GRUPO BLR

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS: PRINCIPIOS ECOLÓGICOS Y MÉTODOS DE CONTROL

ISBN: 978-9907-802-59-7

Salomón Alejandro Barrezueta Unda

2026

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS: PRINCIPIOS ECOLÓGICOS Y MÉTODOS DE CONTROL

Salomón Alejandro Barrezueta Unda

AUTOR

UTMACH

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad científica.

©Grupo Editorial BLR
Universidad Técnica de Machala
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblr.com
https://grupoblr.com/libros-investigo
REPOSITORIO



Barrezueta, S. (2026) Manejo integrado de plagas: Principios ecológicos y métodos de control. Grupo Editorial BLR.

©Salomón Alejandro Barrezueta Unda

Manejo integrado de plagas: Principios ecológicos y métodos de control.

ISBN: 978-9907-802-59-7

El copyright promueve la libertad de expresión, protege la diversidad de ideas y conocimiento, además apoya la libre expresión. Se prohíbe de manera rigurosa la producción o el almacenamiento de esta publicación, ya sea en su totalidad o en parte, está estrictamente prohibido por ley, incluyendo el diseño de la portada, así como su difusión a través de cualquiera de sus medios, ya sean electrónicos, mecánicos, ópticos, de grabación o incluso de fotocopia, sin permiso de los propietarios de los derechos de autor.

FILIACIÓN DEL AUTOR

Salomón Alejandro Barrezueta Unda

Universidad Técnica de Machala

Correo Electrónico: sabarrezueta@utmachala.edu.ec

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4147-9284

PRÓLOGO

La formación de profesionales en el campo de la agricultura y ganadería requiere hoy comprendan los sistemas agrícolas (agroecosistema) de manera integral. Esto significa reconocer, las bases teóricas que los rigen, los criterios de sostenibilidad que deben guiar las decisiones, y la responsabilidad ambiental inherente a cualquier intervención con el fin de mejorar los sistemas agrícolas.

El manejo de plagas agrícolas dentro de un sistema agrícola cobra una importancia que va más allá de lo productivo porque inciden de manera directa en los rendimientos y en la calidad de los cultivos. Por esto, el libro *Manejo de plagas agrícolas* proporciona un aporte significativo para la docencia universitaria, al presenta de forma sistemática y actualizada los fundamentos del Manejo Integrado de Plagas (MIP), articulando tanto los aspectos conceptuales como los operativos que requieren los profesionales del sector.

El libro incluye distintos métodos de control de plagas (cultural, biológico, físico, cuarentenario y químico) desde un enfoque sistémico. No los presenta como alternativas excluyentes, sino como componentes que pueden complementarse según la situación particular del agroecosistema. Esta perspectiva es congruente con los principios de sostenibilidad y con la necesidad de conservar la biodiversidad funcional.

Desde lo institucional, el texto responde a objetivos que la educación superior se plantea: formar profesionales que no solo dominen conocimientos técnicos, sino que desarrollen pensamiento crítico y se

comprometan con prácticas sostenibles. Para ello, fortalece en los estudiantes competencias cognitivas, analíticas y aplicativas.

INTRODUCCIÓN

El control de plagas agrícolas en particular insectos herbívoros constituye uno de los principales desafíos de la producción de sistema agrícolas contemporánea, debido a su impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos y en la calidad de los productos cosechados. Tradicionalmente, el control de plagas se ha basado en el uso intensivo de plaguicidas de síntesis químicos; sin embargo, este enfoque ha generado problemas asociados como la resistencia de las plagas, la eliminación de organismos benéficos, la contaminación ambiental y los riesgos para la salud humana. Frente a esta realidad, el libro aborda cinco controles de plagas como: químico, mecánico o físico, cultural, biológico y legal. Controles que se fundamenta en evidencia científico y un manejo técnico orientado a una gestión racional, sostenible y ecológicamente equilibrada de las poblaciones de organismos plaga.

El presente libro desarrolla de manera sistemática los fundamentos conceptuales, ecológicos y operativos de los diferentes controles de plagas, entendidos no como estrategias aisladas, sino como componentes complementarios de un sistema de manejo que busca mantener las poblaciones de plagas en particular las herbívoras por debajo del umbral de daño económico, minimizando los impactos negativos sobre el agroecosistema.

El libro también se propone establecer precisión terminológica y conceptual como: plaga, nivel de acción, enemigos naturales, biodiversidad funcional, selectividad, etc. En la literatura entomológica estos términos no siempre convergen y varían según la región o área del

conocimiento desde donde se aborda escribe. Eso es un desafío que el texto intenta resolver.

Desde lo didáctico, en el libro se combina la teoría y los casos prácticos. Para que el estudiante puede transferir lo aprendido a contextos específicos de la agricultura. Este enfoque busca fortalecer en el estudiante la capacidad de comprensión y análisis para aplicar los principios del manejo integrado de plagas en contextos reales de sistemas de producción agrícola, para la toma de decisiones informada y responsable

El libro se dirige a estudiantes de Agronomía, así como también a técnicos que trabajan implementando MIP en fincas, y otros profesionales con formación afines.

ÍNDICE

PRÓLOGO……. i

INTRODUCCIÓN iii

ÍNDICE..... v

ÍNDICE DE FIGURAS xii

ÍNDICE TABLA xiv

CAPÍTULO I 16

1 MECANISMOS DE DEFENSA DE LAS PLANTAS 16

1.1 Resumen 16

1.2 Introducción 17

1.3 Mecanismos de defensa de las plantas 18

1.4 Defensa indirecta de las plantas 20

1.5 ¿Que son los Elicitores? 23

1.6 Estrategias para activar HIPVs..... 24

1.7 Conclusión General 27

CAPÍTULO II 34

2 CONTROL QUÍMICO..... 34

2.1 Resumen 34

2.2 Introducción 35

2.3 El control químico de plagas en la agricultura moderna 36

2.3.1 Los insecticidas **38**

2.3.2 Modo de acción de los insecticidas **40**

2.4 Cálculo de dosis para control de plagas con insecticidas 46

2.5 Ejemplo práctico 48

2.5.1 Datos del insecticida **48**

2.6 Ejemplo práctico 49

2.7 Umbral de económico de daño 49

2.8 Ejemplo práctico 51

2.9 Conclusión General 52

2.10 Actividad Asincrónica 52

2.10.1 Cuestionario **52**

2.10.2 Glosario Técnico **55**

CAPÍTULO III 57

3 CONTROL FÍSICO Y MECÁNICO DE PLAGAS 57

3.1 Resumen 57

3.2 Introducción 58

3.3 Categorías de los métodos físicos y mecánicos 59

3.4 Principales métodos de control mecánico 60

3.5 Trampas mecánicas 66

3.6 Métodos activos de control mecánico 72

Métodos físicos **73**

3.6.1 Sistema térmico **74**

3.6.2 Aireación por enfriamiento (Cooling Aeration) **74**

3.6.3 Inundación del campo (flooding) **75**

3.7 Ejemplo del control mecánico en el cultivo de banano 75

3.8 Conclusiones Generales 76

3.9 Actividad autónoma 77

3.10 Cuestionario de evaluación 78

3.11 Glosario 80

CAPÍTULO IV 83

4 CONTROL CULTURAL 83

4.1 Resumen 83

4.2 Introducción 84

4.3 Concepto y clasificación del control cultural 85

4.4 Clasificación según Mecanismos Biológicos y Ecológicos 85

4.5 Escala de Aplicación 87

4.6 Tipo de Ambiente Manipulado 88

4.7 Rotación de Cultivos y Diversificación Temporal 89

4.8 Ajuste de Fechas de Siembra y Cosecha 89

4.9 Alta densidad de siembra 90

4.10 Saneamiento y Medidas Preventivas 90

4.11 Gestión de Nutrientes y Riego 91
4.12 La labranza como medio de control de plagas 91
4.13 Labranza convencional 92
4.14 Labranza reducida o mínima 93
4.15 Labranza cero 93
4.16 Labranza en franjas (strip-till) 94
4.17 Conclusión General 94
4.18 Actividad Autónoma 94
4.19 Glosario de Términos 95
4.20 Cuestionario de evaluación 97
CAPÍTULO V 101
5 CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS 101
5.1 Resumen 101
5.2 Introducción 102
5.3 Fundamentos del Control Biológico 102
5.4 Orígenes del control biológico de plagas 104
5.5 Clasificación de los Agentes de Control Biológico 106
5.5.1 Depredadores **106**
5.5.2 Parasitoides **109**
5.6 Estrategia de desarrollo parasitica: koinobionte o idiobionte 111
5.7 Entomopatógenos 112

5.8 Estrategias de Implementación 118

5.8.1 Control Biológico Clásico..... **118**

5.8.2 Control Biológico por Aumentación..... **119**

5.8.3 Control Biológico por Conservación **119**

5.9 Conclusión general..... 120

5.10 Actividades Autónomas 121

5.11 Cuestionario de evaluación 122

5.12 Glosario de Términos..... 124

CAPÍTULO VI..... 127

6 CONTROL CUARENTENARIO DE PLAGAS..... 127

6.1 Resumen..... 127

6.2 Introducción 128

6.3 Marco Normativo y Organizaciones Internacionales..... 129

6.3.1 Principios generales y marco **130**

6.3.2 Vigilancia, monitoreo y estatus de plagas..... **130**

6.3.3 Certificación fitosanitaria y comercio..... **130**

6.3.4 Tratamientos fitosanitarios y métodos de control..... **131**

6.3.5 Materiales de embalaje y transporte..... **131**

6.3.6 Plagas específicas y enfoques por sistemas **131**

6.4 Avances en métodos de detección y su impacto 132
6.5 Delimitación y manejo de las plagas..... 139
6.5.1 Cuarentena de Pre-entrada (Externa) **140**
6.5.2 Cuarentena de Entrada (Puntos de Frontera) **140**
6.5.3 Cuarentena de Post-entrada..... **141**
6.5.4 Cuarentena Interna (Doméstica) **141**
6.6 Análisis de Riesgo de Plagas (ARP) 142
6.7 Tratamientos Cuarentenarios de Mitigación 143
6.8 Conclusión General..... 143
6.9 Actividad Autónoma 144
6.10 Cuestionario de evaluación 144
6.11 Glosario de términos 147
CAPÍTULO VII 149
7 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS 149
7.1 Resumen..... 149
7.2 Introducción 150
7.3 Diferencias del conceptos: Control integrado de plagas y Manejo Integrado de Plagas 150
7.4 Paradigmas de Manejo Integrado de Plagas..... 153
7.4.1 Conocimiento profundo de los ecosistemas..... **153**

7.5 Principios del Manejo Integrado de Plagas 155

7.5.1 Principios fundamentales del MIP **..... 155**

7.6 Conclusión general 156

7.7 Actividad autónoma 156

7.8 Glosario de términos 157

7.9 Cuestionario de evaluación 157

BIBLIOGRAFÍA 159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Estructura de defensa en plantas: tricomas 18
Figura 2.Árbol de Neem (Azadirachta indica)..... 19
Figura 3.Mecanismos de defensa de las plantas que se activan por compuestos organicos volátiles..... 21
Figura 4.Efecto de HIPVs en insectos..... 22
Figura 5.Activación de mecanismo de defensa en plantas..... 23
Figura 6.Línea de tiempo de la evolución de los insecticidas 36
Figura 7.Principales moléculas utilizadas en el control de insectos 39
Figura 8.Mecanismos de acción en el sistema nervioso de los insectos 40
Figura 9. Barrera física para prevenir el ataque de insectos herbívoros...... 61
Figura 10.Túneles con malla para proteger al cultivo de insectos herbívoros..... 62
Figura 11.Embolsado de frutas 62
Figura 12.Comparación de hojas de Cítricos: sin caolín (A) y hojas con caolín (B)..... 64
Figura 13.Acolchado con plástico..... 64
Figura 14,Recolección manual de insectos en diferente ciclo biológico..... 66
Figura 15.Trampas cromáticas para capturas de insectos 67
Figura 16.Trampas cromáticas adhesivas: A) trampas para trips, afidos y mosca blanca; B) trampa para insectos rastreros 69
Figura 17.Trampas con cebos alimenticio (cascara de piña) en banano para atraer curculiónidos..... 70

Figura 18.Tipos de trampas eléctricas para control de insectos ... 73
Figura 19.Trampas para la captura de picudos (Cosmopolites sordidus) en el cultivo de banano 76
Figura 20.Prácticas culturales para alterar periodos de daños de las plagas en los cultivos 86
Figura 21.Barreras para interferir señales visuales y olfativas para insectos 87
Figura 22.Fechas de siembra y cosecha para disminuir ataque de plagas 90
Figura 23.Labranza del suelo 93
Figura 24.Labranza en franjas 94
Figura 25.Relación trófica entre la planta hospedera ataca la plaga y el enemigo natural: parasitismos y depredación 104
Figura 26.Principales hitos en la historia del control biológico de plagas 106
Figura 27.Agentes depredadores de insectos herbívoros 107
Figura 28.Agente de control parasitoides de insectos herbívoros 110
Figura 29. Integración de los control de plagas con un enfoque de sostenibilidad 152
Figura 30. Componentes clave del MI. 153
Figura 31.Estructura del paradigma integrado de plagas 155

ÍNDICE TABLA

Tabla 1.Elicitores bióticos implicados en la activación de respuestas defensivas en plantas 26

Tabla 2.Nomenclatura para identificar insecticidas clasificación IRAC 42

Tabla 3.Clasificación de insecticida por via de entrada en el insecto 43

Tabla 4.Clasificación toxicológica de insecticidas según la OMC . 44

Tabla 5.Clasificación toxicológica de insecticidas utilizados en el cultivo de banano 46

Tabla 6. Eficacia de las Trampas Cromáticas en el Control de Plagas. 67

Tabla 7. Eficiencia de cebos tóxicos por orden de insectos. 71

Tabla 8. Plagas agrícolas y sus agentes de control de tipo depredador utilizados en control biológico. 107

Tabla 9. Plagas agrícolas y sus agentes de control de tipo parasitoide utilizados en control biológico. 111

Tabla 10. Estrategias de control biológico con hongos entomopatógenos en cultivos de importancia agrícola. 113

Tabla 11. Acción de las bacterias como organismos de control biológico de plagas. 115

Tabla 12. Especies de nematodos entomopatógenos. 117

Tabla 13. Ejemplos de control de plagas en cuarentena. 134

Tabla 14. Tipos de cuarentena en puertos de ingreso al país. 142

CAPÍTULO I

1 MECANISMOS DE DEFENSA DE LAS PLANTAS

1.1 Resumen

Este capítulo explora las defensas que las plantas han desarrollado contra insectos herbívoros, patógenos y estrés ambiental. El resultado de millones de años de coevolución donde ambas partes se presionaron mutuamente y resultaran en adaptaciones específicas. En el caso de las plantas no pueden movilizarse, por lo que generaron estrategias defensivas de tipo constitutivas (cutícula cerosa, tricomas y metabolitos como fitoanticipinas y glucosinolatos y toxinas). Esta defensa se activa cuando insectos o patógenos atacan, la planta reconoce moléculas específicas del daño, disparando cascadas de señalización hormonal mediadas por ácido jasmónico y salicílico que producen nuevas toxinas, proteínas defensivas e inhibidores de proteasas, extendiéndose a tejidos distales. Las plantas también tienen defensa indirecta cuando emite compuestos orgánicos volátiles que reclutan enemigos naturales del insecto herbívoro e incluso permiten comunicación química entre plantas vecinas, advirtiéndose mutuamente. El capítulo también examina como estas defensas abriendo posibilidades para potenciar resistencia en sistemas agrícolas sostenibles sin depender únicamente de insecticidas convencionales.

Palabras clave**:** resistencia adquirida; resistencia inducida; ácido jasmónico; compuestos orgánicos volátiles

Objetivos de aprendizaje

Explicar los principales mecanismos de defensa de las plantas, diferenciando entre defensas constitutivas, inducidas e indirectas.

