niveles, y controlando las demás variables que puedan surgir y afectar el umbral.

Los estudios de envergadura normalmente se emprenden en varios lugares de una misma región, simultánea o separadamente en el tiempo, según los recursos; pero si son establecidos en un solo lugar, los lotes experimentales se distribuyen, lógicamente, al azar. Los datos de un solo lugar

normalmente son menos variables que los de la región.

#### 7.4.5.2. Experimentos de invernadero y cámara de cría

Con las limitantes de lo artificial y la dificultad de cultivar plantas por largos periodos en condiciones confinadas, este método tiene la ventaja de permitir el control de luz, humedad, temperatura y, con algo más de esfuerzo, el control de agentes bióticos indeseables. Otras ventajas radican en que se pueden excluir insectos que causan daños similares, confundibles con los de la plaga bajo estudio, y en que se pueden realizar en etapas fenológicas totalmente controladas.

Con cierta frecuencia se han utilizado jaulas para estudios de umbral, tanto en campo como en invernadero. Estas sofisticaciones dependen más de los recursos del investigador que de su experiencia.

#### 7.4.5.3. Las variables experimentales

Considerando que las poblaciones plaga cambian de lugar a lugar y de uno a otro años, se recomienda que estos estudios se realicen, *por lo menos, durante tres años consecutivos*.

Tales estudios deben considerar el mayor número posible de variables cuantitativas (índice de crecimiento poblacional de la plaga; índice de crecimiento del daño; fenología del cultivo; efecto de organismos benéficos; efecto de agentes abióticos de control natural, etc., etc.), aparte del daño puro y sus interacciones, a partir de experimentos muy bien controlados. En esta virtud, deben desecharse lo más pronto posible las soluciones provisionales (los umbrales muy empíricos) y las definiciones cualitativas del daño como "leve, medio, alto". Es imprescindible, a la larga, conocer muy bien los mecanismos de alimentación y el comportamiento de la plaga.

Las pérdidas también pueden predecirse a partir de modelos.

#### 7.4.6. Aspectos bioeconómicos del umbral

Centrando la experimentación en dos variables biológicas y una estadística (la densidad poblacional, la pérdida de cosecha, y el diseño experimental), para determinar los umbrales económicos deben tomarse en cuenta los siguientes parámetros:

- índice de crecimiento poblacional;
- índice de crecimiento del daño;
- fenología del cultivo o parte afectada;
- efecto de los organismos benéficos; y
- efecto de los agentes abióticos de control natural.

El énfasis económico debe ponerse en:

- el *valor probable de la cosecha*;
- los *costos de equipo y plaguicidas*; y
- los *costos de aplicación* (combustibles, jornales, protección del personal, etc.).

Es evidente, entonces, que el umbral económico involucra un buen número de variables estrictamente económicas que deben ser conjugadas por economistas, en coordinación con el productor (él debe decidir el riesgo que está dispuesto a correr) y el entomólogo (él debe ser capaz de predecir las alternativas de control en función de su disponibilidad y, en su caso, el manejo toxicológico de los plaguicidas registrados).

LOS ENTOMÓLOGOS COMERCIALES Y "PLAGUEROS" DE TODO EL MUNDO HAN INVENTADO UMBRALES ECONÓMICOS CON EL ÚNICO FIN DE OBLIGAR A LOS PRODUCTORES A APLICAR INSECTICIDAS ANTES DE LO NECESARIO. SUS COMPAÑÍAS LOS OBLIGAN(?) A COMETER ESOS ATENTADOS CONTRA LA ECOLOGÍA. YA VIENE SIENDO TIEMPO DE LEGISLAR AL RESPECTO Y MULTARLOS O ENCARCELARLOS.

El campo de acción de los economistas en las decisiones de control de plagas es, por lo visto, amplio; pero está muy descuidado, debido tal vez a que la brecha decisional entre el cálculo de los costos de control, y el momento de afrontar una plaga, no puede ni debe ser llenada con teoría económica. Por el contrario, debe ser objetiva, basarse en datos económicos reales de escala, y permanentemente actualizados.

El más importante de los aspectos económicos del UE es la definición del *momento de actuar* mediante una acción de combate de plagas (más frecuentemente con insecticidas); ese momento ha sido llamado *umbral de acción* (UA) y teóricamente puede calcularse con la fórmula:

$$UA = \frac{C}{\$TK}$$

donde:

UA, umbral de acción;

C, costo de la medida que se va a asumir;

\$, precio del producto (por tonelada);

T, tonelaje de pérdidas (daño asociado a la población *actual* de insectos)

K, reducción esperada de la población atacante (daño asociado).

Esa fórmula implica mucho trabajo básico, especialmente de muestreo.

En general, el estudio y determinación de cualquier tipo de umbral es, fundamentalmente, trabajo de muestreo de artrópodos. Pero su aplicación debe descansar en consideraciones económicas.



## 8. RESUMEN: CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA HACER MEP

Para poder manejar ecológicamente **una** plaga es imprescindible el conocimiento básico de cómo opera el ecosistema, el agroecosistema y el patosistema; y de cómo interaccionan esos tres niveles ecológicos (Figura 18). En ocasiones esos conocimientos se reducen a pocos factores (preventivos) de control natural, biológico o genético y cultural que combinados, pero oportunamente auxiliados por el control químico, físico, mecánico, químico–conductual (el uso de feromonas y/o aleloquímicos solos o combinados con trampas o insecticidas) o autocida (uso de insectos radioesterilizados, táctica actualmente fuera del alcance del productor individual), funcionan eficiente y económicamente sin que el productor tenga que llegar a abusar de los insecticidas. Cuando se hace fitosanidad sin el conocimiento básico que por definición prescribe el manejo ecológico, no se está manejando a la plaga; se está controlando; y aún así, para que sea control integrado debe conocerse y respetarse el umbral económico.

La carencia de conocimientos respecto a los sistemas mencionados, propicia que casi todos los profesionales de la entomología agrícola trabajen, cuando mejor lo hacen, con métodos de control integrado; no de manejo. Esto no es malo, porque no contando con las bases necesarias del concepto, hacen lo que pueden y lo hacen de la mejor manera posible. Pero sí es malo: a) que ignoren las bases del MEP; b) que a pesar de su ignorancia clamen estarlo realizando; y c) que sus empresas (cuando trabajan para la iniciativa privada), los fuercen o refuercen en esa falsa dirección. Y es peor cuando el ignorante es un investigador que, utilizando su "imagen doctoral", consigue recursos para falsificar una estrategia que no domina por pereza intelectual. Pero es pésimo cuando se trata de profesores que, ignorando su propia ignorancia del MEP, deforman a sus estudiantes "enseñándoles" un supuesto manejo de plagas (¡y hasta "de cultivos"! ) ajeno a los conocimientos básicos imprescindibles, que a continuación se resumen, respecto a esos tres subsistemas.

### 8.1. CONOCIMIENTO DEL ECOSISTEMA

**CLIMA:** Ciclos climáticos y su predictibilidad a mediano plazo. Fotoperiodo, temperaturas, humedades, precipitaciones y nubosidades; sus medias y extremas medias.

**TIEMPO METEOROLÓGICO:** Predictibilidad a corto plazo, en base a una red de estaciones meteorológicas. Frecuencia e intensidad de lloviznas, lluvias, aguaceros, torrentes, granizadas, heladas blanca y negras, sequías, estiajes; etc. Su efecto cuantitativo en cada miembro del patosistema, especialmente la plaga, para saber cuáles son los que resultan *factor clave de control natural abiótico*. Por lo tanto, se debe muestrear el efecto para cuantificarlo.

**SUELO:** Humedad, pH, materia orgánica, nutrimentos, texturas, estructuras, nivel freático; organismos y microorganismos de importancia para el cultivo "X" y la plaga "Y". Su efecto en el cultivo; su papel en cuanto a sitio de hibernación de la plaga.

**VEGETACIÓN NATURAL:** Posibles hospederos alternantes de la plaga y de sus enemigos naturales; posibles sitios de hibernación. Maleza nativa que invade el cultivo y su efecto cuantitativo en cada miembro del patosistema.

**ENEMIGOS NATURALES:** Entomopatógenos, artrópodos, moluscos, batracios, reptiles, aves y mamíferos. Su efecto cuantitativo en la plaga; por lo tanto, muestrear el efecto.

**RESUMEN:** ADAPTABILIDAD DEL CULTIVO "X" AL ECOSISTEMA. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES CLAVE DE CONTROL NATURAL BIÓTICO Y ABIÓTICO DE LA PLAGA "Y". MODELADO DE LO MÁS IMPORTANTE, EN RELACIÓN CON LA PLAGA.

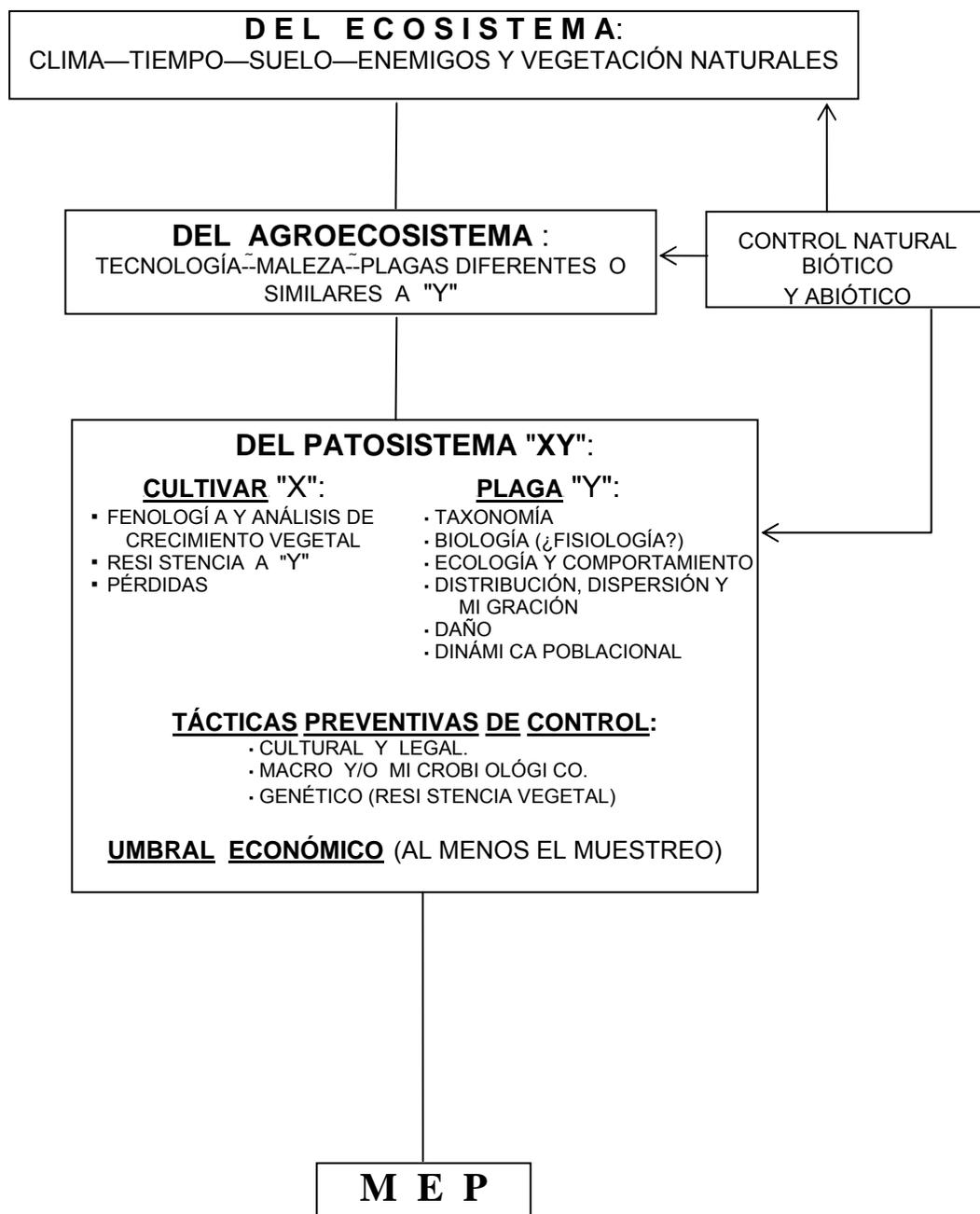


Figura 18. Conocimientos del ecosistema, agroecosistema, patosistema y su control natural, que permiten modelarlos y manejar ecológicamente el patosistema (MEP) a partir de tácticas preventivas que impedirían rebasar el umbral económico.

El control integrado sólo exige conocer el umbral (cuando llegan a tomarlo en cuenta), y gira al rededor del control químico, frecuentemente tomado como única táctica de combate.

## 8.2. CONOCIMIENTO DEL AGROECOSISTEMA

PREPARACIÓN DEL SUELO (tecnología): Barbechos, rastreo, nivelado, surcado. Su efecto

cuantitativo en la plaga "Y". Uso potencial como táctica de control.

CULTIVOS Y ESCARDAS (tecnología): Su efecto cuantitativo en la plaga. Uso potencial.

RIEGO (tecnología): Su efecto cuantitativo en la plaga. Uso potencial.

VARIEDAD Y FORMA DE CULTIVAR (tecnología): Su productividad en condiciones agronómicas óptimas (ausencia de la plaga) y reales. Su resistencia frente a la plaga. Efecto cuantitativo de la densidad y forma de cultivo, en la plaga.

FERTILIZACIÓN (tecnología): Su efecto cuantitativo en la plaga.

COSECHA Y PROFILAXIS (tecnología): El "timing" u oportunidad de la cosecha, para limitar el impacto de la plaga (cuando esta tiene impacto postcosecha).

MALEZA: Su efecto cuantitativo en el cultivo. Su efecto en parasitoides y depredadores de la plaga. Sus tácticas de control (tecnología) y su efecto en la plaga.

PLAGAS DIFERENTES A "Y". Tácticas de control y su impacto en la plaga "Y". Poner énfasis en el estudio de las plagas que pueden "simular" los daños de "Y".

FORMA DE LA PRECIPITACIÓN, VIENTO, Y OTROS FACTORES DE CONTROL NATURAL ABIÓTICO: Su efecto cuantitativo en la plaga. Su potencial de aprovechamiento como control natural. Por lo tanto, muestrear el efecto.

CONTROL NATURAL BIÓTICO: Entomopatógenos, artrópodos, mamíferos, batracios, aves, moluscos, reptiles. Su efecto cuantitativo en la plaga; por lo tanto, muestrear el efecto.

RESUMEN: PRODUCTIVIDAD ÓPTIMA Y REAL DEL CULTIVO, BAJO LABORES CULTURALES ÚTILES AL CONTROL DE LA PLAGA. IDENTIFICACIÓN INEQUÍVOCA DE CADA PATOSISTEMA "XY". CONTROL NATURAL Y MODELOS DE LAS INTERACCIONES MÁS IMPORTANTES DE LA PLAGA "Y".

### 8.2.1. Conocimiento del cultivar "x"

FENOLOGÍA DETALLADA DEL CULTIVO: Especialmente de la(s) parte(s) más íntimamente relacionada(s) con la plaga "Y". Modelos de (análisis del) crecimiento vegetal, reales *versus* óptimos.

CUANTIFICACIÓN DE LAS DEFENSAS GENÉTICAS DEL CULTIVO. Que le confieren resistencia contra "Y".

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS CAUSADAS POR LA PLAGA: Escalas de daño y efecto cuantitativo de la plaga en la producción (basado o no en los modelos de crecimiento). Identificación y cuantificación de pérdidas atribuibles, pero ajenas a la plaga: Deslindar los daños que causan otros agentes bióticos o abióticos, que podrían ser erróneamente atribuidos a la plaga "Y".

RESUMEN: PÉRDIDAS POTENCIALES DE COSECHA ATRIBUIBLES A LA PLAGA "Y", EN CONTEXTO FENOLÓGICO. RESISTENCIA ESPECÍFICA.

### 8.2.2. Conocimiento de la plaga "Y"

TAXONOMÍA: Casi toda plaga tiene relaciones específicas de naturaleza coevolutiva con su hospedante; para poder manejar ecológicamente un patosistema, se deben conocer las especies que lo integran.