1.2 Introducción

La milenaria coevolución entre plantas e insectos herbívoros ha consolidado un sistema defensivo dinámico, donde los vegetales desarrollan estrategias complejas que son replicadas por contra-adaptaciones de los insectos (War et al., 2018). Debido a su naturaleza sésil, las plantas han seleccionado mecanismos estructurales, fisiológicos y bioquímicos altamente especializados para prevenir o mitigar daños por factores bióticos (ataques de artrópodos, virus, hongos, etc) y abióticos (clima, salinidad, etc.) (Hilker & Meiners, 2010). Este esquema defensivo por parte de las plantas se articula a través de mecanismos directos e indirectos, que pueden presentarse de forma constitutiva como barreras permanentes o ser inducidos específicamente tras el reconocimiento de una amenaza (Afroz, Rahman & Amin 2021).

La capacidad de las plantas para detectar el daño causado por herbívoros o patógenos depende del sistema de percepción que reconocen señales moleculares específicas, lo que desencadena cascadas de señalizaciones que derivan en activación de respuestas defensivas (Hilker & Meiners, 2010; Stahl et al., 2018). Entre estas respuestas destacan la producción de metabolitos secundarios, compuestos aleloquímicos y proteínas defensivas, que desempeñan un papel fundamental en la resistencia frente a insectos y microorganismos patógenos (War et al., 2012; Tilman et al., 2002). En este proceso, fitohormonas como el ácido jasmónico y

salicílico resultan fundamentales para la respuestas químicas y físicas que evidencian una compleja coevolución entre las plantas y sus enemigos naturales (Erb et al., 2012).

1.3 Mecanismos de defensa de las plantas

Los mecanismos de inmunidad vegetal se organizan en dos estrategias fundamentales: las defensas constitutivas y las inducidas (Burbano-Figueroa, 2020). Las primeras constituyen una armadura permanente que protege al tejido antes de cualquier agresión; ejemplo de ello es la cutícula cerosa y los tricomas como en las plantas de ortiga (Figura 1), cuya presencia física y química dificulta el desplazamiento y la oviposición de los insectos, y previene la adhesión de patógenos en diversos órganos de la planta (Surosz & Anders, 2024).



Planta de ortiga (*Urtica dioica* L)



Tricomas de *Urtica dioica*

Figura 1.Estructura de defensa en plantas: tricomas

Fuente: Nature picture library, 2006 https://www.naturepl.com/blog/

A esta protección morfológica se suma un arsenal químico preexistente de metabolitos secundarios de bajo peso molecular que se activan cuando el tejido vegetal se daña. Por ejemplo, los glucosinolatos

metabolitos secundarios ricos en azufre presentes de forma constitutiva en la familia de Brassicaceae (lechuga, col, mostaza, etc.) y glucósidos cianogénicos que libera cianuro de hidrógeno, una toxina que inhibe la respiración celular. Según Afroz, Rahman & Amin (2021), estos compuestos, junto con proteínas inhibidoras de proteasas (enzimas digestivas), que se liberan inmediatamente tras la ruptura del tejido, actuando como antifeedantes o disuasores de la alimentación para los hervivoros como la Azadiractina proveniente del árbol de neem (Figura 2) toxina que afectan drásticamente la digestión y supervivencia del herbívoro.



Figura 2.Árbol de Neem (Azadirachta indica)

Fuente: Natural picture library, 2006 ***https://www.naturepl.com/blog/***

Por otra parte, la defensa inducida es la respuesta biológica que la planta activa únicamente tras el reconocimiento específico de un ataque, optimizando sus recursos energéticos al no mantener estas defensas de forma permanente. La defensa inducida comienza cuando los elicitores

(moléculas en la saliva o fluidos del insecto) son detectados por receptores celulares (proteínas especializadas) que desencadenando cascadas de señalización mediadas por fitohormonas como el ácido jasmónico (Stahl et al., 2018). Como resultado, la planta sintetiza fitoalexinas (compuestos antimicrobianos tóxicos) y proteínas defensivas, como los inhibidores de proteasas, que bloquean las enzimas digestivas del herbívoro, reduciendo su crecimiento y supervivencia (Afroz, Rahman & Amin 2021). Según Erb et al. (2012), esta respuesta puede volverse sistémica, protegiendo incluso los tejidos que aún no han sido dañados.

1.4 Defensa indirecta de las plantas

Las plantas despliegan defensas indirectas mediante la emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles Inducidos por Herbivoría (HIPVs) como los terpenoides, ejemplo (E)-β-ocimeno y el linalool, liberados por plantas de maíz (*Zea mays)* cuando son atacadas por insectos herbívoros. Al ser atacada por herbívoros, la planta libera estos volátiles desde las hojas y raíces para atraer enemigos naturales, como depredadores, parasitoides y nematodos entomopatógenos (Figura 3). Además de facilitar esta defensa indirecta, los HIPVs sistémicos alertan a tejidos distales y plantas vecinas sobre la amenaza, optimizando la respuesta inmunitaria colectiva frente a patógenos y competidores (Dicke & Baldwin 2010).

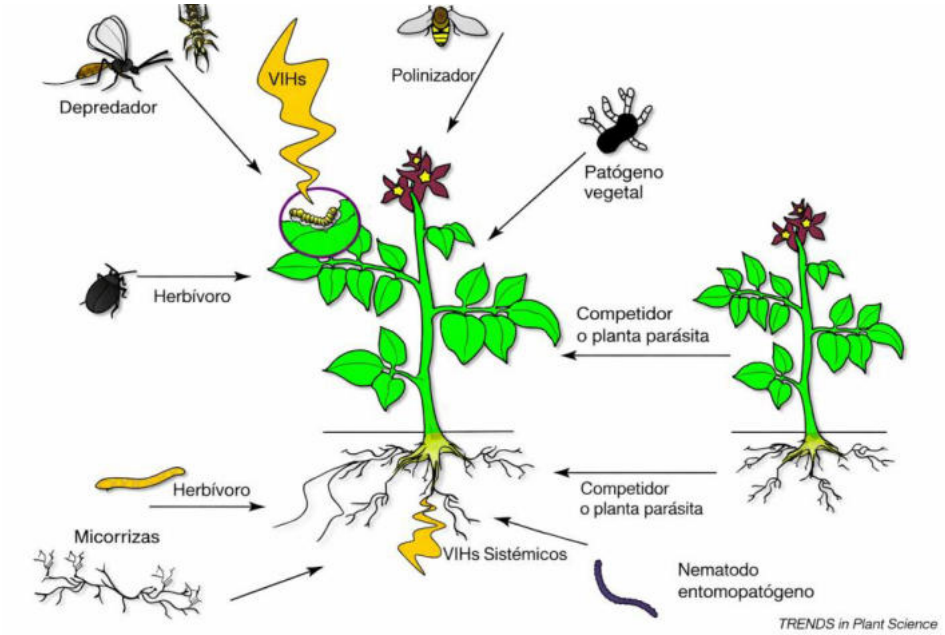


Figura 3.Mecanismos de defensa de las plantas que se activan por compuestos organicos volátiles

Fuente: Dicke & Baldwin (2010)

También los insectos herbívoros distinguen los olores como la resina de las coníferas. Un ejemplo es el escarabajo *Scolytus ventralis,* insecto descortezador que preferencia el olor del abeto gigante (*Abies grandis*), del emitido por el abeto alpino (*Abies lasiocarpa*). Esta capacidad de reconocimiento explicaría la mayor severidad de sus ataques sobre el abeto gigante (Figura 4).

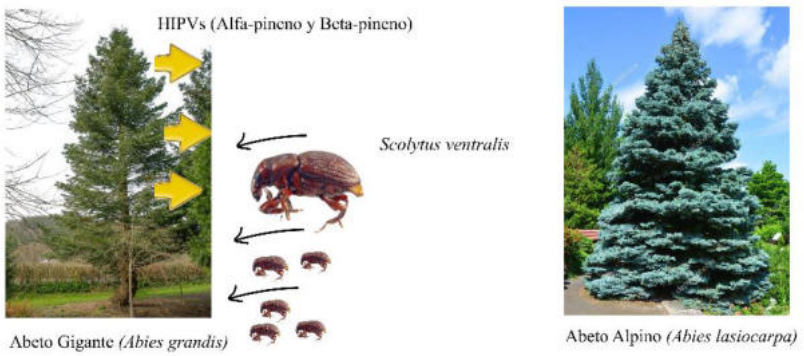


Figura 4.Efecto de HIPVs en insectos

Cuando son atacadas por insectos herbívoros, las plantas liberan mezclas de compuestos químicos, como terpenos e indol, que se dispersan por el aire y el suelo. Estas señales atraen a los enemigos naturales de los herbívoros, entre ellos depredadores y parasitoides de la parte aérea, así como nematodos entomopatógenos presentes en la zona radicular. (Ninkovic, Markovic & Rensing 2021). Los parasitoides bracónidos (Hymenoptera) y depredadores (coccinélidos, crisópidos, etc.) detectan los HIPVs para localizar plantas atacadas. Por ejemplo, en Maíz (*Zea mays)* el indol induce la activación de genes relacionados con la biosíntesis y señalización del ácido jasmónico y mejora la resistencia frente a Spodoptera; también los terpenos foliares (Ejemplo: Limoneno, β-pineno, etc.) que atraen *Cotesia spp* (Hymenoptera: braconidae). Aun que, no todos los HIPVs incrementan el parasitismo: algunos modulan negativamente la calidad del huésped o la orientación del parasitoide (Ye et al., 2018).

Estas señales sistémicas no solo facilitan el reclutamiento de enemigos naturale de las plagas, sino que alertan a plantas vecinas y tejidos distales, optimizando la resistencia colectiva frente a diversas amenazas bióticas y abióticas como se muestra en la Figura 5 (Afroz, Rahman & Amin 2021).

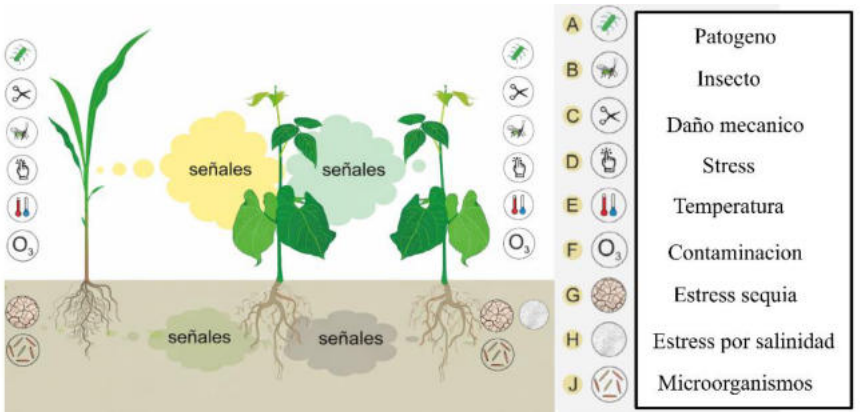


Figura 5.Activación de mecanismo de defensa en plantas

Fuente: Ninkovic, Markovic & Rensing (2021)

1.5 ¿Que son los Elicitores?

Los elicitores son moléculas químicas, producidas por microorganismos o por la propia planta, que tienen la capacidad de activar diversos mecanismos de defensa vegetal. Estos compuestos actúan al ser detectados específicamente por receptores ubicados en la superficie de las células de la planta (del Sol Cuellar-Espejel et al., 2024). Estos receptores son proteínas localizadas principalmente en la membrana plasmática de las células vegetales. Actúan como "antenas" que monitorean el espacio extracelular para detectar señales de peligro. Cuando un elicitor se une a estos receptores, se activa lo que se conoce

como Inmunidad Activada por Patrones (PTI), que es la primera línea de defensa activa de la planta (Bhaskar et al., 2022).

1.6 Estrategias para activar HIPVs

Elicitores Químicos (Fitohormonas)

Ácido Jasmónico (AJ) y Metil Jasmonato (MeJA): Son los activadores maestros de la vía de la Resistencia Sistémica Inducida (RIS). Cuando se aplica de manera externa, estos compuestos estimula la liberación de terpenos e indol, sustancias que favorecen la llegada de insectos parasitoides, incluso cuando no existen insectos herbívoros alimentándose de la planta.

Ácido salicílico (AS): generalmente mantiene una relación antagónica con el ácido jasmónico (AJ), su aplicación en bajas concentraciones puede activar la resistencia sistémica adquirida (RAS). Este mecanismo de defensa prepara a la planta para responder con mayor eficacia al ataque de patógenos que necesitan tejidos vivos para alimentarse y desarrollarse.

Análogos sintéticos y miméticos

Coronatina: Es una toxina producida por bacterias como *Pseudomonas syringae*. Debido a que imita la acción del ácido jasmónico, puede alterar las respuestas defensivas de la planta, favorecer la reapertura de los estomas y estimular la emisión de señales químicas (Chen et al., 2022).

Benzotiadiazol (BTH): Es un compuesto sintético que actúa como análogo funcional del ácido salicílico. Su aplicación induce un estado defensivo conocido como *priming* o cebado, mediante el cual la planta responde de forma más rápida e intensa ante ataques posteriores.

Elicitores biológicos y microorganismos

Patrones asociados a herbívoros (HAMP): Son moléculas procedentes de la saliva de los insectos o de estructuras como la quitina. Cuando los receptores de reconocimiento de patrones (PRR) de las células vegetales detectan estas señales, se activa una respuesta defensiva que incluye la liberación de compuestos volátiles.

Microorganismos Promotores del Crecimiento (PGPR) y Micorrizas: Ciertos hongos y bacterias del suelo establecen una simbiosis que preactiva las rutas de señalización sistémica, facilitando la comunicación de alertas a través de la red radicular.

En la Tabla 1 se muestran una clasificación de los principales tipos de elicitores que activan los mecanismos de defensa en las plantas, detallando su origen específico, las vías hormonales involucradas, principalmente el ácido jasmónico y el ácido salicílico, y la respuesta defensiva predominante que desencadenan.

Tabla 1.Elicitores bióticos implicados en la activación de respuestas defensivas en plantas

Tipo de Elicitor	**Origen Específico**	**Vía Hormonal**	**Respuesta Principal**	**Cita Científica**
HAMPs (Insectos)	Saliva y regurgitados (ej. Volicitina)	Ácido Jasmónico (AJ)	Emisión de HIPVs para defensa indirecta.	Stahl et al. (2018)
MAMPs (Microbios)	Estructuras como Flagelina o Quitina	Ácido Salicílico (AS)	Activación de la Inmunidad Activada por Patrones (PTI).	Cuellar-Espejel et al. (2024)
DAMPs (Daño)	Fragmentos de pared celular de la propia planta	Mixta (AJ / AS)	Alerta sistémica y reparación de tejidos lesionados.	Hou et al. (2019)
Análogos Sintéticos	Laboratorio (ej. BTH / Benzotiadiazol)	Ácido Salicílico (AS)	Inducción de Resistencia Sistémica Adquirida (RSA).	Silva et al. (2023)

Análogos Biológicos	Bacterias (ej. Coronatina)	Ácido Jasmónico (AJ)	Apertura de estomas y manipulación hormonal.	Berens et al. (2017)

Fuente: Elaboración propia

1.7 Conclusión General

El Capítulo 1 muestra que las plantas no dependen de un único mecanismo de defensa, sino de un sistema inmunitario dinámico en el que actúan de manera conjunta las barreras físicas constitutivas y las respuestas químicas inducidas. Comprender estos procesos e incorporarlos al manejo agrícola permite fortalecer la resistencia natural de los cultivos y complementar de manera más eficiente las diferentes estrategias empleadas para el control de plagas.

Actividad Asincrónica

Título: Observación de campo de tricomas en las plantas silvestres y agrícolas

Objetivo de aprendizaje: identificar y describir la presencia de tricomas en hojas de distintas especies vegetales

Instrucciones: Localice plantas de diferentes especies en su entorno (una con hojas lisas y otra con hojas con vellosidades). Utiliza una lupa de 10x o la cámara de un teléfono celular, identifica la presencia de tricomas y busque signos de daño ocasionados presumiblemente por insectos herbívoros. Redacte un informe comparando qué planta

presenta menos daño y relacione esto con lo aprendido sobre defensas constitutivas.

Cuestionario de Evaluación

1. ¿Cuál es la función principal de la cutícula frente a las plagas?

a) Atraer polinizadores.

b) Barrera física y química contra patógenos.

c) Facilitar la transpiración.

d) Absorber nutrientes foliares.

2. ¿Qué hormona regula principalmente la defensa contra insectos masticadores?

a) Ácido Salicílico.

b) Ácido Jasmónico.

c) Giberelinas.

d) Etileno.

3. ¿Qué son los HIPVs?

a) Fertilizantes foliares.

b) Compuestos volátiles que atraen enemigos naturales.

c) Toxinas acumuladas en la raíz.

d) Hormonas de crecimiento.

4. El fenómeno de "priming" se refiere a:

a) La muerte celular programada.

b) Preparación de defensas en plantas vecinas tras recibir señales químicas.

c) La aplicación del primer riego del cultivo.

d) El marchitamiento por falta de agua.

5. Los tricomas glandulares se diferencian de los no glandulares por:

a) Su color verde.

b) La capacidad de secretar sustancias químicas.

c) Ser exclusivos de las raíces.

d) Su mayor tamaño.

6. La Resistencia Sistémica Adquirida (RSA) está mediada por:

a) Ácido Salicílico.

b) Auxinas.

c) Solo barreras físicas.

d) Luz ultravioleta.

7. ¿Qué sucede generalmente en la interacción entre el AS y el AJ?

a) Se potencian mutuamente.

b) No tienen relación.

c) El AS suele inhibir la vía del AJ.

d) El AJ siempre activa al AS.

8. Un ejemplo de defensa constitutiva es:

a) Emisión de volátiles post-ataque.

b) La síntesis de proteínas de defensa inducidas.

c) La presencia permanente de espinas o tricomas.

d) La producción de enzimas tras una herida.

9. ¿Qué órgano del insecto se ve afectado por los inhibidores de proteasa?

a) Alas.

b) Sistema nervioso.

c) Sistema digestivo.

d) Sistema reproductor.

10. La defensa indirecta se caracteriza por:

a) Matar al insecto directamente con veneno.

b) Usar una tercera especie (depredador/parasitoide) para eliminar la plaga.

c) No gastar energía de la planta.

d) Ocurrir solo en las raíces.

Respuestas correctas: 1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6a, 7c, 8c, 9c, 10b

Glosario

1. **Antifeedante:** Sustancia química que impide que un insecto se alimente de la planta.
2. **Ácido Jasmónico:** Fitohormona clave en la respuesta a heridas y herbivoría.
3. **Ácido Salicílico:** Hormona vegetal que coordina la resistencia a patógenos biotróficos.
4. **Biotrófico:** Patógeno que necesita tejido vivo para alimentarse.
5. **Constitutiva:** Defensa que siempre está presente en la planta.
6. **Cross-talk:** Interacción o comunicación entre diferentes vías de señalización hormonal.
7. **Cutícula:** Capa cerosa externa que protege la epidermis vegetal.
8. **Elicitor:** Molécula que desencadena una respuesta de defensa en la planta.

9. **Enemigo natural:** Organismo (depredador o parasitoide) que mata a una plaga.

10. **Epidermis:** Capa celular más externa de la planta.

11. **Fitohormona:** Mensajero químico que regula procesos biológicos en vegetales.

12. **HIPVs:** Siglas en inglés de Compuestos Orgánicos Volátiles Inducidos por Herbivoría.

13. **Inducida:** Defensa que se activa solo tras detectar un ataque.

14. **Metabolitos secundarios:** Compuestos químicos no esenciales para el crecimiento básico pero vitales para la defensa.

15. **Necrotrófico:** Patógeno que mata las células de la planta para alimentarse.

16. **Parasitoide:** Insecto cuya larva vive dentro o sobre un huésped, causándole la muerte.

17. **Priming:** Estado fisiológico que permite una respuesta de defensa más rápida y fuerte.

18. **RSA (Resistencia Sistémica Adquirida):** Respuesta de defensa en toda la planta tras una infección local.

19. **Terpenos:** Clase de metabolitos secundarios volátiles involucrados en la defensa.

20. **Tricomas:** Estructuras en forma de pelos en la superficie de las hojas y tallos.

CAPÍTULO II

2 CONTROL QUÍMICO

2.1 Resumen

El control químico constituye una de las herramientas históricamente más utilizadas para la protección de los cultivos agrícolas, debido a su capacidad para reducir de manera rápida y eficaz las poblaciones de plagas por debajo del umbral de daño económico. Los modelos de agricultura moderna han sustituido el uso indiscriminado de plaguicidas por estrategias racionales, basadas en el conocimiento de su modo de acción y de las respuestas fisiológicas de las plagas. Además, promueven el empleo de insecticidas botánicos y la aplicación mínima de productos de bajo impacto ambiental. Este capítulo recorre la evolución de los insecticidas, desde los compuestos inorgánicos y organoclorados hasta moléculas más selectivas y de menor impacto ambiental. Se describen los principales métodos de aplicación, las clasificaciones de los pesticidas según su organismo objetivo, su composición química y su vía de ingreso al insecto, así como los distintos modos de acción sobre el sistema nervioso, digestivo y el crecimiento del insecto. Un eje central del capítulo es la clasificación IRAC, la cual permite comprender la importancia de la rotación de ingredientes activos para prevenir la resistencia genética en las poblaciones de plagas. También se aborda la clasificación toxicológica de la OMS, el cálculo de dosis y volumen de aplicación; así como, el concepto de umbral económico de daño como uno de los criterios para la toma de decisiones.

Palabras clave: Pesticida; insecticidas; control de plagas

Objetivo de aprendizaje

Describir los principios del control químico de plagas en relación con su clasificación y modos de acción de los insecticidas utilizados en la agricultura.

2.2 Introducción

Aunque las alternativas biológicas han ganado espacio desde la década de los 90, el control químico conserva un rol importante en la protección de los cultivos. Su capacidad para reducir rápidamente las poblaciones de plagas resulta especialmente útil ante emergencias fitosanitarias. Sin embargo, el enfoque actual prioriza aplicaciones precisas, sustentadas en el conocimiento de la fisiología de la plaga y del modo de acción de cada insecticida. Desde inicio del 2000 las investigaciones han impulsado moléculas más selectivas, capaces de controlar los organismos objetivo con menores efectos sobre la fauna benéfica y el ambiente (Casida, 2019). Este capítulo aborda la clasificación IRAC como base para la rotación de insecticidas, los mecanismos evolutivos que favorecen la resistencia genética y las tecnologías de aplicación orientadas a disminuir la deriva. El éxito del control químico moderno no reside en la potencia de la molécula, sino en la rotación de los insecticidas y mínima aplicación del producto dentro de un programa de manejo integral (Sparks et al., 2020).

2.3 El control químico de plagas en la agricultura moderna

El desarrollo del control de insectos, nematodos y de patógenos ha transitado desde soluciones rudimentarias como el uso de carbón vegetal hasta la biotecnología de precisión actual (Stahl et al., 2018). Históricamente, el uso de sustancias inorgánicas como el arsénico y el azufre dominó hasta mediados del siglo inicios del XX cuando la síntesis del DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano) marcó el inicio de la era de los plaguicidas sintéticos (Figura 6), priorizando la erradicación total de las plagas (Zaller & Brühl, 2019, Silva et al., 2023).

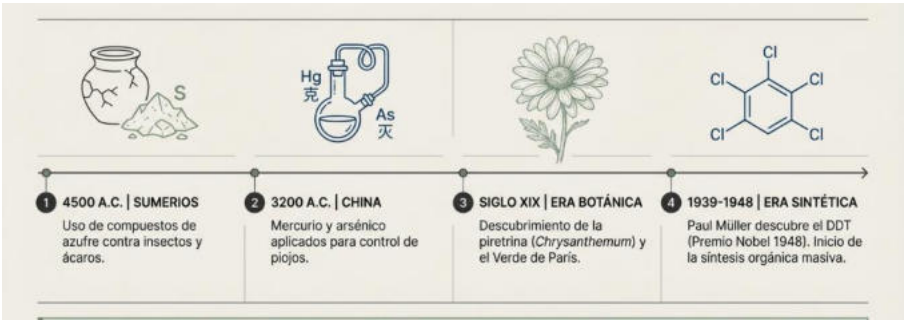


Figura 6.Línea de tiempo de la evolución de los insecticidas

Así como evolucionaron los pesticidas también los métodos de control químico para plagas se diversificaron. Los controles se dividieron en preventivos, que se aplican antes de que la plaga sea visible en el cultivo, generalmente en forma de tratamientos en semillas o aplicaciones tempranas al suelo de herbicidas, con el objetivo de proteger las etapas iniciales del desarrollo vegetal frente a insectos del suelo y patógenos, reduciendo así el riesgo de infestaciones tempranas (Silva et al., 2023). En contraste, del control curativos se implementan cuando la plaga ya está presente y ha alcanzado el umbral de acción económica, buscando

una disminución rápida de la población para evitar daños severos y pérdidas inmediatas en el rendimiento del cultivo (Dent, 2000).

Estos controles en gran medida dependen de métodos y la tecnología de aplicación. La pulverización, es el método más común, los pesticidas se diluyen en agua y se aplican mediante boquillas que crean gotas finas sobre el follaje (Singh, 2024). La Fumigación es el uso de gases o vapores químicos en espacios cerrados (silos, invernaderos) o bajo cubiertas de plástico en el suelo para eliminar plagas difíciles de alcanzar (Dent, 2000). Por último, la aplicación de pesticidas a través de sistemas de riego (goteo o aspersión), permitiendo que el químico llegue directamente a la zona radicular o se distribuya uniformemente por la planta si es sistémico (FAO, 2023).

Los pesticidas se clasifican según el organismo objetivo en:

- Insecticidas: destinados al control de insectos plaga en los cultivos.
- Herbicidas: utilizados para eliminar o inhibir el crecimiento de plantas invasoras
- Fungicidas: empleados para prevenir o controlar enfermedades causadas por hongos.
- Nematicidas: orientados al control de nematodos fitoparásitos del suelo.
- Acaricidas: utilizados para el control de ácaros.
- Rodenticidas: aplicados para el control de roedores en sistemas agrícolas y de almacenamiento.
- Bactericidas: empleados contra bacterias fitopatógenas.

2.3.1 Los insecticidas

Los insecticidas son productos de origen químico o biológico empleados para prevenir daños, repeler o controlar insectos, especialmente especies herbívoras que afectan los cultivos. Su aplicación ha contribuido a reducir pérdidas y mantener la estabilidad del rendimiento, sobre todo en sistemas agrícolas intensivos.

La formulación comercial de un insecticida contiene un ingrediente activo y diversos componentes auxiliares, tradicionalmente denominados sustancias inertes, que cumplen funciones específicas en el producto (Singh et al., 2024). El ingrediente activo genera el efecto insecticida al interferir en procesos fisiológicos esenciales, como la transmisión nerviosa, la respiración celular o la síntesis de quitina (Sparks & Nauen, 2015).

Por su parte, las sustancias inertes no poseen actividad biocida directa, pero cumplen un papel clave en la eficacia del producto. Incluyen solventes, emulsionantes, dispersantes, adherentes y estabilizantes, los cuales mejoran la solubilidad, la estabilidad, la absorción y la persistencia del ingrediente activo en la superficie vegetal o dentro del insecto (Mesnage et al., 2014). Aunque se denominan “inertes”, diversos estudios han demostrado que estos compuestos pueden influir en la toxicidad ambiental y biológica del insecticida formulado, potenciando o modificando los efectos del ingrediente activo (Cox & Surgan, 2006).

El uso de insecticidas en el control químico de plagas ha transitado por diversas eras históricas, cada una marcada por el descubrimiento de moléculas que transformaron significativamente la agricultura moderna

(Figura 7) (Araújo et al., 2023). La primera etapa estuvo dominada por el DDT, hoy prohibido o severamente restringido debido a su elevada persistencia y bioacumulación ambiental, problemática ampliamente difundida por Rachel Carson en *Primavera silenciosa*. Posteriormente, entre las décadas de 1960 y 1980, surgieron los organofosforados (proviene de ácido fosfórico) y carbamatos (derivados del ácido carbámico) como alternativas menos persistentes, aunque con mayor toxicidad aguda para los seres humanos; compuestos como malatión y carbarilo fueron ampliamente utilizados para el control de pulgones y mosca blanca. Entre 1980 y 2010, la introducción de los piretroides (p. ej., permetrina) y los neonicotinoides (p. ej., imidacloprid) revolucionó el mercado por su elevada eficacia, acción sistémica y amplio espectro, permitiendo el control de plagas como mosca blanca, minadores de hojas y trips (Dunn et al., 2024).

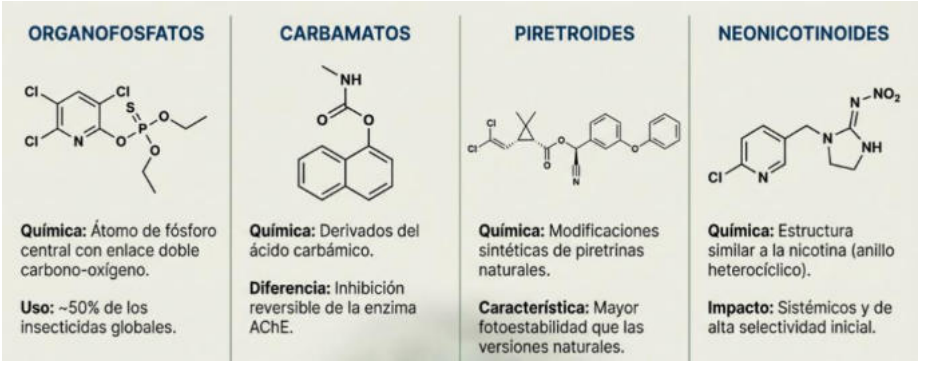


Figura 7.Principales moléculas utilizadas en el control de insectos

En la actualidad, el enfoque se orienta hacia insecticidas de nueva generación, como las diamidas (p. ej., clorantraniliprol), y el uso de elicitores como el benzotiadiazol (BTH), los cuales no actúan de forma directa sobre el insecto, sino que inducen respuestas defensivas en la

planta mediante la activación de la Inmunidad Activada por Patrones (PTI), siendo eficaces frente a larvas de lepidópteros altamente resistentes, como *Spodoptera frugiperda* (Cuéllar-Espejel et al., 2024).

2.3.2 Modo de acción de los insecticidas

Para analizar el modo de acción de los insecticidas en la fisiología del insecto, es fundamental comprender cómo estas moléculas interrumpen procesos vitales específicos para lograr el control de las plagas (Figura 8). La mayoría de los insecticidas modernos actúan sobre el sistema nervioso, interfiriendo con la neurotransmisión mediante la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (Organofosforados y Carbamatos) o modulando los canales de sodio dependientes de voltaje (Piretroides), lo que provoca una sobreexcitación muscular y la muerte (Stahl et al., 2018). Otros compuestos, como los neonicotinoides y las sulfoximinas, actúan como agonistas de los receptores nicotínicos de acetilcolina, bloqueando la señalización nerviosa de forma sistémica (Zaller & Brühl, 2019).