BIOLOGÍA: Debe conocerse a detalle, a temperatura constante, pero también a las temperaturas variables de su hábitat natural (calendario fisiológico en días grado o unidades calor), y en el contexto fenológico del hospedante. En ocasiones hay que conocer aspectos de la fisiología de la plaga, cuando resultan relevantes para su control.

**ECOLOGÍA Y COMPORTAMIENTO:** Las constantes y variables ambientales, bióticas y abióticas, tienen influencia en la conducta alimentaria, reproductiva, de dispersión o migración de las plagas; por lo tanto deben ser conocidas a fondo. Para manejar ecológicamente una plaga debe predecirse "lo que hará" frente a las contingencias ambientales, sean bióticas o abióticas.

**DISTRIBUCIÓN, DISPERSIÓN Y MIGRACIÓN:** Debe saberse, en todo tiempo, en qué parte del agroecosistema se localiza la plaga, pero también su distribución dentro de la planta. "En todo tiempo" incluye los lugares de dispersión a hospedantes alternantes; y su migración, cuando este fenómeno está genéticamente programado.

**DAÑO:** Consumo individual y poblacional de la plaga, en base o no a los modelos de crecimiento vegetativo. Sus efectos en la producción real *versus* óptima.

**DINÁMICA DE LAS POBLACIONES:** Debe conocerse la mortandad natural en la población de cada estado biológico de la plaga (causa); la mortalidad atribuible a cada fenómeno meteorológico en esas poblaciones (causa); la atribuible a cada agente de control natural biótico (causa); . La herramienta utilizable para esto es la *tabla de vida*. La fluctuación poblacional de una especie, sin estudios que identifiquen el impacto de cada una de ellas, no es su "dinámica poblacional"; es el efecto acumulado, en el tiempo, de todas las causas mencionadas. Por lo tanto, la dinámica se refiere a las causas (cuantificadas) del cambio, y la fluctuación se refiere al efecto global. Causas adicionales son la dispersión y la migración de poblaciones.

**RESUMEN:** TODO EL CONOCIMIENTO DE LA PLAGA, EN CONTEXTO FENOLÓGICO DEL CULTIVAR.

### 8.3. CONOCIMIENTO DEL PATOSISTEMA (TÁCTICAS PREVENTIVAS DE CONTROL)

**CONTROL CULTURAL:** Adopción, como táctica fitosanitaria, de las labores culturales que resulten útiles al control de la plaga. Investigación y establecimiento de tácticas culturales adicionales, como la densidad de siembra, la rotación de cultivos y los cultivos trampa.

**CONTROL LEGAL:** Es esencial prevenir la introducción y dispersión de las plagas mediante medidas cuarentenarias; pero con cierta frecuencia resulta ventajoso legislar contra plagas ya establecidas (prohibición de socas, imposición de desvares, barbechos sanitarios, etc.). El uso de medios mecánicos (desvares), legalmente impuestos para abatir poblaciones plaga, no es control mecánico (ni cultural); es legal, aunque los procedimientos sean mecánicos o "culturales".

**CONTROL GENÉTICO Y BIOLÓGICO:** Es recomendable que en todo patosistema, en principio, se aplique el control genético (resistencia vegetal, asociación de cultivos) y el biológico (macro y micro). Ésto, junto con la determinación de no recurrir a los insecticidas como primera o única alternativa de control (idealmente difiriendo lo más posible la primera aplicación de ellos), contribuye a aumentar la heterogeneidad del agroecosistema y su estabilidad, lo que redundará en la disminución del uso de insecticidas. La simplificación del agroecosistema, implícita en el abuso de los insecticidas, es el causal más importante de la "adicción" a ellos.

Es muy importante contar, para cada parasitoide y depredador, con el mismo conocimiento que se tiene de cada plaga; a saber, su:

Taxonomía.

Biología (¿fisiología?).

Ecología y comportamiento.

Distribución y dispersión.

Factores de control natural abiótico y biótico: (el efecto cuantitativo de esos factores en el control natural de hiperparásitos, depredadores y entomopatógenos de los enemigos naturales de la plaga).

Migración.

Capacidad de consumo.

Dinámica poblacional.

En cuanto a los entomopatógenos, deberán conocerse las variables que procedan.

**RESUMEN:** ESTABLECER UN CONTROL DE LA PLAGA, MEDIANTE TÁCTICAS PREVENTIVAS (CONTROL LEGAL, CULTURAL, BIOLÓGICO-MICROBIOLÓGICO Y RV), PREVIAS AL USO DE TÁCTICAS QUE PUEDEN COMPLICAR Y ENCARECER EL CONTROL (CONTROL FÍSICO, MECÁNICO, AUTOCIDA); PERO MÁS QUE NADA, DISEÑADO PARA DIFERIR AL MÁXIMO LA DECISIÓN DE APLICAR INSECTICIDAS.

#### 8.4. CONOCIMIENTO DEL UMBRAL ECONÓMICO

El umbral económico que justifica aplicar una táctica de control adicional a las preventivas, depende no solo del daño y las consecuentes pérdidas de cosecha; depende también de los costos de aplicación, insumos, obra de mano, precios nacionales e internacionales de la cosecha, transporte, almacenamiento y mercadeo. Es todo un subsistema que, dependiendo de su complejidad, puede ser modelado. Con el tiempo y la mayor evolución tecnológica y mercadotécnica, su definición específica para adoptar o no una táctica de control, demandará la opinión de economistas, y no únicamente la del entomólogo. El productor deberá siempre tomar la decisión final, a partir de la opinión de los técnicos, ya que es su economía la que está en juego.

**RESUMEN:** DESPUÉS DE CASI CUARENTA AÑOS DE "HABERLO DEFINIDO", ES UN CONCEPTO RARA VEZ APLICADO POR EL AGRICULTOR MEDIO, "GRACIAS" A LA INDUSTRIA DE LOS INSECTICIDAS QUE CON FRECUENCIA LO FALSIFICA; GRACIAS TAMBIÉN A LA FALTA DE CONTROL TÉCNICO DE LOS GOBIERNOS, QUE NO HAN ESTABLECIDO LAS NORMAS QUE HAGAN OBLIGATORIA SU DEFINICIÓN Y OBSERVANCIA; Y GRACIAS A LAS INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN QUE LO HAN POSTERGADO. LAS TRES INSTANCIAS TIENEN UNA EXCUSA VERDADERA Y CIERTA: POCOS INVESTIGADORES SE HAN DEDICADO AL MUESTREO DE POBLACIONES PLAGA PARA FINES ECONÓMICOS.

#### 8.5. CONOCIMIENTO DE LAS TÁCTICAS CURATIVAS DE CONTROL INTEGRADO

Nadie que esté dedicado a la agricultura ignora las tácticas curativas aplicables en su región (excepto el control autocida), aunque rara vez eche mano del control físico, mecánico, cultural y genético. Casi todos dependen fundamentalmente del químico en cualquiera de sus modalidades y algunas veces lo combinan con el biológico. Por esto no vale la pena abundar en ellas. Únicamente deben asumirse cuando, después de una secuencia de muestreo, quede demostrado que la plaga irreversiblemente *alcanzará* el umbral económico, y que ningún agente de control natural o táctica preventiva, será capaz de evitarlo. En ocasiones un fenómeno meteorológico clave altamente probable, según los registros meteorológicos (por ejemplo un aguacero), puede ahorrar los gastos de aplicación de alguna táctica de control; por tanto hay que consultar los registros para aprender a utilizar esos fenómenos.

No siempre será posible manejar una plaga; en ocasiones tendrá que ser controlada a partir de una o más tácticas, integradas o no; sin embargo, jamás debe renunciarse a hacerlo a partir del umbral económico.

¿Qué tácticas curativas se deben asumir? Las más eficientes, especialmente desde el punto de vista ecológico, no las más eficaces; por lo tanto deberá conocerse su posible impacto ecológico. El

manejo ecológico de plagas no sólo es específico para cada patosistema, también lo es para cada localidad, y para cada ciclo del cultivo; por esa razón, lo que fue bueno para controlar la plaga "Y" del cultivo "X" en un lugar, no necesariamente va a serlo en el lugar vecino, e incluso puede no funcionar en el mismo lugar durante el próximo ciclo. No admite recetas permanentes como las "Pest management guidelines" de la Universidad de California, porque la ecología cambia de estación a estación y de lugar a lugar. Sin embargo, habrá lugares ecológicamente estables donde una "receta de cocina" pueda funcionar incluso por años (agroecosistemas perennes), aunque en ocasiones falle, y tenga que ser *ecológicamente* actualizada.