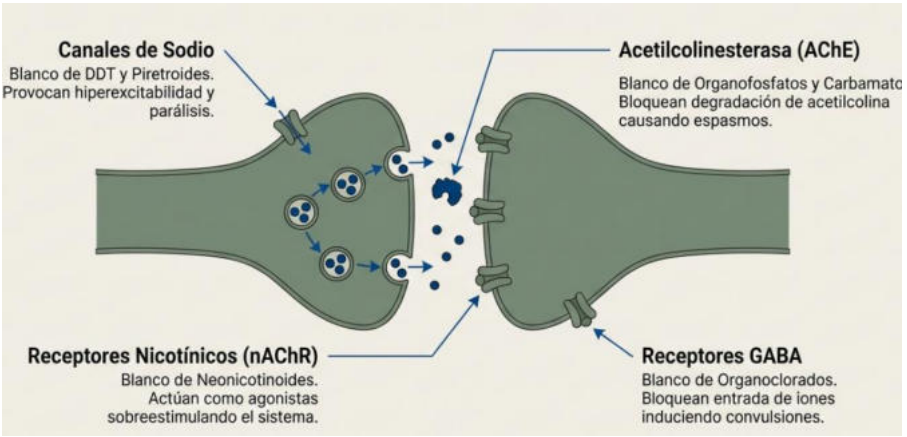


Figura 8.Mecanismos de acción en el sistema nervioso de los insectos

Por otro lado, los avances en biotecnología han permitido el uso de diamidas que afectan los receptores de rianodina, agotando las reservas de calcio en las células musculares y causando parálisis flácida (Silva et al., 2023). Además de la neurotoxicidad, existen reguladores del crecimiento (IGRs) que inhiben la síntesis de quitina o mimetizan la hormona juvenil, impidiendo la muda y el desarrollo normal (Hou et al., 2019). Investigaciones recientes también destacan la importancia de los disruptores de la membrana digestiva, como las toxinas Bt, que generan poros en el epitelio intestinal de las larvas (Cuellar-Espejel et al., 2024).

Según su composición química los insecticidas se clasifican en la relación con su estructura molecular.

- Inorgánicos: Compuestos a base de azufre, cobre o arsénico (poco comunes hoy por su alta toxicidad).
- Orgánicos Sintéticos: Organofosforados, Carbamatos, Piretroides, Neonicotinoides
- Biológicos: Derivados de plantas como el Neem, Rotenona, entre otras o de microorganismos ejemplo *Bacillus thuringiensis*.

Según su Modo de Acción el Comité de Acción de Resistencia a Insecticidas (IRAC) ha establecido un sistema de clasificación que organiza los insecticidas y acaricidas según su sitio de acción molecular. Esta clasificación es vital para prevenir la resistencia. Según su modo de acción, los principales grupos de insecticidas afectan el sistema nervioso y muscular, el crecimiento y desarrollo, la respiración celular o el intestino medio de los insectos (IRAC, 2025).

En la clasificación IRAC, las letras (A, B, C, D, etc.) representan el grupo químico (molécula) y los numero el sitio donde actúa (sistema nervioso, sistema digestivo, o el crecimiento (Tabla 2).

Si dos productos tienen el mismo número, aunque tengan nombres comerciales distintos, están atacando el mismo sitio (IRAC, 2025). En consecuencia, si se usa el Grupo 1A y luego el 1B, el insecto sobreviviente al primero probablemente ya es resistente al segundo. Para evitar la resistencia, la regla es rotar entre números diferentes, no solo entre marcas comerciales.

La clasificación IRAC se resumen en la Anexo 1.

Tabla 2.Nomenclatura para identificar insecticidas clasificación IRAC

Elemento	Representa	Función
Número (ej. 1, 3, 4)	Sitio de Acción	Identificar el órgano o proceso vital afectado.
Letra (ej. A, B, C)	Subgrupo Químico	Diferenciar la estructura química de la molécula.
Combinación (ej. 4A)	Identidad Única	Permite al técnico saber exactamente qué está aplicando.

Fuente: Elaboración propia

Los insecticidas también pueden clasificarse de acuerdo con la vía mediante la cual el producto penetra en el organismo del insecto para ejercer su efecto biológico (Dent, 2000; Singh, 2024). En este sentido, se distinguen diferentes vías de acción (Tabla 3): insecticidas de contacto, que actúan cuando el insecto entra en contacto directo con los tejidos tratados de la planta; insecticidas de ingestión, cuya acción se

produce al consumir superficies vegetales tratadas o cebos tóxicos; e insecticidas sistémicos, que son absorbidos por la planta y translocados a través de la savia. En este último caso, los insectos con aparato bucal picador-chupador incorporan el insecticida durante la alimentación, lo que permite un control eficiente de este tipo de plagas.

Tabla 3.Clasificación de insecticida por via de entrada en el insecto

Vía de Entrada	Descripción Técnica	Aplicación Principal
Contacto	El insecticida penetra a través del exoesqueleto del insecto al tocar el residuo en la planta.	Insectos móviles que caminan sobre superficies tratadas: ejemplo coleopteros, hemipteros
Ingestión	El compuesto debe ser consumido junto con el tejido vegetal para actuar en el sistema digestivo.	Larvas y adultos de insectos masticadores (ej. orugas, escarabajos).
Fumigantes	El producto actúa en estado gaseoso, penetrando por los espiráculos del sistema respiratorio.	Plagas de productos almacenados o insectos en lugares de difícil acceso.
Sistémicos	La planta absorbe el químico y lo transloca vía xilema o floema a otros tejidos.	Insectos succionadores (pulgones, moscas blancas) y minadores.

Fuente: Elaboración propia

El nivel toxicológico constituye otro criterio para clasificar los insecticidas, pues indica su peligrosidad aguda para la salud humana. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece cuatro clases: Ia, extremadamente peligrosos; Ib, altamente peligrosos; II, moderadamente peligrosos; y III, ligeramente peligrosos. Además,

incluye una categoría para productos que probablemente no generan un peligro agudo bajo condiciones normales de uso (Tabla 4).

Tabla 4.Clasificación toxicológica de insecticidas según la OMC

Categoría	Color internacional	Palabra de advertencia	Toxicidad oral (mg/kg)	Toxicidad dérmica (mg/kg)	Toxicidad por inhalación (mg/L)
I – Altamente tóxico	🔴 **Rojo**	**VENENO**	0 – 50	0 – 200	0 – 0,2
II – Moderadamente tóxico	🟡 **Amarillo**	**ADVERTENCIA**	50 – 500	200 – 2 000	0,2 – 2,0
III – Ligeramente tóxico	🔵 **Azul**	**PRECAUCIÓN**	500 – 5 000	2 000 – 20 000	2,0 – 20
IV – Relativamente no tóxico	🟢 **Verde**	**PRECAUCIÓN**	≥ 5 000	≥ 20 000	≥ 20

Nota: El código de colores facilita la identificación rápida del nivel de peligro y es ampliamente utilizado en etiquetas de plaguicidas para la gestión del riesgo, capacitación de aplicadores y programas de manejo integrado de plagas.

La clasificación toxicológica se basa en la dosis letal media (DL_{50}) para exposiciones oral o dérmica; en inhalación se emplea la concentración letal media (CL_{50}). Estos indicadores orientan el etiquetado, la regulación y la selección de insecticidas de menor riesgo (WHO, 2019; Damalas & Koutroubas, 2020). Se estiman mediante bioensayos con dosis crecientes, controles, corrección de la ecuacion de Abbott y

regresión Probit, que calcula la respuesta del 50 % y sus intervalos de confianza al 95 %.

En función de la categoría toxicológica y el nivel de daño que representan para los sistemas agrícolas como el banano, los insecticidas pueden analizarse no solo por su eficacia contra las plagas, sino también por su impacto económico, ambiental y comercial (Tabla 5). Los insecticidas clasificados en la Categoría I (altamente tóxicos), aunque históricamente eficaces para el control de trips y picudos en banano, representan un alto riesgo para la industria bananera debido a su elevada toxicidad, los efectos adversos sobre la salud de los trabajadores y las estrictas restricciones regulatorias y comerciales; su uso puede derivar en rechazos de exportación y pérdida de certificaciones internacionales. La Categoría II (moderadamente tóxicos) incluye productos ampliamente utilizados que permiten un control efectivo de plagas clave; sin embargo, su uso inadecuado puede generar residuos por encima de los límites máximos permitidos y afectar la aceptación del producto en mercados internacionales. En comparación con las categorías de mayor peligrosidad, los insecticidas de la categoría III, considerados ligeramente tóxicos, presentan un menor riesgo y pueden incorporarse con mayor facilidad a los programas de manejo integrado, siempre que demuestren eficacia y selectividad. Por su parte, los productos de la categoría IV poseen el nivel más bajo de toxicidad aguda. Su uso responsable en la producción bananera contribuye a disminuir los riesgos para los trabajadores, el ambiente y la comercialización, además de favorecer el cumplimiento de las exigencias de los mercados de exportación.

Tabla 5.Clasificación toxicológica de insecticidas utilizados en el cultivo de banano

Categoría OMS	Color	Rango de toxicidad oral (mg/kg)	Ejemplos de insecticidas usados en banano	Principales plagas objetivo
I – Altamente tóxico	Rojo	0 – 50	Metamidofos*, Carbofurán*	Trips, picudos (*uso restringido o prohibido*)
II – Moderadamente tóxico	Amarillo	50 – 500	Clorpirifos, Cipermetrina	Trips, picudos, gusanos defoliadores
III – Ligeramente tóxico	Azul	500 – 5 000	Imidacloprid, Lambda-cihalotrina	Trips, pulgones, mosca blanca
IV – Relativamente no tóxico	Verde	≥ 5 000	Azadiractina, Spinosad, *Bacillus thuringiensis*	Trips, lepidópteros, manejo preventivo

Fuente: Elaboración propia

2.4 Cálculo de dosis para control de plagas con insecticidas

Para calcular de forma precisa y técnicamente correcta la dosis de un insecticida por hectárea, es fundamental diferenciar entre la dosis del producto comercial, que corresponde a la cantidad indicada en la etiqueta, y el volumen de aplicación, que hace referencia al agua utilizada como vehículo para su distribución en el cultivo. El establecimiento de la dosis adecuada se basa en el contenido de ingrediente activo (i.a.), su concentración en la formulación y la

recomendación de la fabricante expresada por unidad de superficie. El principio central de este cálculo consiste en garantizar que en el campo se aplique la cantidad exacta de ingrediente activo por hectárea necesaria para lograr un control eficaz de la plaga, ajustando proporcionalmente la cantidad de producto comercial en función de su concentración, sin confundirla con el volumen de agua empleado para la aplicación.

Dent (2000) recomienda para el control de plagas dividir el proceso en tres pasos:

1. Identificar la dosis de la etiqueta

La etiqueta del producto suele expresar la dosis de dos formas:

- Dosis por superficie**:** Ejemplo: 1.5 litros por hectárea (L/ha) o 500 gramos por hectárea (g/ha).
- Dosis por concentración: Ejemplo: 200 ml por cada 100 litros de agua (0.2%).

Nota: La concentración debe expresarse en fracción decimal.

Para el cálculo del producto comercial (insecticida) se utiliza la ecuación 1.

$$Dosis\ comercial\ \left(g\ o\ \frac{kg}{ha}\right) = \frac{dosis\ recomendada\left(g\ o\ \frac{kg}{ha}\right)}{concentracion\ de\ ia\ en\ el\ producto} \qquad (1)$$

2.5 Ejemplo práctico

2.5.1 Datos del insecticida

- Ingrediente activo: Azadiractina
- Concentración del producto: 3 % i.a.
  (equivale a 30 g de i.a. por litro)
- Recomendación del fabricante: 90 g de i.a./ha

Primer se convierte la concentración de 3% de i.a indicado en la etiqueta del producto a g/L.

30% = 0,03 = 30 g de i.a

Segundo se aplica la ecuación 1:

$$Dosis\ comercial\ \left(\frac{L}{ha}\right) = \frac{90\ g\ de\ i.a\ ha}{30\ g\ de\ i.a\ L}$$

Dosis comercial = 3 L $ha^{-1.}$

Esto significa que, para aplicar 90 g de i.a por hectárea, se deben aplicar 3 litros del producto comercial por hectárea.

2. Calibración del Equipo: gasto de agua

Antes de aplicar el insecticida, debes saber cuánta agua gasta el equipo aplicador (mochila, tractor o dron) en una hectárea. Para esto se realiza una prueba en blanco:

1. Mide un área de 100 metros cuadrados (10 m x 10 m).

2. Llena el tanque con agua limpia y pulveriza el área a una velocidad y presión constantes.
3. Mide cuánto agua gastaste.
4. Cálculo: Si gastaste 4 litros en 100 m^2, para una hectárea (10 000 m^2) gastarás 400 litros de agua.

3. Fórmulas de Cálculo

Una vez que conoces tu gasto de agua (Volumen de aplicación) y la dosis es por Hectárea se utiliza la ecuación 2.

$$Cantidad\ por\ producto(L) = \frac{(\text{Dosis comercial (L ha-1)} \times \text{Capacidad del tanque (L)}}{100}$$

(2)

2.6 Ejemplo práctico

- Dosis recomendada: 1,2 L ha-1.
- Capacidad de tu tanque: 20 litros.
- Gasto de tu equipo (calibrado): 200 L ha^{-1}

Calculo: (1,2 L ha^{-1} x 20 L)/ 200 L ha^{-1} = 0,12 L (o 120 ml) por 20 L de agua.

2.7 Umbral de económico de daño

El umbral económico indica cuándo intervenir antes de alcanzar el nivel de daño económico (NDE), donde las pérdidas igualan el costo del control. Su estimación requiere muestreos para cuantificar la población de insectos herbívoros y relacionar su densidad con la reducción del rendimiento o la calidad del producto.

El muestreo debe considerar el estadio del cultivo, la distribución de la plaga y condiciones ambientales que afectan su desarrollo. También considera el valor del cultivo, la eficacia del tratamiento y los costos del insecticida y su aplicación.

Este enfoque es fundamental dentro del manejo integrado de plagas, ya que optimiza el uso de insecticidas, reduce impactos ambientales y minimiza el riesgo de resistencia.

El Nivel de Daño Económico (NDE) se calcula estimando el punto en el cual el costo del daño causado por la plaga es igual al costo del control químico. El método más utilizado en entomología económica se basa en la siguiente ecuación 3:

$$NDE = \frac{C}{V \times D \times K} \qquad (3)$$

Donde:

- **C** = Costo del control por unidad de área (USD/ha)
- **V** = Valor del cultivo por unidad de rendimiento (USD/kg o USD/t)
- **D** = Daño causado por unidad de plaga (pérdida de rendimiento por insecto)
- **K** = Eficiencia del control (proporción de reducción de la plaga, 0–1)

El valor de K se obtiene de la ecuación 4 de Abbott (1924).

$$K = \frac{Nc - Nt}{Nc}$$

(4)

Donde:

- Nc = Número de insectos vivos en el testigo sin tratamiento
- *Nt* = Número de insectos vivos en el tratamiento

El resultado se expresa como proporción (0–1) o como porcentaje (%).

2.8 Ejemplo práctico

Supongamos el siguiente escenario en un cultivo agrícola:

- Costo del insecticida y aplicación (C) = 40 USD/ha
- Precio del cultivo (V) = 0,50 USD/kg
- Daño por insecto (D) = 2 kg/ha por insecto
- Eficiencia del control (K) = 0,8 (80 %)
- $K = \frac{40\ UDS\ ha{-}1}{0{,}50\ USD\ kg{-}1 \times 2\ kg\ ha{-}1 \times 0{,}8}$

  = 50 insectos

Esto significa que cuando la población de la plaga alcanza 50 insectos por hectárea, el daño económico que causan es equivalente al costo del control químico. Por encima de este valor, el uso del insecticida es justificable.

2.9 Conclusión General

El control químico mantiene un rol relevante en la protección fitosanitaria, especialmente cuando las poblaciones de plagas superan el umbral económico. Sin embargo, su eficacia y sostenibilidad dependen del conocimiento del modo de acción de los insecticidas, la rotación de ingredientes activos y la evaluación de los riesgos toxicológicos y ambientales. La clasificación IRAC orienta la rotación y ayuda a disminuir la presión de selección de resistencia, mientras que la calibración de los equipos y el cálculo correcto de la dosis mejoran la cobertura y reducen pérdidas por deriva. De esta manera, el control químico deja de emplearse como una medida aislada y se integra con prácticas biológicas, culturales y de monitoreo dentro del manejo integrado de plagas.

2.10 Actividad Asincrónica

Título: Auditoría de etiquetas de plaguicidas.

Instrucciones: Busque la etiqueta de un insecticida comercial de uso común en su región. Identifique el ingrediente activo, y las advertencias de toxicología ambiental (banda toxicológica). Busque su codifo IRAC e investigue si existen reportes de resistencia para ese ingrediente activo en los últimos 10 años y proponga dos productos con diferente modo de acción para realizar una rotación para un determinado cultivo.

2.10.1 ***Cuestionario***

1. **¿Qué significan las siglas IRAC?**

    a) Instituto de Reforma Agraria y Campo.

b) Insecticide Resistance Action Committee.
c) International Research on Agricultural Control.
d) Integración de Resistencia y Aplicación Química.

2. ¿En qué parte del insecto actúan las diamidas (Grupo 28)?

a) Sistema digestivo.
b) Receptores de rianodina (músculo).
c) Producción de quitina.
d) Respiración celular.

3. ¿Cuál es el principal riesgo del uso repetitivo de un solo modo de acción?

a) Fitotoxicidad en el cultivo.
b) Desarrollo de resistencia genética.
c) Aumento del costo del producto.
d) Mayor evaporación del químico.

4. La resistencia metabólica ocurre cuando la plaga:

a) Cambia su comportamiento de alimentación.
b) Desarrolla enzimas que degradan el insecticida.
c) Tiene una piel más gruesa.
d) Se desplaza a otras plantas.

5. ¿Qué es la deriva de aplicación?

a) El tiempo que el producto tarda en secar.
b) El movimiento del químico fuera del área objetivo.
c) La mezcla de dos o más productos.
d) La penetración del producto en la hoja.

6. ¿Qué tecnología ayuda a reducir la deriva?

a) Boquillas de inducción de aire.
b) Mayor presión en la bomba.
c) Aplicación en horas de mayor sol.
d) Uso de dosis más altas.

7. El "cross-talk" en resistencia ocurre cuando:

a) Dos insectos se comunican.
b) Una sola mutación confiere resistencia a varios grupos químicos.
c) La planta ayuda al insecto a sobrevivir.
d) El producto químico no se mezcla con agua.

8. ¿Qué grupo de insecticidas ha sido cuestionado por su impacto en abejas?

a) Aceites minerales.
b) Neonicotinoides.
c) Extractos de ajo.
d) Jabones potásicos.

9. ¿Para qué sirve el código FRAC?

a) Clasificar herbicidas.
b) Clasificar fungicidas según riesgo de resistencia.
c) Medir la toxicidad en humanos.
d) Calcular la dosis por hectárea.

10. Un adyuvante se utiliza para:

a) Reemplazar el ingrediente activo.
b) Mejorar la eficiencia y adherencia de la mezcla.

c) Aumentar el volumen de agua.
d) Eliminar la necesidad de rotación.

Respuestas: 1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6a, 7b, 8b, 9b, 10

2.10.2 Glosario Técnico

1. Acetilcolinesterasa: Enzima que interrumpe la transmisión nerviosa; objetivo de organofosforados.
2. Adyuvante: Sustancia añadida a la mezcla para mejorar la aplicación.
3. Antagonismo: Cuando la mezcla de dos productos reduce la eficacia de ambos.
4. Banda toxicológica: Código de colores que indica la peligrosidad del producto para humanos.
5. Citocromo P450: Familia de enzimas involucradas en la desintoxicación metabólica de plagas.
6. Deriva: Desplazamiento aéreo de gotas de plaguicida fuera del blanco.
7. Diamidas: Grupo químico moderno que actúa sobre el calcio muscular del insecto.
8. Dosis subletal: Cantidad de tóxico que no mata, pero altera el comportamiento o fisiología.
9. Efecto residual: Tiempo que el producto permanece activo tras la aplicación.
10. Estrobilurinas: Fungicidas que inhiben la respiración mitocondrial del hongo.
11. Fitotoxicidad: Daño causado por un producto químico a la propia planta cultivada.

12. Ingrediente activo: La molécula responsable del efecto tóxico sobre la plaga.
13. LD50: Dosis Letal Media; cantidad que mata al 50% de una población de prueba.
14. Modo de acción: Interacción física o química específica entre el plaguicida y el sitio objetivo.
15. Neonicotinoides: Insecticidas sistémicos que actúan sobre el sistema nervioso central.
16. Persistencia: Capacidad de una molécula de permanecer en el ambiente sin degradarse.
17. Presión de selección: Uso de un agente que favorece la supervivencia de individuos resistentes.
18. Resistencia cruzada: Cuando la resistencia a un producto confiere resistencia a otros del mismo grupo.
19. Sistémico: Producto que es absorbido y traslocado por la savia de la planta.
20. Umbral de daño económico: Densidad de población de la plaga donde el costo del control iguala al daño causado.

CAPÍTULO III

3 CONTROL FÍSICO Y MECÁNICO DE PLAGAS

3.1 Resumen

El control físico y mecánico de plagas constituye un conjunto de estrategias fundamentales dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP), orientadas a la exclusión, captura o eliminación directa de insectos herbívoros mediante la manipulación del entorno o el uso de dispositivos específicos. A diferencia del control químico, estos métodos presentan bajo impacto ambiental, mínima afectación a organismos no objetivo y nula presión de selección genética, lo que los convierte en herramientas estratégicas frente a la resistencia a insecticidas. El capítulo organiza los métodos físicos y mecánicos en tres grupos: pasivos, activos y misceláneos. A partir de esta clasificación, examina barreras físicas, embolsado de frutos, películas de partículas, acolchados, remoción manual, trampas cromáticas y adhesivas, cebos tóxicos y sistemas eléctricos. También aborda técnicas basadas en la temperatura, aireación, inundación y modificación de las condiciones ambientales, aplicables en campo, poscosecha y almacenamiento. Como caso de estudio, se analiza el cultivo de banano para mostrar cómo el control mecánico contribuye a reducir plagas clave y puede integrarse con otras tácticas del manejo integrado de plagas (MIP) en sistemas agrícolas sostenibles.

Palabras clave: barreras físicas; trampas cromáticas; manejo integrado de plagas; agricultura sostenible

Objetivos de aprendizaje

Diferenciar los conceptos de control físico y mecánico de plagas y su rol dentro del Manejo Integrado de Plagas.

Clasificar los métodos físicos y mecánicos en pasivos, activos y misceláneos, reconociendo sus principios de funcionamiento.

3.2 Introducción

Como estrategia fundamental en el manejo integrado de plagas, el control físico y mecánico agrupa prácticas destinadas a la exclusión o destrucción directa de artrópodos herbívoros en general logrando la reducción poblacional sin recurrir a agentes químicos o biológicos (Matsuda, et al., 2022). En el control por métodos físicos se modifica los factores abióticos (temperatura, humedad, radiación y sonido) para interrumpir su ciclo biológico de modo que no represente una amenaza para el cultivo (Vincent et al., 2003; Vincent, Weintraub & Hallman 2009). En los métodos mecánicos se emplean dispositivos para captura (trampas, cebos), eliminar o excluir a la plaga (barreras físicas, recolección manual, mallas anti insectos, etc.), en este caso se basan en el uso de técnicas para matar directamente a la plaga (Vincent et al., 2009; Thakur et al., 2021).

A diferencia del control químico, esta estrategia implica un mínimo de sustancias tóxicas (solo en los casos de cebos alimenticios), lo que minimiza los riesgos ambientales, la afectación a organismos no objetivo y la resistencia en las poblaciones de plagas herbívoras (Dent, 2000; Yadav et al., 2026).

En el contexto actual de la agricultura sostenible, el control mecánico ha cobrado relevancia debido a las crecientes restricciones regulatorias

sobre plaguicidas, la demanda de alimentos libres de residuos y la necesidad de reducir el impacto ambiental de los sistemas agrícolas (Jobe et al., 2024). Diversos estudios destacan que la integración de métodos fisicos y mecánicos permite disminuir significativamente la dependencia de insecticidas sintéticos, especialmente cuando se aplican de forma preventiva y combinada con otras tácticas del Manejo integrado de plagas, como el control biológico (Vincent et al., 2003; Yadav et al., 2026). Pero su eficacia depende en gran medida del conocimiento de la biología de la plaga, del momento de aplicación y de la intensidad de la infestación (Adhikari, 2022; Thakur et al., 2021).

A diferencia de los insecticidas de acción neurotóxica o sistémica, los métodos mecánicos no generan presión de selección genética, lo que los convierte en herramientas estratégicas para el manejo de poblaciones resistentes. Además, presentan alta compatibilidad con el control biológico, ya que no afectan de manera directa a parasitoides, depredadores o polinizadores.

3.3 Categorías de los métodos físicos y mecánicos

Vincent et al., (2003) y Vincent et al., (2009) categorizaron los métodos físicos y mecánicos para el control de plagas en:

Estas prácticas se distinguen por tres enfoques principales.

Métodos pasivos: barreras físicas como mallas, cercas y zanjas, junto a dispositivos de captura (películas de partículas, trampas cromáticas y adhesivas) que funcionan sin intervención energética externa.

Métodos activos: implican energía o movimiento deliberado — aspirado neumático, impacto mecánico para moler insectos en granos, tratamientos térmicos agresivos (calor extremo o congelación) y herramientas electromagnéticas.

Aplicaciones especializadas: tratamientos puntuales como inmersiones en agua caliente de frutas contra larvas de moscas de la fruta, o almacenamiento refrigerado, que aprovechan principios físicos específicos del cultivo.

3.4 Principales métodos de control mecánico

Barreras física

El uso de barreras constituye una estrategia preventiva fundamental que consiste en impedir mecánicamente el acceso de los insectos al cultivo mediante el uso de mallas antiinsectos, bolsas o fundas para proteger la fruta, protectores individuales, cubierta plásticas, películas de partículas (film) etc., (Figura 9). Estas técnicas han demostrado ser altamente eficaces para reducir poblaciones de insectos herbívoros y vectores de virus, del orden Thysanoptera (trips), y especímenes del orden Hemiptera (áfidos, mosca blanca y cochinillas particularmente en cultivos hortícolas y frutales (Adhikari, 2022). De acuerdo con Vincent et al. (2009), la efectividad de estos métodos radica en la interrupción física del ciclo de dispersión y colonización, estableciendo una barrera que limitan la supervivencia y el desarrollo de las plagas sin necesidad de recurrir a intervenciones químicas (Thakur et al., 2021).



Figura 9. Barrera física para prevenir el ataque de insectos herbívoros.

La selección del tamaño de malla (número de aberturas por pulgada-*mesh*) depende de la morfología del insecto y las necesidades del cultivo. Plagas de dimensiones reducidas como los trips (Familia Thripidae), las moscas blancas (Familia Aleyrodidae) o los pulgones (Familia Aphididae) requieren poros finos (50–80 mesh), mientras que insectos de mayor envergadura como los lepidópteros (Familias Noctuidae, Pyralidae, entre otras) o coleópteros (Familia Chrysomelidae, Curculionidae, entre otras) pueden controlarse con mallas de 20–40 mesh (Thakur et al., 2021).

Las mallas se pueden colocar de manera directa sobre la planta o en un órgano en particular o en estructuras como invernaderos o túneles (Figura 10). La densidad de malla presenta un compromiso operativo: aumenta la exclusión de insectos pero eleva simultáneamente temperatura y humedad relativa bajo la barrera, predisponiendo al estrés térmico. Cuando se instalan en túneles o directamente sobre plantas, estas estructuras reducen la colonización de plagas y la transmisión de virus en 70–90 %, manteniendo un crecimiento vegetal comparable al

de cultivos no protegidos, siempre que incorporen ventilación adecuada (Adhikari, 2022; Vincent et al., 2003).



Figura 10.Túneles con malla para proteger al cultivo de insectos herbívoros.

El embolsado de frutos (Bagging), es otro método mecánico de tipo pasivo. Se considera una opción a la pulverización de pesticidas para el manejo de la mosca de la fruta debido a su alta eficacia y la ausencia de residuos químicos. El envolver o embolsar a frutos de manera individuales con bolsas de papel, polietileno o redes en cultivos como: guayaba, mango o manzanas, protege hasta el 95% de los frutos contra las moscas de la fruta, trips y otras plagas (Figura 11).



Figura 11.Embolsado de frutas

Las películas de partículas es una barrera física que actúa como medio de exclusión y supresión de plagas herbívoras. Entre las películas tenemos el uso de caolín (hidróxido de silicato de aluminio), altamente efectivo porque interrumpe el reconocimiento de la superficie de la planta por parte del artrópodo, lo que reduce significativamente la alimentación y la puesta de huevos (oviposición) de una amplia gama de insectos, incluyendo hemiptero (familia pysllidae, familia aphyllidae) y coleoptero (Thakur et al., 2021). Además de controlar plagas, estas películas ayudan a reducir el estrés por calor en los árboles y pueden matar algunos patógenos fúngicos.

Terán et al. (2023) demostraron que la aplicación de caolín en plantas de cítricos (*Citrus* spp.) redujo significativamente la infestación de insectos herbívoros clave, entre ellos *Thrips palmi* (Thysanoptera), *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) y *Ceratitis capitata* (Diptera), bajo condiciones controladas (Figura 12). La película de caolín interfirió con el reconocimiento del hospedero al alterar las señales visuales y táctiles, lo que se tradujo en una reducción significativa del daño foliar y en frutos. Como consecuencia, se observó una mejora en la calidad comercial de la cosecha, sin efectos negativos sobre el crecimiento vegetativo de las plantas.

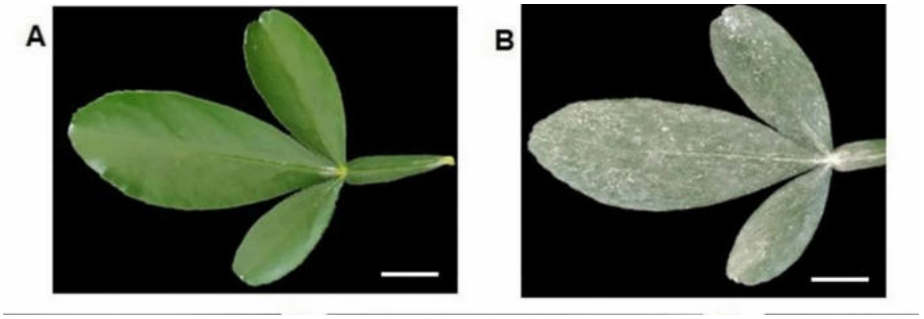


Figura 12.Comparación de hojas de Cítricos: sin caolín (A) y hojas con caolín (B)

Fuente: Teran et al., (2024)

El acolchado con plástico es un método mecánico altamente efectivo para repeler pulgones vectores, reduciendo drásticamente la transmisión de virus como el del mosaico de la sandía hasta en un 94% (Johnson, Hough-Goldstein & Vangessel 2004). También el acolchado con material vegetal verde o seco también es eficaz de forma indirecta, ya que favorece la presencia de depredadores naturales (como mariquitas y crisopas) que controlan las poblaciones de plagas (Figura 13).