Tal vez para el año 2050 el manejo ecológico de patosistemas estará funcionando en un marco de beneficio socio-ecológico que privilegie a las poblaciones, y no a los individuos. Ese marco supervisará estrechamente a los productores en cuanto al uso de insecticidas no discriminantes, suponiendo que se les permita utilizarlos con la "libertad" actual. Esto último lo dudo, como dudo la futura existencia de "plagueros". Más bien me inclino a creer que todas las estrategias y tácticas de control estarán, por ley, en manos de personas físicas y morales científicamente entrenadas en el manejo ecológico de patosistemas, para garantizar la salvaguarda de los ecosistemas, que son el recurso fundamental de supervivencia y sostenibilidad de la especie humana.

Desde esa perspectiva, además de un umbral económico que salvaguarde la economía del productor, deberán existir umbrales ecológicos que salvaguarden la salud humana y ambiental impidiendo el abuso de todos los insecticidas, y el de ciertos insectistáticos.

## REFERENCIAS

- Nota:** Para facilitar a los lectores la búsqueda de temas específicos en la literatura, el objetivo central de las presentes Referencias también aparece en el Índice.
- Abel, G.H. 1961. Response of soybeans to dates of planting in the Imperial Valley of California. *Agron. J.* 53: 95-98.
- Adkisson, P.L. 1964. Internal clocks and insect diapause. *Science* 154: 234-41.
- Adkisson, P.L. 1972. Use of cultural practices in insect pest management. *In: Implementing practical pest management strategies. Procc. Nat. Exten. Insect Pest Manag. Workshop. USDA Extension Service-Purdue University.*
- Adkisson, P.L. 1977. Statement presented at Integrated Pest Management Hearings before the Subcommittee on Agric. Research and General Legislation of the Committee in Agriculture, Nutrition and Forestry, US Senate. p 176-178. 95 Congress, 1st Session. Oct 31- Nov 1.
- Alcock, J. 1975. *Animal behavior.* Sinauer, Massachusetts.
- Alghali, A.M. 1993. The effects of some agrometeorological factors on fluctuations of the legume pod borer, *Maruca testulalis* Geyer (Lepidoptera: Pyralidae), on two cowpea varieties in Nigeria. *Insect Science and its Application* 14(1): 55-59.
- Altieri, A.M. 1987. *Agroecology. The scientific basis of alternative agriculture.* Westview. Boulder; IT Publications, London.
- De Bach, P. 1958. The role of weather and entomophagous species in the natural control of insect populations. *Jour. Econ. Entomol.* 51: 474-84.
- De Bach, P. 1974. *Biological control by natural enemies.* Cambridge Univ. Press, London.
- Dent, D. 1997. Integrated pest management and microbial insecticides. Microbial insecticides: novelty or necessity? Proceedings of a Symposium held at the University of Warwick, Coventry, UK, 127-138.
- Dethier, V.G. 1947. *Chemical insect attractants and repellents.* Blakiston, Philadelphia.
- Dibble, J.E.; W.J. Bentley *et al.* 1995. Cucurbits: pest management guidelines. UCPMG Publication No. 27, 57 pp.
- Ehrlich, P.R. 1978. Prefacio. *In: La conspiración de los plaguicidas; de R. van den Bosch, autor. . University of California, Berkley. Doubleday, NY.*
- Emmel, T.C. 1973. *Ecology and population biology.* W.W. Norton, NY.
- Ewing, K.P. and E.E. Ivy. 1943. Some factors influencing bollworm populations and damage. *Jour. Econ. Entomol.* 36: 602-6.
- Felland, C.M.; J.W. Travis, *et al.* 1997a. Validation of site specific weather data for insect phenology and disease development in Pennsylvania apple orchards. *Pennsylvania Fruit News* 77(2): 10-17.
- Fletcher, R.K. and F.I. Thomas. 1943. Natural control of eggs and first instar larvae of *Heliothis armigera*. *Jour. Econ. Entomol.* 36: 557-60.
- Frank, P.W. 1960. Prediction of population growth form in *Daphnia pulex* cultures. *Am. Nat.* 94: 357-72.
- Galvan, F.; A. Marin *et al.* 1995. Integrated pest management of the Mexican stink bug in El Bajío, México. *Manejo Integrado de Plagas* 35: 33-39.
- García, S.C. and K.F. Byerly. 1986. Enfoque de investigación sobre manejo integrado de problemas fitosanitarios. Memoria del XII Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. I.A.P., Guadalajara, Jal. I.A.P. A.C., México.
- Gasser, R. 1966. Use of pesticides in selective manners. *Proc. FAO Symp. Integrated Pest Control* 2: 109-13.

- Geier, P.W. 1966. Management of insect pests. *Annu. Rev. Entomol.* 11: 471-90.
- Gonzales, D. 1970. Sampling as a basis for pest management strategies. Proc. Tall Timbers Conference on Ecological Animal Control by Habitat management. No 2, Tallahassee, Florida.
- Good, J.M. 1977a. Integrated pest management—a look to the future. US Dep. Agr. Ext. Service. ANR-5-21(4/77).
- Graves, J.B.; J.A. Ottea, *et al.* 1993. Insecticide resistance management: an integral part of IPM in cotton. *Louisiana Agriculture* 36(1): 3-5.
- Griffiths, T.J. 1951. Possibilities of better citrus insect control through the study of the ecological effects of spray programs. *Jour. Econ. Entomol.* 44: 464-68.
- Gutierrez, A.P. 1978. Applying systems analysis to integrated control. *Calif. Agr.* 32(2): 11.
- Hagen, K.S.; R.V.D. Bosch and D.L. Dahlsten. 1971. The importance of naturally occurring biological control in the western United States. *In: C.B. Huffaker (Ed.): Biological Control.* Plenum, N.Y.
- Harcourt, D.G. 1970. Crop life tables as a pest management tool. *Can. Entom.* 102(8): 30-39.
- Haseman, L. 1946. Influence of soil minerals on insects. *Jour. Econ. Entomol.* 39: 8-11.
- Headley, J.C. 1972. Defining the economic threshold. *In: Pest control: strategies for the future.* Nat Acad. Sci. Washington D.C.
- Herbert, D.A. 1995. Integrated pest management systems: back to basics to overcome adoption obstacles. *Jour. of Agric. Entom.* 12(4): 203-210.
- Hernández, X.E. (Ed.). 1977. *Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola.* C.P., Chapingo, Méx. México.
- Horber, E. 1980. Types and classification of resistance. *In: Maxwell, F.G. and P.R. Jennings (Eds.). Breeding plants resistant to insects.* Wiley, N.Y.
- Huffaker, C.B.; R.L. Rabb and J.A. Logan. 1977. Some aspects of population dynamics relative to augmentation of natural enemy action. *In: Biological Control of Insects by Augmentation of Natural Enemies,* Ridgway R.L. and S.D. Vinson (Eds.). Plenum, N.Y.
- Huffaker, C.B. *et al.* 1971. The natural enemy component in natural control and the theory of biological control. *In: Biological control,* Huffaker, C.B. (Ed. ). Plenum, N.Y.
- Huffaker, C.B. 1978a. The future of integrated pest management. *J. Environ. Prot. Agency* 4(3): 37-39.
- Huffaker, C.B. 1978b. Ecological management of pest systems. p 312-342. *In: Challenging biological problems—directions toward their solution,* J.A. Behnke (Ed). . Oxford Univ., NY.
- Huffaker, C.B.; C.A. Shoemaker and A.P. Gutierrez. 1978. Current status, urgent needs and future prospects of integrated pest management. p 237-259; *In: Pest control strategies,* E.H. Smith and D. Pimentel (Eds.). Academic, N.Y.
- Hughes, R.D. 1963. Population dynamics of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L). *Jour. Animal. Ecol.* 32: 393-424.
- Jackman, J.A. *et al.* 1979. The role of sampling in future pest management. *In: Economic thresholds and sampling of Heliothis species: on cotton corn, soybean and other host plants.* Southern cooperative series bull. 231. Texas A&M Univ. College Station, Texas 77843.
- Johnson, C.G. 1963. The aerial migration of insects. *Scientific American,* December, 2-8.
- Kalton, R.R.; C.R. Wever and J.C. Eldredge. 1949. The effect of injury simulating hail damage to soybeans. *Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull.* 359: 736-96.
- Karlson, P. and M. Luescher. 1959. Pheromones: A new term for a class of biologically active substances. *Nature* 183: 55-56.
- Keeton, W.T. 1967. *Biological science.* W.W. Norton, N.Y.

- Knipling, E.F. 1979. The basic principles of insect population suppression and management. Agric. Handbook No. 512; USDA, Washington, D.C.
- Kogan, M. 1965. Evaluation of economic injury levels for soybean insect pests. World Soybean Research, September 1976: 515-533.
- Kogan, M. 1998. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. Annu. Rev. Entomol. 43: 243-270.
- Lagunes, T.A. y J.C. Rodríguez M. 1989. Grupos toxicológicos de insecticidas y acaricidas. Los mecanismos de resistencia como base para el manejo de insecticidas y acaricidas. Centro de Entomología y Acarología. Colegio de Postgraduados, Chapingo; Montecillo, Méx., México.
- Lamp, W.O. and L.M. Zhao. 1993. Prediction and manipulation of movement by polyphagous, highly mobile pests. Jour. of Agric. Entom. 10(4): 267-281.
- Leigh, T.F.; D. Gonzalez and R.V.D. Bosch. 1970. A sampling device for estimating absolute insect populations on cotton. Jour. Econ. Entomol. 63: 1704-6.
- Lin, B.H.; A. Vandeman, *et al.* 1994. Integrated pest management: how far have we come? Agricultural Outlook (207): 24-28.
- Lingren, P.D.; R.L. Ridgway and S.L. Jones. 1968. Consumption by several common arthropod predators of eggs and larvae of two *Heliothis* species that attack cotton. Ann. Entomol. Soc. Amer. 61: 613-18.
- Lopez, J.D. 1976. The role of host and host phenology in the population dynamics of the boll worm *Heliothis zea* (Boddie) in the Brazos Valley of Texas. Ph. D. Dissertation. Texas A&M Univ. College Station, Texas.
- Luck, R.F.; R.V.D. Bosch and R. Garcia. 1977. Chemical insect control— a troubled pest management strategy. BioScience 27: 606-11.
- Luckman, W.H. and R.L. Metcalf. 1975. The pest management concept. *In*: Introduction to Insect pest management, p 3-35. Wiley, N.Y.
- Mathews, R.W. and J.R. Mathews. 1978. Insect behavior. Wiley, London.
- Maxwell, F.G. 1972. Use of plant resistance in pest control. *In*: Implementing practical pest management strategies. Procc. Nat. Exten. Insect Pest Manag. Workshop. USDA Extension Service-Purdue University.
- Mayr, E. 1971. Populations, species and evolution. Harvard Univ. Press, Harvard.
- Menke, W.W. 1973. A computer simulation model: The velvet bean caterpillar in the soybean ecosystem. Fla. Entomol. 59: 92-101.
- Messenger, P.S. 1974. Bioclimatology and prediction of population trends. *In*: Procc. Conf. Ecol. in relation to plant pest control. FAO, Rome.
- Morris, R.F. 1960. Sampling insect populations. Annu. Rev. Entomol. 5: 243-64.
- Morris, R.F. and C.A. Miller. 1954. The development of life tables for the spruce budworm. Can. Jour. Zool. 32: 283-301.
- Mumford, J.D. y Norton G.A. 1984. Economics of decision making in pest management. Annu. Rev. Entomol. 29: 157-74.
- Newsom, L.D. 1967. Consequences of insecticide use on non target organisms. Annu. Rev. Entomol. 12: 257-86.
- Newsom, L.D. 1970. The end of an era and future prospects for insect control. Proc. Tall Timbers Conf. on Ecological animal Control by Animal Management. No 2, Tallahassee Florida.
- Norton, G.A. 1976. Analysis of decision making in crop protection. Agro-Ecosystems 3: 27-44
- Odum, E. 1969. Strategy of ecosystem development. Science 164: 262-270.
- Odum, E. 1977. Ecología. C.E.C.S.A., México (14aba impresión).
- Ortman, E.E. and D.C. Peters. 1980. Introduction. *In*: Maxwell, F.G and P.R. Jennings (Eds.). Breeding plants resistant to insects. Wiley, N.Y.

- Pacheco, F.M. 1978. Procedimiento para transformar las poblaciones de insectos a índices. CIANO-INIA. Cd. Obregón, Son. México.
- Painter, R.H. 1951. Insect resistance in crop plants. The Univ. Press of Kansas, Lawrence and London.
- Phillips, W.J. and G.W. Barber. 1931. The value of husk protection to corn ears in limiting corn earworm injury. Virginia Agr. Exp. Stn. Tech. Bull. 43: 1-24.
- Phillips, W.J. and G.W. Barber. 1931. The value of husk protection to corn ears in limiting corn earworm injury. Virginia Agr. Exp. Stn. Tech. Bull. 43: 1-24.
- Pickett, A.D. *et al.* 1946. The influence of spray programs on the fauna of apple orchards in Nova Scotia. An appraisal of the problem and a method of approach. Sci. Agr. 26: 590-600.
- Pimentel, D.; D. Chant, *et al.* 1965. Improved pest control practices in restoring the quality of our environment (Appendix XII). Report of the Environ. Pollution Panel, pp 227-91. President's Science Advisory Committee.
- Pitre, H.N.; W.J. Mistic and C.G. Lincoln. 1979. Economic thresholds: Concepts and techniques. *In: Economic thresholds and sampling of *Heliothis* species: on cotton corn, soybean and other host plants.* Southern cooperative series bull. 231. Texas A&M Univ. College Station, Texas 77843.
- Poinar, G.O. 1972. Nematodes as facultative parasites of insects. Annu. Rev. Entomol. 17: 103-22.
- Quezada, J.R. 1989. La manipulación y aumento de los enemigos naturales. *In: Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura* .( Andrews, K.L. y J.R. Quezada, Eds.). El Zamorano. Honduras, Centro América.
- Rabb, R.L. and F.E. Guthrie. 1970. Concepts of pest management. Proc. of a conference held at North Carolina State University.
- Rabb, R.L. 1972. Principles and concepts of pest management. *In: Implementing practical pest management strategies.* Procc. Nat. Exten. Insect Pest Manag. Workshop. USDA Extension Service-Purdue University.
- Rabb, R.L. G.K. De Foliart and G.G. Kennedy. 1984. An ecological approach to managing insect populations. *In: Ecological entomology* (Huffaker, C.B. and R.L. Rabb, Eds.). Wiley, London.
- Rabinovich, J.E. 1980. Introducción a la ecología de poblaciones animales. C.E.C.S.A., México.
- Ramirez, O.A. and J.D. Mumford. 1995. The role of public policy in implementing IPM. Crop Protection 14(7): 565-572.
- Reid, J. 1975. Larval development and consumption of foliage by the velvet bean caterpillar, *Anticarsia gemmatilis* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) in the laboratory. Ph. D Dissertation, Univ. of Florida, Gainesville.
- Roberts, D.W. and R.R. Granados (Eds.). 1989. Biotechnology, biological pesticides and novel plant-pest resistance for insect pest management. Boyce Thompson Institute for Plant Research at Cornell University. Ithaca, N.Y.
- Robinson, R.A. 1989. Manejo del hospedante en patosistemas agrícolas. (R. García, Trad.). C.P. Montecillo, Tezcoco, Méx., México.
- Robinson, R.A. 2000. Retorno a la resistencia: Fitomejoramiento para depender menos de los plaguicidas. (F. Romero, Trad.). Intituto de Fitosanidad del Colegio de Postgraduados. Montecillo, Tezcoco, Méx.; México.
- Romero, R.F. 2000. Resistencia vegetal a insectos y ácaros: los conceptos y las bases Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx.; México.
- Romero, R.F. *et al.* 1982. Plan Nacional Fitosanitario (de manejo integrado de plagas). 1981-82. DGSV, SARH; México.
- Ruesink, W.G. 1976. Status of the systems approach to pest management. Annu. Rev. Entomol. 21: 27-44.