Figura 13.Acolchado con plástico

La remoción manual y la destrucción directa representan las formas más antiguas y directas de control mecánico, consistiendo en la recolección física de los insectos o sus estructuras biológicas (huevos, larvas, ninfas) para su posterior eliminación (Figura 14). El control manual funciona en pequeños predios donde plagas gregarias de movimiento lento permiten recolección directa. Según Thakur et al. (2021), combina dos prácticas: eliminación de posturas de huevos y captura de larvas en agregación, reduciendo poblaciones antes de su dispersión (Adhikari, 2022). Este enfoque genera control inmediato, aunque su viabilidad económica depende de la disponibilidad de mano de obra y de densidades de plaga que justifiquen el esfuerzo. Aunque requieren una inversión considerable en mano de obra, son herramientas fundamentales en programas de manejo integrado de plagas (MIP) para evitar explosiones poblacionales sin el uso de químicos (Vincent et al., 2003; Yadav et al., 2026).



Figura 14,Recolección manual de insectos en diferente ciclo biológico

Generado con: Gemini IA

3.5 Trampas mecánicas

Las trampas constituyen una herramienta central del control mecánico de categorizada como activo, y cumplen funciones tanto de monitoreo como de control poblacional de plagas. Entre las más utilizadas se encuentran las trampas cromáticas, adhesivas, trampas de caída, trampas cebadas y trampas de luz (Li et al., 2017).

Las trampas cromáticas amarillas, azules y blancas han demostrado alta eficacia para la captura de trips, áfidos, mosca blanca y ácaros (Figura 15), permitiendo además la estimación de densidades poblacionales y la determinación de umbrales de acción (Santer & Allen, 2023). Estas

trampas por lo general tienen un adhesivo que fija al insecto a la superficie.

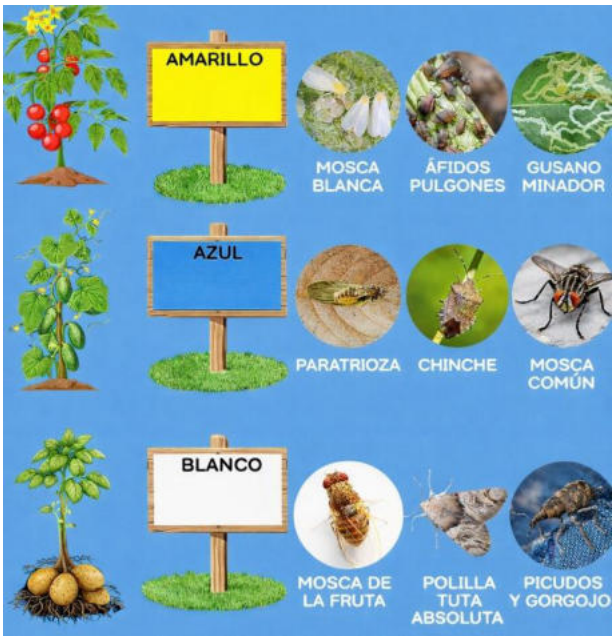


Figura 15.Trampas cromáticas para capturas de insectos

Generado con: Gemini IA

La eficacia de las trampas cromáticas se explica en la siguiente Tabla (6):

Tabla 6. Eficacia de las Trampas Cromáticas en el Control de Plagas.

Factor de Eficacia	**Descripción Técnica y Fundamento**	**Ejemplos de Respuesta por Especie**
Longitud de Onda y Reflectancia	Los insectos poseen fotorreceptores sensibles a rangos específicos (UV, azul, verde). La eficacia depende de que el color de la trampa emule	Amarillo: Alta eficacia para áfidos, moscas blancas y minadores debido a su fuerte reflectancia en el rango

	el estímulo visual de plantas hospederas o sitios de apareamiento.	verde-amarillo (Cabrera, s. f.).
Contraste con el Entorno	La trampa debe destacar frente al follaje. Un mayor contraste visual aumenta la tasa de captura al ser percibida como un "superestímulo".	Azul: Altamente eficaz y específico para Trips (*Thysanoptera*), debido a su baja interferencia con los colores del follaje (Santer & Allen, 2023).
Perspectiva del Insecto	La eficacia real no se mide por el ojo humano, sino por la respuesta de los fotorreceptores del insecto. Colores que nos parecen similares pueden ser radicalmente distintos para la plaga.	Blanco/Amarillo: En *Haplaxius crudus* (vector de la Marchitez Letal), las trampas amarillas y blancas capturan significativamente más adultos que las de otros colores (Arango et al., 2012).
Saturación y Brillo	La intensidad de la luz reflejada influye en la distancia desde la cual el insecto es atraído. Colores fluorescentes suelen aumentar la eficacia.	Trampas con colores optimizados mediante modelos matemáticos de visión pueden duplicar la captura de moscas tsetse y trips (Santer & Allen, 2023).

Las trampas adhesivas de cualquier color colocan cerca del cultivo o dentro del cultivo para interceptar insectos voladores como trips, áfidos y moscas blancas (Figura 16A). Para interrumpir el movimiento de insectos rastreros, como las hormigas, polillas de invierno o la cochinilla del mango, impidiendo que alcancen el follaje o los fruto se coloca bandas adhesivas al redor del tronco (Figura 16B).

A) B)



Figura 16.Trampas cromáticas adhesivas: A) trampas para trips, afidos y mosca blanca; B) trampa para insectos rastreros

Las trampas con cebos tóxicos son herramientas de control que combinan un atrayente con un agente letal para reducir las poblaciones de plagas (Figura 17). Dado que estas trampas utilizan pesticidas como agentes letales, las fuentes indican que es crucial identificar su nivel de peligrosidad a través del color de la etiqueta del producto químico utilizado. En términos generales, las trampas de cebo utilizan un suministro de alimento como atrayente principal, el cual se mezcla con un veneno que no espante al insecto por su olor, garantizando que este entre en contacto con el compuesto tóxico. (Vincent et al. 2003).



Figura 17.Trampas con cebos alimenticio (cascara de piña) en banano para atraer curculiónidos

La eficiencia del cebo con el comportamiento biológico en los insectos es variable (Tabla 7). En el orden díptera, que incluye moscas domésticas y moscas de la fruta, la eficiencia es alta, debido a su elevada movilidad y fuerte dependencia de estímulos olfativos, como proteínas hidrolizadas y feromonas, lo que permite implementar con éxito sistemas de "atracción muerte" para capturas masivas (Thakur et al., 2021). En lepidoptera, la eficiencia es alta pero específica, ya que depende de la correcta combinación de atrayentes químicos y trampas mecánicas, aprovechando el comportamiento reproductivo, especialmente la búsqueda de pareja por parte de los machos (Yadav et al., 2026). En el caso de coleoptera, la eficiencia es moderada, dado que se trata de insectos más robustos, con hábitos rastreros o subterráneos, lo que exige cebos altamente persistentes basados en alimentos fermentados o feromonas de agregación (Adhikari, 2022). Finalmente,

en hymenoptera, la eficiencia es variable, pero puede ser muy alta en hormigas, ya que su comportamiento social permite la transferencia del cebo al interior del nido, ocasionando la eliminación progresiva de la colonia completa (FAO, 2011).

Tabla 7. Eficiencia de cebos tóxicos por orden de insectos.

Orden	**Eficiencia**	**Fundamento del Cebo y Comportamiento**
Diptera (Moscas)	Alta	Su alta movilidad y dependencia de estímulos olfativos (proteínas hidrolizadas o feromonas) permiten capturas masivas. Las trampas tipo "atracción-muerte" son muy eficaces en dípteros como las moscas de las frutas (Thakur et al., 2021).
Lepidoptera (Polillas/Mariposas)	Alta / Específica	La eficiencia es máxima cuando se combinan cebos químicos (atrayentes) con trampas mecánicas. Se aprovecha su comportamiento de búsqueda de pareja para atraer machos hacia estaciones con insecticidas de contacto o ingestión (Yadav et al., 2026).
Coleoptera (Escarabajos)	Moderada	Al ser insectos más robustos y con hábitos a menudo rastreros o subterráneos, el cebo debe ser muy persistente. Es común el uso de cebos alimenticios fermentados o feromonas de agregación que los

		conducen a un recipiente con veneno (Adhikari, 2022).
Hymenoptera (Hormigas/Vespón)	Variable	En hormigas, la eficiencia es alta debido a su comportamiento social; el cebo es transportado al nido, logrando la destrucción de la colonia entera por efecto de transferencia (FAO, 2011).

Fuente: Elaboración propia

3.6 Métodos activos de control mecánico

Control neumático: Emplea máquinas de aspir (succión) o soplado (presión positiva) para desalojar insectos del dosel vegetal. Los especímenes capturados en la corriente de aire mueren al ser impulsados contra las turbinas internas.

Impacto mecánico: Utiliza equipos centrífugos (típicamente módulos de molinos para granos) que generan choques violentos contra superficies de acero, destruyendo indiscriminadamente todos los estadios ontogenéticos del insecto, incluyendo huevos y pupas.

Lavado con agua a presión: Consiste en dirigir chorros fuertes de agua sobre el follaje para remover mecánicamente plagas de cutícula delgada —áfidos, cochinillas, ácaros— sin requerir productos químicos.

Sacudidas y golpes

Agitar árboles o arbustos temprano por la mañana para que los insectos inactivos caigan en recipientes para su destrucción.

Trampas eléctricas

Las trampas eléctricas y los sistemas basados en campos eléctricos representan una categoría avanzada de control físico activo que utiliza la energía eléctrica para capturar, eliminar o repeler plagas agrícolas (Figura 18). Según las fuentes, estos métodos se han diversificado desde las tradicionales trampas de luz hasta sofisticadas pantallas electrostáticas.



Figura 18.Tipos de trampas eléctricas para control de insectos

Métodos físicos

Los métodos físicos se utilizan para manipular el entorno de plagas en durante la producción, la cosecha, la postcosecha y en el almacenamiento de los productos (Patel & Rahul 2024).

Entre los métodos físicos se tienen:

3.6.1 Sistema térmico

En el campo la exposición a rayos solares para eliminar plagas en semillas almacenadas como el gorgojo del arroz (*Sitophilus oryzae*) es una alternativa menos costosa que el flameado que consiste en la generación de fuego directo mediante equipos especializados para elevar la temperatura de los insectos por encima de su límite letal de forma instantánea (Patel & Rahul 2024).

En el ámbito de la desinfestación térmica en la poscosecha, se han desarrollado calentadores eléctricos para elevar la temperatura de las instalaciones de procesamiento de alimentos entre 50 y 55 °C durante al menos 48 horas, eliminando así las plagas de productos almacenados sin usar químicos (Vincent et al., 2003; Patel & Rahul 2024). Esta meotod es efectivo contra la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Tambien se utilizan calentadores para elevar la temperatura de almacenes al vacío por encima de los 50 °C durante 10-12 horas. Inmersión de frutas (ej. mango) en agua caliente (40 °C y luego 46 °C) para lograr el 100 % de mortalidad de huevos de la mosca del mango (*Bactrocera dorsalis*). También se utilizan hornos a 56 °C para sanitizar madera.

3.6.2 **Aireación por enfriamiento (Cooling Aeration*)***

Es la técnica más común y consiste en forzar el paso de aire frío a través de la masa de granos almacenada en silos. Debido a la resistencia del grano a bajas temperatura, el enfriamiento no es instantáneo. El control por enfriamiento demanda ciclos repetidos de aireación para mantener temperaturas bajas en toda la masa de grano. En climas templados, cada ciclo de enfriamiento se extiende entre una y dos semanas,

optimizándose mediante aireación nocturna cuando las temperaturas ambientales son más bajas.

Si se logra mantener la temperatura del grano por debajo de −15 °C durante al menos un mes, la mortalidad de insectos es prácticamente total. Este método destaca por su viabilidad económica en almacenamientos de gran volumen, donde el costo energético de refrigeración es marginal comparado con pérdidas por infestación

3.6.3 Inundación del campo (flooding)

Es un método de control físico del suelo que consiste en mantener una lámina continua de agua de al menos 30 cm durante tres a cuatro meses antes de la siembra. El manejo hídrico que induce anoxia transforma el suelo en una zona que suprime oxígeno molecular, eleva concentraciones de CO_2 disuelto y estimula actividad microbiana fermentativa que produce compuestos secundarios como alcoholes, aldehídos y ácidos volátiles. Frente a esta hipoxia, larvas de Noctuidae y otros gusanos cortadores exhiben migración hacia superficie en busca de oxígeno, flotando en el espejo de agua donde se exponen a depredadores naturales o pueden ser cosechadas. Esta perturbación anaeróbica suprime simultáneamente patógenos telúricos como oomicetos y hongos de pudrición radicular, reduciendo la carga de inoculo en el suelo (Adhikari, 2022).

3.7 Ejemplo del control mecánico en el cultivo de banano

En el cultivo de banano, el control mecánico se orienta principalmente a la gestión de plagas clave como trips (*Chaetanaphothrips signipennis*), picudos (*Cosmopolites sordidus*) y nematodos asociados al suelo. Una

de las prácticas más difundidas es la eliminación mecánica de residuos vegetales infestados, lo que reduce refugios y sitios de oviposición para insectos y otros organismos dañinos (Asang et al., 2022).

El uso de trampas físicas, particularmente trampas de pseudotallo para el picudo negro (Figura 19), ha demostrado ser una herramienta eficaz para la captura masiva y el monitoreo poblacional, reduciendo significativamente la presión de la plaga sin recurrir exclusivamente al control químico (Farah et al., 2022).



Figura 19.Trampas para la captura de picudos (Cosmopolites sordidus) en el cultivo de banano

Asimismo, la deshoja sanitaria y la remoción de hojas dañadas contribuyen a disminuir poblaciones de mosca blanca y ácaros en los cultivos de banano y a mejorar la aireación del cultivo, reduciendo condiciones favorables para el desarrollo de plagas.

3.8 Conclusiones Generales

El control mecánico y cultural de plagas representan estrategias esencial dentro del manejo integrado, particularmente en agroecosistemas orientados a la sostenibilidad. Su eficacia depende del conocimiento fisiológico de la plaga, del momento de aplicación y de su integración

con otras tácticas de control. La evidencia científica respalda su papel como herramienta clave para reducir el uso de plaguicidas, mejorar la resiliencia de los agroecosistemas.

3.9 Actividad autónoma

Título: Análisis de métodos físicos en el manejo integrado de plagas

Objetivo:

Analizar métodos de control físico y mecánico adecuados para un cultivo específico, considerando la biología de la plaga, el sistema productivo y los principios del manejo integrado de plagas (MIP).

Instrucciones:

a. Seleccione un cultivo de importancia agrícola en su región (por ejemplo: banano, cítricos, tomate, maíz o mango).
b. Identifique dos plagas clave que afecten dicho cultivo.
c. Para cada plaga, proponga al menos dos métodos de control físico o mecánico descritos en el capítulo (barreras, trampas, películas de partículas, remoción manual, métodos activos, etc.).
d. Justifique su elección considerando:
e. Biología y comportamiento de la plaga
f. Momento de aplicación
g. Compatibilidad con el control biológico
h. Ventajas frente al control químico

1. Presente el análisis en un texto de 600 a 800 palabras, utilizando lenguaje técnico y citando al menos tres referencias del capítulo.

Producto esperado:

Ensayo técnico con introducción, desarrollo y conclusiones, enfocado en agricultura sostenible.