- Salomon, M.E. 1973. Ecology in relation to the management of insects. Insects: studies in population management. *In: Population management and integrated control* (P.W. Geier, L.R. Clarck, D.J. Anderson & H.A. Nix, Eds.): 14th Int. Congr. Entomol. Camberra, 1972.
- Serrano, C.L. 1984. Introducción al manejo integrado de plagas. *In: Curso sobre manejo integrado de plagas*. IICA-San. Veg. Dir. Def. Agropec., Ministerio de Agr. y Gan. El Salvador, C.A.
- Schneider, D. 1969. Insect olfaction: deciphering system for chemical messages. *Science* 163: 1031-37.
- Schotman, C. and L.I. Lacayo. 1989. El control natural. *In: Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura*. (Andrews, K.L. y J.R. Quezada, Eds.). El Zamorano. Honduras, Centro América.
- Shelford, V.E. 1927. An experimental investigation of the relations of the codling moth to weather and climate. *Bull. Ill. Nat. Hist. Survey* 16: 311-440
- Shepard, M. 1980. Chapter 4. Sequential sampling plans for soybean arthropods. *In: Sampling methods in soybean entomology* (Kogan, M. and D.C. Herzog, Eds.). Springer-Verlag, N.Y.
- Shorey, H.H. and J.J. McKelvey. (Eds.). 1976. Chemical control of insect behavior. Theory and application. Wiley, N.Y.
- Slater, P.J.B. 1991. Introducción a la etología. (F. Vallespinos y M. Serrano Trads.). Conaculta y Grijalvo, México.
- Slobodkin, L.B. 1954. Population dynamics in *Daphnia obtusa* Kurz. *Ecol. Monogr.* 24: 69-89.
- Smith, H.S. 1935. The role of biotic factors in the determination of population densities. *Jour. Econ. Entomol.* 28: 873-98.
- Smith, R.F. 1962. Principles of integrated control. *Proc. N. Cent. Br. Entomol. Soc. Amer.* Vol. 17.
- Smith, R.F. 1969. The importance of economic injury levels in the development of integrated pest control programs. *Qual. Plant Mater. Veg.* 17(2): 81-92.
- Smith, R.F. and R.V.D. Bosch. 1967. Integrated control. p 295-340. *In: Pest control-biological, physical, and selected chemical methods* (W.W. Kilgore and R.L. Doutt Eds.). Academic, N.Y.
- Smith, R.F. and H.T. Reynolds. 1966. Principles, definitions and scope of integrated pest control. *Proc. of the FAO Symp. on Integrated Pest Control* 1: 11-17.
- Smith, R.F.; J.L. Apple and D.G. Botrell. 1976. The origins of integrated pest management concepts for agricultural crops. *In: Pest control-biological, physical and selected chemical methods* (J.L. Apple and R.F. Smith Eds.). Academic, N.Y.
- Southwood, T.R.E. 1971. Ecological methods. Chapman and Hall, London.
- Southwood, T.R.E. and M.J. Way. 1970. Ecological background to pest management. *In: Concepts of Pest Management* (R.L. Rabb and F.E. Guthrie Eds.). NC State Univ.
- Steiner, L.F. 1952. Methyl eugenol as an attractant for oriental fruit fly. *Jour. Econ. Entomol.* 45: 241-48.
- Steinhaus, E.A. 1947. Insect microbiology. Comstock, Ithaca.
- Steinhaus, E.A. 1949. Principles of insect pathology. McGraw Hill, N.Y.
- Steinhaus, E.A. 1956. Microbial control: the emergence of an idea. *Hilgardia* 26: 107-59.
- Stern, V.M. 1966. Significance of the economic threshold in integrated pest control. *Proc. FAO Symposium on integrated pest control*. Rome.
- Stern, V.M. 1973. Economic thresholds. *Annu. Rev. Entomol.* 18: 259-280.
- Stern, V.M. and R.V.D. Bosch. 1959. The integration of chemical and biological control on the spotted alfalfa aphid. Field experiments on the effects of insecticides. *Hilgardia* 29(2): 103-30.
- Stern, V.M.; R.F. Smith, *et al.* 1959. The integrated control concept. *Hilgardia* 29: 81-101.
- Sutton, D.B. and N.P. Harmon. 1979. Fundamentos de ecología. Serie instrucción programada. LIMUSA, México.

- Talerico, R.L. and R.C. Chapman. 1970. Sequan. A computer program for sequential analysis. USDA For. Serv. Res. Note NE-116. 1-16.
- Teng, P.S. 1980. Crop loss assessment, Proceedings of Stackman Commemorative Symposium. Misc. Pub. 7, Univ. Of Minnesota Agric. Exp. Stat; St. Paul, Minnesota.
- Thomas, J.G. (Chairman). 1972. Implementing practical pest management strategies. Procc. Nat. Exten. Insect Pest Manag. Workshop. USDA Extension Service-Purdue University.
- Tumala, R.L. and D.L. Haynes and B.A. Croft (Eds.). 1976. Modeling for pest management: Concepts, techniques, and applications. 2nd USA/USSR Symposium. Michigan State Univ. East Lansing.
- Turner, R. 1941. The Great Cultural Traditions. The foundations of Civilization. (Las grandes culturas de la humanidad). McGraw-Hill, N.Y.; Fondo de Cultura Económica, México.
- van den Bosch, R. 1978. La conspiración de los plaguicidas. University of California, Berkley. Doubleday, N.Y.
- van den Bosch, R. and V.M. Stern. 1962. The integration of chemical and biological control of arthropod pests. *Annu. Rev. Entomol.* 7: 367-86.
- van der Graff, N.A. 1981. Increasing the reliability of crop loss information: the use of indirect data. *In: Crop loss assessment methods; Supplement 3., L. Chiarappa Ed. FAO-CAB, Slough, England.*
- van Emden, H.F. 1987. Cultural methods: the plant. *In: Burn, A.J.; T.H. Coaker and P.C. Jepson (Eds.) Integrated pest management. Academic, London.*
- Vaughan, M.A. 1989. Transferencia de programas de manejo integrado de plagas. *In Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura. (Andrews, K.L. y J.R. Quezada, Eds.). El Zamorano. Honduras, Centro América.*
- Vega, F.E. and J. Trujillo. 1996. Protección de cultivos contra plagas insectiles. *Ecología aplicada a la agricultura (J. Trujillo et al., Eds.). Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.*
- Velazco, H.; F. Romero, *et al.* 1968. Investigaciones sobre la mosca pinta de los pastos. V Informe del Depto de Entomología, CIASE, INIA: SAG, México.
- Velazco, H.; F. Romero, *et al.* 1969. La mosca pinta o "salivazo". Plaga de los pastizales en la costa tropical del Golfo de México. *FITÓFILO* 62, DGSV; SARH, México.
- Vite, J. 1970. Pest management systems using synthetic pheromones. *Boyce Thompson Inst. Plant Res.* 24(13): 343-50.
- von Bertalanffy, L. 1976. Teoría general de los sistemas: Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. Fondo de Cultura Económica, México.
- Walker, P.T. 1983. Crop losses: the need to quantify the effects of pests, diseases and weeds on agricultural production: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 9: 119-58.
- Walker, P.T. 1987. Losses in yield due to pests in tropical crops and their value in policy decision making. *Insect Sci. Appl.* 8:665-71.
- Waters, W.E. 1955. Sequential sampling in forest insect surveys. *Forest Sci.* 1: 68-79.
- Watson, J.R. 1916. Life history of the velvet bean caterpillar. *Jour. Econ. Entomol.* 9: 521-28.
- Watt, K.E.F. 1970. The systems point of view in pest management. *In: R.L. Rabb and F.E. Guthrie (Eds.), Concepts of pest management. NC State Univ.*
- Watt, K.E.F. 1963. Mathematical population models for five agricultural crop pests. *Mem. Ent. Soc. Canada* 32: 83-91.
- Wilson, E.O. and W.H. Bossert. 1971. A primer of population biology. Sinauer, Sunderland, Mass.
- Wilhem, S. 1976. The agroecosystem: A simplified plant community. *In: Integrated pest management (Apple, J.L. and R.F. Smith, Eds.). Plenum, London.*
- Williams, G.C. 1974. Adaptation and natural selection. A critic of some current evolutionary thought. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.

- Winburn, T.F. and R.H. Painter. 1932. Insect enemies of the corn worm. Jour. Kansas Entomol. Soc. 5: 1-28.
- Wright, D.P. 1967. Antifeedants. p 287-93, *In: Pest control: Biological, physical, and selected chemical methods.* W.W. Kilgore and L. Douth (Eds.). Academic, N.Y.
- Zadoks, J.C. 1981. Crop losses today, profit tomorrow: an approach to quantifying production constraints and to measuring progress. *In: Crop loss assessment methods; Supplement 3;* L. Chiarappa, Ed. FAO-CAB. Rome.

NOTA IMPORTANTE: De la literatura que aquí se presenta (y según el concepto desarrollado en este libro; a saber: que no está practicando el MEP quien no conoce sus **bases** –el control natural, y la dinámica de poblaciones y el umbral económico–), muchos títulos NO tienen que ver con el concepto de MIP; son falsificaciones producto de la ignorancia o la mala fe. Lo mismo sucede con más del 90% de los títulos de libros y artículos que aparecen en los índices bibliográficos internacionales refiriéndose al MIP: sus autores ignoran lo agroecológico y lo sistemático, además de ignorar las **bases**.



**A**

Academia Nacional de Ciencia de los EUA  
(NAS), 2, 8  
 agricultura  
   origen, 95  
 agroecología, 2, 88, 90  
 agroecosistemas  
   clasificación, 29  
 alfalfa, 95  
 algodónero, 28, 92  
 alomonas  
   antialimentarios, 96  
 Amaya, A., 5  
 ambientalismo  
   origen, 25  
 ambiente, 92  
*Anagyrus antoninae*, 59  
 análisis factorial, 14  
 anarquía biológica, 7  
 antibiosis, 69  
 antixenosis, 69  
*Antonina graminis*, 59  
 artrópodos  
   conocimientos básico al MEP, 85  
 autoecología, 22, 53  
*Azadirachta indica*, 73

**B**

Bates, M., 27  
 biocenosis, 22  
 biomas, 19  
   modificación, 27  
 biomasa, 21  
 biósfera, 19  
   degradación, 24  
*Biston betularia*, 23  
 Bourlag, N., 2  
 Bujanos, M.R., 5

**C**

caña de azúcar, 28  
 capacidad ambiental, 34  
 Carson, R., 8, 24  
 Carter, J., 4, 8, 12

**ÍNDICE**

Castilla, Á., 5  
*Ceratitis capitata*, 54  
 cibernética, 14  
   y MIP, 15  
 ciclos  
   biológico, 51  
   circadiano, 28  
   temporales, 28  
   ecológicos, 21  
 CIP  
   bases, 90  
   cítricos  
   conceptos, 94, 95  
   definición, 7  
   sistema de, 8  
   tácticas de combate, 86  
   umbral, 94  
 civilización  
   origen, 27  
 Claverán, R., 5  
 CN, control natural  
   abiótico, 62  
   bacterias, 65  
   bases, 62  
   biótico, 63  
 Coleoptera, 66  
 depredadores, 66  
 factores bióticos, 63  
 factores clave, 70  
 factores físicos, 62  
 factores mecánicos, 62  
 factores meteorológicos, 62  
 factores químicos, 62  
 hongos, 64  
 Hymenoptera, 67  
 microbiológico  
   ventajas, 65  
 nematodos, 64  
 Neuroptera, 66  
 no artrópodos, 67  
 parasitoides, 67  
 Phytoseiidae, 66  
 predicción de plagas, 70  
 protozoarios, 64  
 regresión lineal de factores clave, 70  
 virus, 64

y niveles tróficos, 67  
 y reproducción de parasitoides, 67  
 y tablas de vida, 69  
*Cochliomya hominivorax*, 54, 57  
 coeficiente de variación, 42  
 coevolución, 22, 51, 61, 62, 68  
 combate  
   químico, 9  
 competencia, 32  
   interespecífica, 68  
   intraespecífica, 68  
 comportamiento, 54, 88, 91, 94  
 comunidad, 22, 33  
 contaminantes, 23  
 control  
   autocida, 82  
   biológico, 88  
   cultural, 88  
   extractos, 73  
   infusiones, 73  
   métodos no químicos, 72  
   natural, 96  
     abiótico, 88, 91  
     biótico, 90, 91, 94, 95  
     *Heliothis*, 89  
     nematodos, 92  
   polvos, 73  
   químico-conductual, 82  
 control biológico, 90  
 control integrado de plagas (CIP), 89, 95  
   origen, 7  
 control mecánico  
   origen, 27  
 control natural, 15  
   biótico, 33, 88  
 control natural (CN), 60, 89  
 control químico  
   en agroecosistemas, 31  
   moléculas amigables, 73  
 cosecha potencial, 71  
 costos  
   agrotécnicos, 74  
   fitosanitarios, 72  
 crecimiento  
   poblacional, 34  
*cultivar*, 30

**D**

daños, 93  
   análisis, 76  
   estimación, 47  
   franja de decisión, 77  
   inherente al individuo, 77  
   población económica, 77  
   población tolerable, 77  
   población total, 77  
   poblacional, 76  
   simulado, 90  
   su intensidad, 76  
   total, 77  
 Darwin y Wallace, 61  
 darwinismo económico, 76  
 DDT, 24  
 demografía, 55  
 densidad de población, 56  
 diapausa, 88  
 dinámica de poblaciones, 15, 51, 94  
 dispersión, 32, 34, 56  
 distribución  
   espacial no estadística, 54  
   temporal, 55  
 distribuciones espaciales, 43

**E**

ecología, 90, 92, 95  
   de poblaciones, 53, 88, 91  
   definición, 20  
   química, 54  
 ecosistema, 19  
 Ehrlich, P., 24  
 elementos  
   en vegetales y animales, 21  
 emigración, 56  
 endemia, 55  
 entomopatógenos  
   conocimientos básico al MEP, 86  
 epidemia, 55  
*Epilachna varivestis*, 55  
 especiación  
   mecanismos, 68  
 especie, 61  
 especie simpátrica, 33  
 estrategia **k**, 32  
 estrategia **r**, 32  
 estrategias **k** y **r**, 23

estrategia **k**, 55  
 y equilibrio, 52  
 estrategia **r**, 55  
 y oportunismo, 52  
 etología, 54, 94  
 evolución, 96  
 teoría de  
 en el CN, 60  
 ventajas adaptativas, 61

**F**

Fabre, J.H., 54  
 FAO, 8, 16, 95  
 fenología, 51, 89  
 en algodónero, 91  
 feromonas, 90  
 fluctuación poblacional, 31  
 fósiles, 61  
 frijol  
 conchuela, 55

**G**

genética  
 patrimonio, 62  
 Gutiérrez, J., 5

**H**

hábitat, 22, 54  
 sus límites ambientales, 31  
 homeostasis, 20  
 huerto familiar, 28  
 Huffaker, C., 1

**I**

índices poblacionales, 35  
 información  
 determinística, 14  
 estocástica, 14  
 teoría y MIP, 15  
 inmigración, 56  
 Insecta  
 plagas, 60  
 insecticidas  
 contaminación ambiental, 72  
 control de residuos, 72  
 control estatal, 72  
 costos y desarrollo, 72

desarrollo, 72  
 desventajas, 7, 10  
 lugar en el MIP, 10  
 mal uso, 88, 91, 92, 95  
 mal uso en manzano, 92  
 manejo, 91  
 selección por resistencia a, 72  
 y agroecosistemas, 10  
 insecticidas alternativos, 73  
 crítica de, 73  
 insectos  
 migración, 90  
 y nutrientes, 89

**K**

**k**, índice de agregación, 43

**L**

Ley de Hardy-Weinberg (LHW), 60  
 LHW  
 condiciones de la, 61  
 matriz de Punnett, 61  
 Linneo, C., 51

**M**

maíz  
 resistencia, 92  
 manejo ecológico de patosistemas  
 MEP o MIP, 3  
 manejo integrado de plagas (MIP o MEP)  
 origen, 9  
*Marietta graminicola*, 59  
 mariposa monarca, 57  
 meiosis, 52  
 melanismo industrial, 23  
 MEP, 53, 83  
 columna vertebral, 72  
 conocimiento mínimo para hacerlo, 82  
 futuro, 87  
 y agroecosistema, 83  
 y clima, 82  
 y conocimiento del patosistema, 85  
 y cultivar, 84  
 y defensas genéticas, 84  
 y ecosistema, 82  
 y suelo, 82  
 y taxonomía, 51  
 y tiempo meteorológico, 82