3.10 Cuestionario de evaluación

1. ¿Cuál es el objetivo principal del control físico y mecánico de plagas?

a) Eliminar completamente los insectos mediante químicos
b) Reducir poblaciones mediante exclusión y destrucción directa
c) Incrementar la resistencia genética de las plantas
d) Sustituir el control biológico

2. ¿Qué factor diferencia principalmente al control físico del control mecánico?

a) El uso de trampas
b) La modificación de factores abióticos
c) La captura directa de insectos
d) El empleo de feromonas

3. ¿Cuál de los siguientes factores abióticos es modificado en el control físico?

a) Nutrientes del suelo
b) Temperatura y radiación
c) Composición genética
d) Diversidad vegetal

4.Las mallas antiinsectos con poros de 50–80 mesh son más adecuadas para controlar:

a) Lepidópteros y coleópteros

b) Picudos y escarabajos

c) Trips, pulgones y moscas blancas

d) Gusanos del suelo

5.¿Qué característica hace que los métodos mecánicos no generen resistencia en las plagas?

a) Uso de feromonas
b) Eliminación química selectiva
c) Ausencia de presión de selección genética
d) Alta toxicidad residual

6.El embolsado de frutos es especialmente eficaz para el control de:

a) Nematodos del suelo
b) Moscas de la fruta y trips
c) Ácaros depredadores
d) Hongos patógenos

7. ¿Cuál es el principal mecanismo de acción del caolín en el control de plagas?

a) Toxicidad sistémica
b) Bloqueo de la fotosíntesis
c) Interferencia del reconocimiento del hospedero
d) Deshidratación del insecto

8. Según Terán et al. (2023), la aplicación de caolín en cítricos produjo:

a) Reducción del crecimiento vegetal
b) Aumento del daño foliar
c) Disminución de la infestación de insectos clave

d) Mayor uso de insecticidas

9. Las trampas cromáticas azules son particularmente eficaces para el control de:

a) Moscas de la fruta
b) Coleópteros
c) Trips (Thysanoptera)
d) Hormigas

10. ¿Cuál es la principal ventaja del control mecánico en el cultivo de banano?

a) Elimina completamente las plagas
b) Sustituye el manejo integrado
c) Reduce refugios y presión poblacional sin químicos
d) Incrementa el uso de insecticidas selectivos

Respuestas correctas: 1) b, 2) b, 3) b, 4) c, 5) c, 6) b, 7) c, 8) c, 9) c, 10) c

3.11 Glosario

Acolchado (Mulching): Técnica que consiste en cubrir el suelo con láminas de plástico o material vegetal para repeler plagas, conservar humedad y, en el caso de plásticos reflectantes, reducir la transmisión de virus.

Agua a presión: Método mecánico activo que utiliza chorros de agua fuertes para remover físicamente insectos de cuerpo blando como áfidos, cochinillas y ácaros de las superficies foliares.

***Bacterocera dorsalis*:** Nombre científico de la "mosca del mango", una de las plagas más destructivas en frutales que suele controlarse mediante inmersión térmica en poscosecha.

Barrera física: Dispositivo o material (malla, bolsa, película) que impide mecánicamente el acceso de la plaga al cultivo o a un órgano específico de la planta.

Caolín: Mineral (hidróxido de silicato de aluminio) utilizado para crear una película de partículas sobre las hojas que altera las señales visuales y táctiles de los insectos, impidiendo la alimentación y la puesta de huevos.

Cebos tóxicos: Herramientas de control que combinan un atrayente (alimento o feromona) con un agente letal (veneno) para atraer y eliminar poblaciones específicas de insectos.

Control activo: Categoría de métodos de control que requieren el uso de energía o movimiento directo para eliminar la plaga, como la succión neumática o los tratamientos térmicos.

Control físico: Estrategia que manipula factores abióticos (temperatura, radiación, humedad) para interrumpir el ciclo biológico de la plaga.

Control mecánico: Uso de dispositivos, técnicas manuales o máquinas para capturar, excluir o matar directamente a las plagas.

Control pasivo: Métodos de exclusión que no requieren energía adicional una vez instalados, como las mallas antiinsectos o las zanjas.

Desinfestación térmica: Uso de altas temperaturas (calor) en instalaciones de procesamiento o almacenamiento para eliminar plagas de productos cosechados sin usar químicos.

Embolsado (Bagging): Práctica de envolver frutos individuales en bolsas de papel o redes para protegerlos del ataque de moscas de la fruta y otros insectos.

Entomología neumática: Uso de máquinas que aspiran o soplan para desalojar y destruir insectos de las plantas mediante la fuerza del aire.

Inundación (Flooding): Método de control físico del suelo que genera condiciones anaeróbicas (falta de oxígeno) para asfixiar larvas y patógenos edáficos.

Mallas Antiinsectos: Redes con poros de tamaño específico diseñadas para excluir insectos según su morfología; se miden comúnmente en "mesh" (aberturas por pulgada).

Mesh: Unidad de medida que indica el número de aberturas por pulgada lineal en una malla; a mayor número de mesh, más fino es el poro.

Oviposición: Proceso de puesta de huevos por parte de los insectos hembra; muchas barreras físicas buscan impedir este acto biológico.

Películas de partículas: Capas delgadas de materiales minerales aplicadas sobre el follaje que actúan como barrera táctil y visual.

Trampas cromáticas: Dispositivos que utilizan colores específicos (amarillo, azul, blanco) para atraer insectos basándose en su respuesta visual a ciertas longitudes de onda.

Trampas de pseudotallo: Método mecánico específico utilizado en el cultivo de banano para capturar masivamente al picudo negro (*Cosmopolites sordidus*).

CAPÍTULO IV

4 CONTROL CULTURAL

4.1 Resumen

El control cultural constituye una estrategia fundamental y preventiva dentro del manejo integrado de plagas, basada en la modificación deliberada del agroecosistema para reducir su favorabilidad al establecimiento, desarrollo y reproducción de organismos herbívoros. A través de prácticas agronómicas planificadas, esta estrategia actúa sobre factores ecológicos, temporales y espaciales que regulan la dinámica poblacional de las plagas antes de que alcancen niveles de daño económico. El control cultural reduce la dependencia de insumos químicos al actuar sobre múltiples dimensiones del agroecosistema: mecanismos biológicos de plagas, funcionalidad ecológica, escalas espaciales y ambientes manipulables. Prácticas como rotación de cultivos, ajuste de fechas de siembra, saneamiento, gestión de residuos y manejo hídrico-nutricional interrumpen ciclos de plagas, limitan recursos disponibles y promueven enemigos naturales. La labranza en sus modalidades convencional, reducida, cero y en franjas, son técnicas que se integran con métodos biológicos y químicos, el control cultural genera agroecosistemas resilientes, productivos y ambientalmente responsables.

Palabras clave: manejo integrado de plagas; prácticas agronómicas; etología.

Objetivo de aprendizaje

Comprender los principios y mecanismos del control cultural y su influencia en la dinámica poblacional de plagas herbívoras dentro de los agroecosistemas.

4.2 Introducción

El control cultural constituye una estrategia fundamental en el manejo integrado de plagas herbívoras. Opera modificando deliberadamente el agroecosistema para limitar el establecimiento, desarrollo y reproducción de poblaciones de plagas, usando prácticas agronómicas que alteran las condiciones que estas requieren para prosperar (Sharma et al., 2025). Estas acciones buscan anticiparse al ataque de organismos dañinos, actuando sobre los factores ecológicos y de manejo agronómico que influyen en la dinámica poblacional de plagas antes de que superen los umbrales de daño económico (Anand & Verma, 2025) y contribuyen de forma complementaria a otras tácticas de manejo integrado.

Las prácticas de control cultural comprenden, entre otras, la rotación de cultivos, la diversificación espacial y temporal de especies vegetales mediante intercalado o siembras escalonadas, el ajuste de fechas y densidades de siembra, la selección de variedades tolerantes o resistentes, el saneamiento de campos y el manejo de residuos vegetales y del suelo. Estas prácticas interrumpen los ciclos biológicos de los organismos plaga, reducen la disponibilidad de recursos y hábitats favorables, y pueden favorecer el incremento de enemigos naturales, reduciendo así la presión de plagas en el cultivo (Seemar et al., 2025) y demostrando beneficios tanto en sistemas intensivos como en sistemas de policultivo.

Desde la perspectiva de sostenibilidad ambiental y resiliencia ecológica, el control cultural disminuye la dependencia de insumos químicos, reduciendo los riesgos de contaminación y efectos colaterales negativos sobre organismos benéficos y el medio ambiente. Adicionalmente, al promover una mayor complejidad y estabilidad del agroecosistema, estas prácticas fomentan la conservación de la biodiversidad agrícola y fortalecen la capacidad de los sistemas productivos para responder a variaciones ambientales y desafíos emergentes, alineándose con los objetivos de producción sostenible a largo plazo (Datta et al., 2025).

4.3 Concepto y clasificación del control cultural

El control cultural se define como la manipulación deliberada del agroecosistema para hacerlo menos favorable para el establecimiento, supervivencia y reproducción de las plagas (Gabryś & Kordan, 2022; Hilje et al., 2001). Estos métodos pueden clasificarse de diversas maneras dependiendo de los mecanismos biológicos, el objetivo funcional o la escala de aplicación (Hilje et al., 2001; Shimada et al., 2021).

A continuación, se presenta la clasificación de los métodos de control cultural:

4.4 Clasificación según Mecanismos Biológicos y Ecológicos

Esta clasificación se basa en cómo la práctica afecta la interacción entre la plaga y el cultivo (Hilje et al., 2001). Busca separar temporalmente el cultivo de las fuentes de la plaga herbívoros o de los patógenos que las afectan (Hilje et al., 2001). Ejemplos: periodos libres de cultivo,

asociación de cultivos, rotación de cultivos, alteración de las fechas de siembra, alta densidad de siembra y eliminación de residuos (Figura 20).

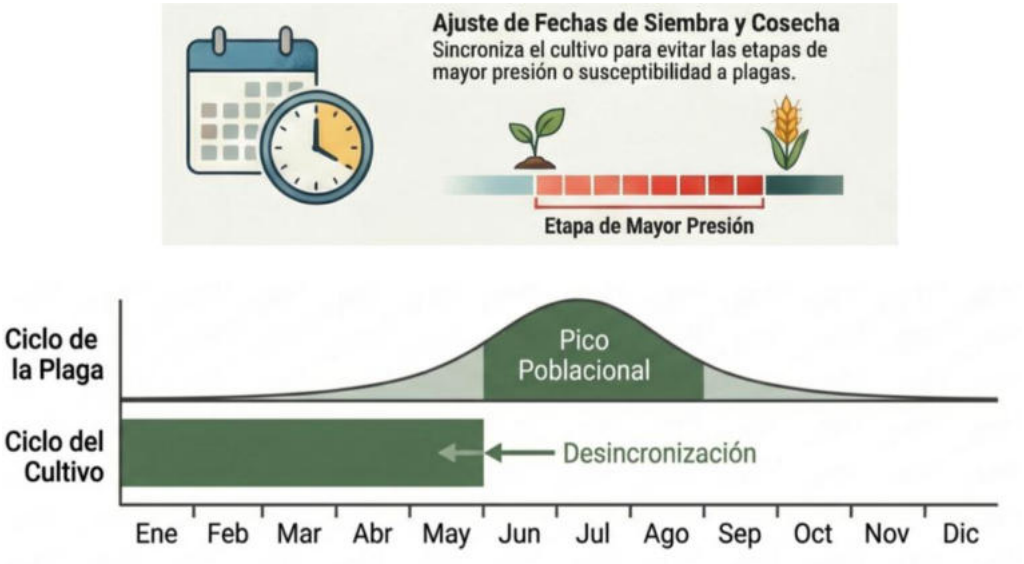


Figura 20.Prácticas culturales para alterar periodos de daños de las plagas en los cultivos

Creado con: Notebook LM

Altera la búsqueda de hospedantes por parte del insecto interfiriendo con sus señales visuales u olfativas (Hilje et al., 2001). Ejemplos: cultivos intercalados (intercropping), uso de mulches (acolchados) y cultivos trampa (Figura 21). Estos cambios inducen cambios en la calidad de la planta que afectan negativamente el desarrollo o reproducción de la plaga (Hilje et al., 2001). También se considera como parte estratégica la gestión de la fertilización (especialmente nitrógeno), el riego por aspersión (para desprender larvas o huevos) y el deshierbe o eliminación de plantas enfermas (Hilje et al., 2001).

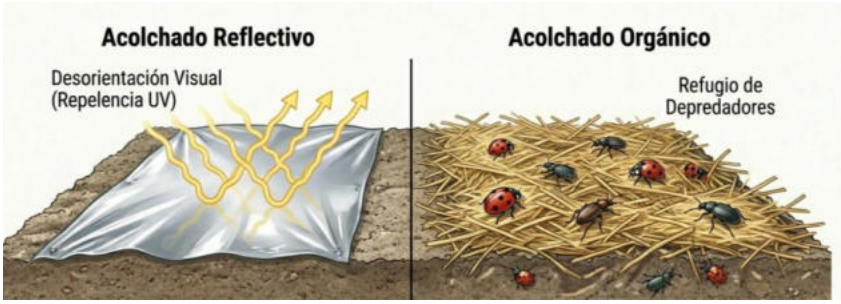


Figura 21.Barreras para interferir señales visuales y olfativas para insectos

Creado con: Notebook LM

Objetivo Funcional

Otra forma de agrupar estas prácticas es según su objetivo funcional en el manejo de la plaga que se subclasifica en (Bashyal et al., 2022):

• Prevención: Prácticas que evitan que la plaga se convierta en un problema desde el inicio, incluyendo el uso de semillas certificadas y limpieza de implementos. estrategias enfoca para que el cultivo escape al daño durante su etapa más siembra (Bashyal et al., 2022).

• Supresión: Métodos destinados a reducir una población de plagas ya existente o su capacidad de brote, y consiste en eliminar las plantas atacadas y plantas vectores como las malezas.

4.5 Escala de Aplicación

Las prácticas también pueden categorizarse por el área mínima necesaria para que sean efectivas y se subclasifican (Hilje et al., 2001):

• Regional: Requieren sincronización en grandes áreas para ser útiles, como los periodos libres de cultivo y la eliminación de malezas a gran escala.

• Local: Pueden implementarse con éxito en un solo campo o finca, como los acolchados, cultivos trampa o barreras vivas.

• Individual: Se centran en alterar la susceptibilidad de plantas individuales, como los regímenes de fertilización.

4.6 Tipo de Ambiente Manipulado

Recientemente, se ha distinguido entre la gestión de factores abióticos y bióticos, de donde subclasifican en (Gabryś & Kordan, 2022):

Manejo de condiciones abióticas: Incluye la selección del sitio, tipo de labranza del suelo, gestión del agua, nutrientes y uso de materiales físicos como cubiertas y cercas.

Manejo del entorno biótico: Abarca la biodiversidad del sistema, la rotación de cultivos, cultivos asociados y el aumento de enemigos naturales mediante franjas florales y plantas hospederas.

Importancia de la combinación: Las fuentes enfatizan que el control cultural es fundamentalmente preventivo y debe integrarse con otros métodos (biológicos o químicos) para garantizar que el cultivo alcance su máximo potencial de producción de forma sostenible (Bashyal et al., 2022; Shimada et al., 2021).

De las clasificación y subclasificación respetiva se abordan las principales practicas culturales como son:

4.7 Rotación de Cultivos y Diversificación Temporal

La rotación de cultivos es una de las prácticas más efectivas para interrumpir el ciclo de vida de los insectos y patógenos que sobreviven en el suelo o en residuos de cosechas anteriores. Al alternar especies botánicas, se elimina la fuente de alimento continua para plagas especialistas (Rajput et al., 2023). Además, esta práctica ayuda a gestionar el banco de semillas de malezas, ya que diferentes cultivos permiten emplear diversos métodos de labranza y competencia biológica (Nemade et al., 2023).

4.8 Ajuste de Fechas de Siembra y Cosecha

La sincronización entre el desarrollo del cultivo y el ciclo de vida de la plaga es vital. Ajustar las fechas de siembra permite la evasión temporal de picos poblacionales (Figura 22). Por ejemplo, la siembra temprana de algodón se utiliza para reducir la exposición del cultivo a la mosca blanca (*Bemisia tabaci*), vector del virus del rizado de la hoja (Razaq et al., 2019). Por el contrario, un retraso en la siembra puede aumentar la vulnerabilidad de cereales como la cebada ante enfermedades fúngicas como la roya (Razaq et al., 2019).