- y umbral económico, 86
- y vegetación natural, 82
- Merino, F., 5
- México, 59
  - INIA, 60
  - Sanidad Vegetal (Dirección), 59
  - Sanidad Vegetal y MIP, 4
- migración, 32, 56
- MIP
  - ¿fracaso?, 13
  - apoyos, 16
  - avances, 91
  - bases, 96
  - biotecnología, 93
  - chinche
    - México, 89
  - concepto entomológico, 4
  - conceptos, 89, 90, 91, 93, 94, 95
  - control
    - biológico, 92
    - cultural, 95
    - microbiológico, 88
    - natural, 94
  - cucurbitáceas, 88
  - definiciones, 18
  - ecología, 94, 96
  - en México, 4
  - enseñanza, 3
  - errores del, 2
  - estrategia de control, 13
  - falsificación, 14
  - feromonas, 96
  - fundamentos, 10
    - agronómicos, 11
  - futuro, 90
  - insecticidas, 89
  - investigación básica, 11
  - mercantilización, 3
  - México, 96
  - modelado, 10
  - modelos, 95
  - mosca pinta, 96
  - muestreo, 89, 90
  - no es ciencia, 3
  - objetivo, 10
  - origen, 92, 95, 96
  - políticas, 88, 93
  - recursos espurios para investigación, 4
  - revisión
    - histórica, 91
    - sistema, 96
    - subsistemas, 16
    - tablas de vida, 89
    - tesis central, 18
    - transferencia
      - obstáculos, 90
    - transferencia tecnológica, 95
    - y control natural, 18
    - y la industria de plaguicidas, 3
    - y patosistema, 15
    - y sistemas, 93
    - y teoría de los juegos, 15
    - y topología, 15
  - modelos, 13, 91
  - mosca pinta de los pastos, 59
  - muestra
    - características, 42
    - forma, 41
    - número de, 42
    - tamaño, 41
  - muestreo
    - número de muestras, 41
  - muestreo, 91, 92
    - absoluto, 44
    - análisis secuencial, 47
    - cernido, 45
    - condiciones de la unidad de, 42
    - cualitativo, 46
    - cuantitativo, 44
    - de daños, 46
    - de derivados insectiles, 46
    - de efectos, 46
    - disposición regular o uniforme, 44
    - distribución
      - Poisson, 43
      - al azar, contagiosa y regular, 43
    - dónde, cuándo, cómo, 39
    - estratificado, 40
    - extracción, 45
    - factores de corrección, 46
    - índice de agregación **k**, 43
    - índice de contagio **k**, 44
    - índices, 46
    - inicial, 42
    - marcado de insectos, 44
    - métodos relativos, 46
    - por hábitat, 45
    - por planta, 45

- preliminar, 42
  - rayos X, 45
  - relativo, 45
  - representatividad, 41
  - secuencial, 47, 95, 96
    - del control natural, 47
    - líneas de decisión, 48
    - soya, 94
  - sistemático, 40
  - soluciones flotadoras, 45
  - su objetivo, 44
  - totalmente al azar, 39
  - visual, 46
- N**
- $N_0$ , población inicial, 35
  - NAS
    - National Academy of Science (EUA), 16
  - neoliberalismo, 71
  - nicho ecológico, 23
  - niveles tróficos, 21
  - $N_t$ , población final, 35
  - nutrientes
    - en los agroecosistemas, 29
- O**
- Odum, E., 13
  - ordenamiento
    - evolutivo, 29
    - temporal, 28
    - trófico, 29
  - ordenamientos ecológicos, 22, 25, 27
- P**
- Painter, R.H., 69
  - Pascal
    - triángulo, 63
  - patosistemas
    - conocimientos básicos para hacer MEP, 85
  - patosistemas silvestres, 68
  - pérdidas, 95
  - pérdidas de cosecha, 77, 96
    - daño con infestación artificial, 79
    - daños simulados, 78
    - en cámara de cría, 80
    - en el campo, 79
    - en invernaderos, 80
    - en laboratorio, 78
    - infestaciones naturales, 78
    - variables experimentales, 80
  - pirámides ecológicas, 20
  - plagas
    - análisis estructural, 76
    - concepto, 30
    - conocimientos básicos para hacer MEP, 84
    - en biomas y agroecosistemas, 30
    - equilibrio dinámico, 34
    - probabilidad hipotética, 32
    - selección, 11
    - sincronización biológica, 30
  - plaguicidas
    - cómplices de la industria de, 1
    - intereses creados, 1
    - La Conspiración de, 24
  - Plan Nacional Fitosanitario, 4
  - plankton
    - selección, 24
  - población, 22
  - poblaciones
    - análisis, 23
    - análisis cualitativo y cuantitativo, 23
    - bellotero, 89
    - censos, 39
    - crecimiento instantáneo
      - concepto, 36
    - ecología, 93, 94, 96
    - factores denso-dependientes, 33
    - factores denso-independientes, 32
    - indicadores, 37
    - índices específicos, 36
    - modelo exponencial de crecimiento, 35
    - modelos, 96
    - tablas de vida, 37
    - y competencia, 33
    - y dispersión, 34
    - y tiempo meteorológico, 32
    - y voltinismo, 32
  - política
    - del control químico de plagas, 74
  - pool genético, 61
  - potencial
    - biótico, 35
    - protectivo, 35
    - reproductivo, 35
  - predicción de plagas, 91
  - predicción poblacional, 89

preferencia, 69  
 presión de selección, 29  
 productores primarios, 21  
 pulgón  
   dinámica poblacional, 90

**Q**

quiescencia, 32

**R**

**r**, tasa instantánea de crecimiento, 35  
 redeo, 47  
 reproducción, 52  
 reproducción asexual, 52  
 resistencia  
   cultural, 69  
   evasión, 69  
   falsa, 69  
   horizontal, 69  
   vertical, 69  
   y maleza, 69  
 resistencia vegetal, 68, 91, 92  
   conceptos, 93  
   fitomejoramiento, 92  
 Riley, C.V., 67  
 Romero, F., 60

**S**

*Schistocerca spp.*, 56  
 selección  
   presión de, 53  
 semioquímicos, 88  
 siembra  
   fechas, 88  
 simbiosis, 22, 33  
 sinecología, 22  
 sistemas, 89  
   caja negra, 15  
   definición, 15  
   MIP, 8  
   teoría general (TGS), 96  
 Smith, R., 1  
 soya, 92, 93  
 subsidios, 75  
   apoyos a la producción, 71

**T**

tablas de vida, 37, 91  
 tácticas  
   resistencia vegetal, 90  
 tácticas de control integrado, 86  
 tasa  
   de crecimiento, 34  
   de crecimiento **r**, 36  
   de muerte **d**, 34  
   de nacimiento **b**, 34  
 taxonomía, 51  
 teoría  
   de la decisión, 14  
   de la información, 14  
   de los juegos, 14  
   general de los sistemas (TGS), 14  
 termodinámica  
   leyes, 21  
 TGS (teoría general de sistemas)  
   objetivo, 15  
 tiempo y clima, 89  
 tolerancia, 69  
 topología relacional, 14  
 trampas  
   tipos, 46  
 trampeo, 94  
   eficiencia extrínseca, 46  
   eficiencia intrínseca, 45  
*Tribolium*, 33  
*Trichogramma*, 59  
 tráfico  
   niveles, 20

**U**

UE  
   variables económicas, 80  
 UE (umbral económico)  
   funcionamiento, 75  
 umbral, 89, 92, 95  
   de acción, 81  
   de daño, 74  
   de decisión por daño, 47  
   económico (UE), 71, 75  
   soya, 90  
 umbral económico, UE, 16  
 Univ. of California  
   recetas de cocina, 88

**V**

van den Bosch, R., 1, 24  
*Vedalia (Rodolia) cardinalis*, 67  
Velazco, H., 60  
voltinismo, 55

von Bertalanffy, L., 15

**Z**

Zazueta, A., 5  
*Zelus* spp, 59