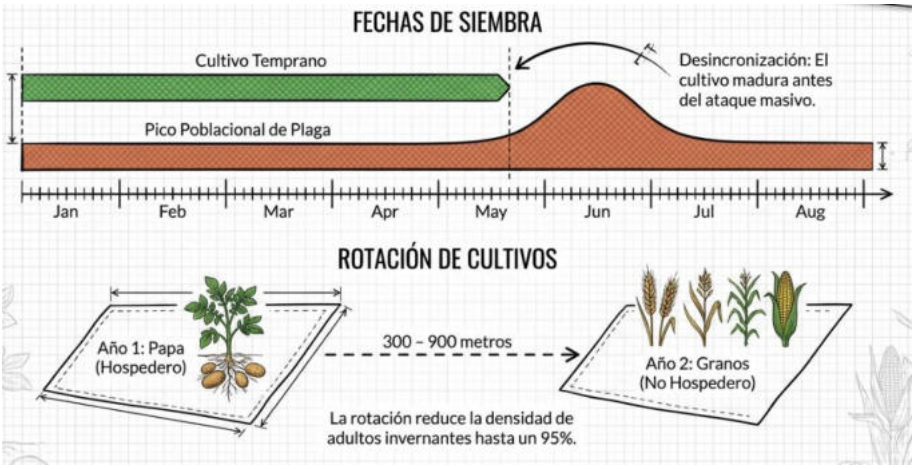


Figura 22.Fechas de siembra y cosecha para disminuir ataque de plagas

Creado con: Notebook LM

4.9 Alta densidad de siembra

Las prácticas agronómicas orientadas a establecer altas densidades de plantas buscan reducir la disponibilidad de luz en el estrato inferior del cultivo, limitando así el crecimiento y desarrollo de las malezas mediante sombreado temprano (Nemade et al., 2023). De manera complementaria, la reducción de la distancia entre hileras constituye una estrategia de control cultural eficaz, ya que permite maximizar la interceptación de la radiación solar por parte del cultivo, generando una desventaja fotosintética para las malezas y disminuyendo su competitividad dentro del agroecosistema (Razaq et al., 2019).

4.10 Saneamiento y Medidas Preventivas

El control cultural incluye la eliminación de reservorios de plagas. Esto implica la destrucción de restos de cosecha y el control de malezas en los bordes de los campos y canales de riego, los cuales suelen actuar

como refugios durante la temporada baja poblaciones de insectos plaga (Tiwari, 2024). Asimismo, la limpieza rigurosa de maquinaria agrícola es esencial para prevenir el transporte accidental de semillas de malezas o propágulos de enfermedades entre diferentes lotes (Nemade et al., 2023).

4.11 Gestión de Nutrientes y Riego

El equilibrio nutricional modula la susceptibilidad de plantas al ataque de insectos chupadores. Plantas con nutrición balanceada desarrollan paredes celulares reforzadas que ofrecen resistencia física a áfidos y otras plagas; inversamente, el exceso de nitrógeno incrementa suculencia de tejidos foliares, reduciendo sus defensas mecánicas y atrayendo poblaciones mayores de herbívoros especializados (Rajput et al., 2023). Paralelamente, el manejo hídrico del cultivo determina susceptibilidad a enfermedades: excesos de humedad en el suelo activan dinámicas de patógenos edáficos, comprometiendo raíces y vigor de la planta (Nemade et al., 2023).

4.12 La labranza como medio de control de plagas

La labranza del suelo actúa como intervención cultural fundamental al alterar radicalmente el hábitat de insectos fitófagos edáficos. El volteo y remoción de suelo exponen pupas y larvas de plagas, interrumpiendo ciclos de desarrollo, sepultando residuos de cosecha que hospedan plagas, y modificando estructura de poros que estas requieren para refugio y movimiento. Su intensidad convencional, reducida, cero determina diferencias críticas en supervivencia de plagas edáficas y estructura de comunidades microbianas del suelo. Mediante la remoción

y volteo del suelo, la labranza puede exponer huevos, larvas y pupas a condiciones ambientales adversas, como la desecación y la depredación por enemigos naturales, reduciendo su supervivencia. Además, contribuye a la destrucción de residuos de cultivos que actúan como refugio o fuente de alimento para las plagas.

Los tipos de labranza se categorizan en función de grado de intervención en el suelo como se detalla a continuación.

4.13 Labranza convencional

Se caracteriza por una remoción intensa del suelo mediante el uso de arado y rastra, lo que permite un control inicial de malezas y algunas plagas edáficas (Figura 23). No obstante, su aplicación continua puede generar efectos negativos sobre la estructura del suelo y reducir la biodiversidad funcional asociada al control natural de plagas (Dassou et al., 2024). El principal efecto de la labranza es expone las etapas inmóviles o subterráneas de los insectos (como huevos, larvas y pupas) que normalmente están protegidas (Bashyal et al., 2022). Al quedar en la superficie, estos organismos mueren debido a factores ambientales adversos, tales como el calor directo del sol o la desecación provocada por el aire (Bashyal et al., 2022; Gabryś & Kordan, 2022). Por ejemplo, en el caso del gusano de alambre (*Agriotes spp.*), la perturbación repetida del suelo reduce significativamente sus poblaciones mediante el daño físico y la exposición a la desecación (Gabryś & Kordan, 2022).



Figura 23.Labranza del suelo

4.14 Labranza reducida o mínima

Este sistema disminuye la intensidad y frecuencia de la perturbación del suelo, manteniendo residuos vegetales en la superficie. Estas condiciones favorecen el establecimiento de comunidades de artrópodos benéficos y contribuyen a la regulación natural de plagas herbívoras dentro del agroecosistema (Dassou et al., 2024). En este tipo de labranza se dan relaciones de ecológicas como la exposición de las plagas hervivoras a enemigos naturales, como las aves, que localicen y consuman a las plagas con mayor facilidad al quedar vulnerables en la superficie o entre los restos de la cosecha (Bashyal et al., 2022; Gabryś & Kordan, 2022).

4.15 Labranza cero

Consiste en conservando una cobertura permanente de residuos de cultivos anteriores. Esta práctica mejora la estabilidad del agroecosistema y puede influir positivamente en el control biológico de plagas al conservar el hábitat de enemigos naturales (Bezboruah et al., 2024).

4.16 Labranza en franjas (strip-till)

Representa una alternativa intermedia entre la labranza convencional y la labranza directa, ya que perturba únicamente la línea de siembra (Figura 24). Este sistema combina eficiencia agronómica con principios de conservación del suelo, favoreciendo un manejo más sostenible del sistema productivo (Bezboruah et al., 2024).



Figura 24.Labranza en franjas

4.17 Conclusión General

El control cultural se consolida como una estrategia esencial y de carácter preventivo en el manejo de plagas agrícolas, al actuar directamente sobre los factores ecológicos y agronómicos que condicionan la aparición y proliferación de organismos herbívoros. Mediante prácticas como la rotación de cultivos, el manejo del suelo, la regulación de la densidad de plantas a la siembra y fechas de siembra, así como las podas de saneamiento en campo, es posible interrumpir los ciclos biológicos de las plagas y reducir su presión sobre los cultivos.

4.18 Actividad Autónoma

Título: Auditoría de Prácticas Culturales en Finca. Instrucciones:

Objetivo: Analizar las prácticas de control cultural aplicadas en un cultivo agrícola para identificar oportunidades de mejora en el manejo de plagas, con base en evidencia científica.

Instrucciones:

1. Entreviste a un productor local o analice un caso de estudio sobre un cultivo específico (ej. maíz o papa).
2. Identifique qué prácticas de control cultural (rotación, densidad, fechas) se están aplicando actualmente.
3. Proponga una mejora basada en la bibliografía revisada (ej. ¿Se podría ajustar la fecha de siembra para evitar una plaga clave?).
4. Presente un breve informe justificando su propuesta con al menos una cita de los documentos estudiados.

4.19 Glosario de Términos

- **Agroecosistema**: Sistema ecológico modificado por la actividad agrícola, donde interactúan componentes bióticos (cultivos, plagas, enemigos naturales) y abióticos (suelo, agua, clima), y cuya estructura puede ser manipulada para regular poblaciones de plagas.
- **Alelopatía:** Efectos bioquímicos (positivos o negativos) que una planta ejerce sobre otra mediante la liberación de compuestos químicos al medio ambiente (Nemade et al., 2023).
- **Biodiversidad funcional:** Conjunto de organismos presentes en el agroecosistema que cumplen funciones ecológicas clave, como la regulación natural

de plagas, y cuya conservación es favorecida por prácticas culturales sostenibles.

- **Diversificación de cultivos (intercalado):** Estrategia que combina diferentes especies vegetales en un mismo espacio o periodo, alterando las señales visuales y olfativas que utilizan las plagas para localizar hospedantes y favoreciendo la presencia de enemigos naturales.
- **Dosel vegetal (Canopy):** Capa superior formada por las hojas y ramas de las plantas de un cultivo.
- **Evasión temporal:** Táctica de control cultural que consiste en alterar el calendario de cultivo para que las etapas vulnerables de la planta no coincidan con la presencia de la plaga (Razaq et al., 2019).
- **MIP (Manejo Integrado de Plagas):** Enfoque que integra múltiples tácticas de control para mantener las plagas por debajo del nivel de daño económico (El-Shafie, 2024).
- **Labranza del suelo:** Práctica cultural que implica la remoción del suelo con distintos grados de intensidad (convencional, reducida, cero o en franjas), influyendo en la supervivencia de plagas edáficas y en la biodiversidad funcional del agroecosistema.
- **Saneamiento:** Práctica de eliminar plantas enfermas o residuos que sirven como fuente de inóculo o refugio de plagas (Tiwari, 2024).

4.20 Cuestionario de evaluación

1. ¿Qué autor define al MIP como una estrategia que armoniza tácticas basadas en análisis costo-beneficio?

a) Nemade et al.

b) El-Shafie.

c) Rajput et al.

d) Razaq et al.

2. La rotación de cultivos es efectiva contra plagas especialistas porque:

a) Aumenta la temperatura del suelo.

b) Interrumpe su fuente de alimento continua.

c) Elimina la necesidad de fertilizantes.

d) Atrae polinizadores.

3. Según Razaq et al. (2019), ¿qué efecto tiene reducir el espaciamiento entre hileras?

a) Aumenta la población de insectos.

b) Maximiza la interceptación de luz por el cultivo y suprime malezas.

c) Reduce el rendimiento por competencia.

d) Facilita la entrada de maquinaria.

4. El exceso de nitrógeno en el cultivo suele:

a) Hacer a las plantas inmunes a plagas.

b) Aumentar la suculencia y atraer insectos como áfidos.

c) Matar a los insectos por toxicidad.

d) No tiene relación con las plagas.

5. La limpieza de maquinaria es una medida de:

a) Control químico.

b) Control biológico.

c) Saneamiento (Control Cultural).

d) Control genético.

6. ¿Qué práctica ayuda a evitar el virus del rizado de la hoja en algodón?

a) Siembra tardía.

b) Siembra temprana.

c) Uso de insecticidas masivos.

d) Aumento del riego.

7. La alelopatía es un fenómeno donde las plantas:

a) Compiten por espacio.

b) Liberan químicos que afectan a otras plantas o plagas.

c) Crecen más lento.

d) Absorben más agua.

8. El control cultural se caracteriza por ser principalmente:

a) Reactivo.

b) Preventivo.

c) Químico.

d) Costoso.

9. ¿Por qué las malezas en los bordes de los canales son peligrosas?

a) Obstruyen la vista.

b) Actúan como refugios o reservorios de plagas.

c) Consumen todo el fertilizante.

d) No representan peligro.

10. ¿Cuál es la base de la pirámide del Manejo Integrado de Plagas?

a) Pesticidas sintéticos.

b) Control cultural.

c) Control biológico.

d) Control mecánico.

Respuestas correcta: 1-b, 2-b, 3-b, 4-b, 5-c, 6-b, 7-b, 8-b, 9-b, 10-b.

CAPÍTULO V

5 CONTROL BIOLÓGICO DE PLAGAS

5.1 Resumen

El control biológico constituye una estrategia fundamental para el manejo sostenible de plagas agrícolas, basada en el uso de enemigos naturales como depredadores, parasitoides y entomopatógenos, con el objetivo de regular las poblaciones de insectos por debajo del umbral de daño económico. El control biológico aprovecha interacciones tróficas para reducir plagas, resistencia a insecticidas e impactos ambientales. Sus estrategias: control clásico (introducción de enemigos), aumentación (liberaciones periódicas) y conservación (manejo de hábitat), responden a contextos distintos. Los agentes de control actúan diferentemente: depredadores consumen múltiples presas; parasitoides completan su desarrollo en un hospedero mediante estrategias koinobiontes o idiobiontes.

Palabras clave: control integrado de plagas; parasitoides; depredadores, entomopatógeno.

Objetivo de aprendizaje

Analizar los fundamentos ecológicos, históricos y conceptuales del control biológico de plagas, identificando sus principales agentes, mecanismos de acción y estrategias de implementación en sistemas agrícolas.

5.2 Introducción

El control biológico utiliza enemigos naturales (depredadores, parasitoides y entomopatógenos) para regular poblaciones de plagas, mitigando la resistencia química y la degradación ambiental (Maurya et al., 2022; Ambethgar et al., 2023). A diferencia del control quimico tradicional, esta estrategia evoluciona hacia un modelo que identifican agentes antes del establecimiento de plagas para minimizar tiempos de respuesta (Hoddle, 2024). Su eficacia depende de la optimización del comportamiento del agente de control como parasitoides y depredadores (Wajnberg et al., 2015). Asimismo, el éxito de microorganismos como bacterias y hongos protectores radica en mecanismos de antibiosis y competencia especificas (Rubio & Fereres, 2005).

A lo largo de las últimas décadas, el concepto de control biología ha evolucionado de un enfoque puramente reactivo hacia paradigmas más avanzados. Históricamente, se distinguen estrategias como el control biológico clásico introducción de agentes exóticos para plagas invasoras y el control por conservación, que busca modificar el entorno para favorecer a las poblaciones de insectos útiles ya existentes (Porcuna et al., 2004). Mediante estos enfoques de control que busca un equilibrio ecológico sostenible reduciendo la dependencia de químicos de síntesis (Porcuna et al., 2004; Smagghe et al., 2023).

5.3 Fundamentos del Control Biológico

El fundamento del control biológico radica en la complejidad de la interacción trófica y el principio de regulación poblacional. En este proceso, la densidad de la plaga es mantenida bajo control por sus

enemigos naturales sin erradicar por completo a ninguna de las especies, lo que garantiza la persistencia y estabilidad del sistema ecológico (Hajek & Eilenberg, 2018). Otros investigadores indican que el control biológico de plagas se fundamenta en el uso deliberado de organismos vivos benéficos (principalmente depredadores, parasitoides y microorganismos entomopatógenos) para regular las poblaciones de insectos plaga, manteniéndolas por debajo del umbral de daño económico, sin causar desequilibrios significativos en los agroecosistemas.

Desde una perspectiva ecológica, el control biológico parte de la capacidad de los agroecosistemas para regular naturalmente las poblaciones de plagas. Estos procesos pueden conservarse o fortalecerse mediante prácticas adecuadas de manejo y, cuando sea necesario, con la introducción de organismos benéficos. De esta manera, se favorecen las relaciones tróficas entre las plagas y sus enemigos naturales (Figura 25), manteniendo sus poblaciones por debajo de niveles perjudiciales y reduciendo la dependencia de insecticidas sintéticos. Este equilibrio dinámico permite que las poblaciones de insectos benéficos coexistan con sus presas, evitando los brotes poblacionales masivos que suelen presentarse tras el uso indiscriminado de productos químicos, lo que favorece una regulación natural continua y contribuye a la sostenibilidad de los sistemas productivos (Porcuna et al., 2004).

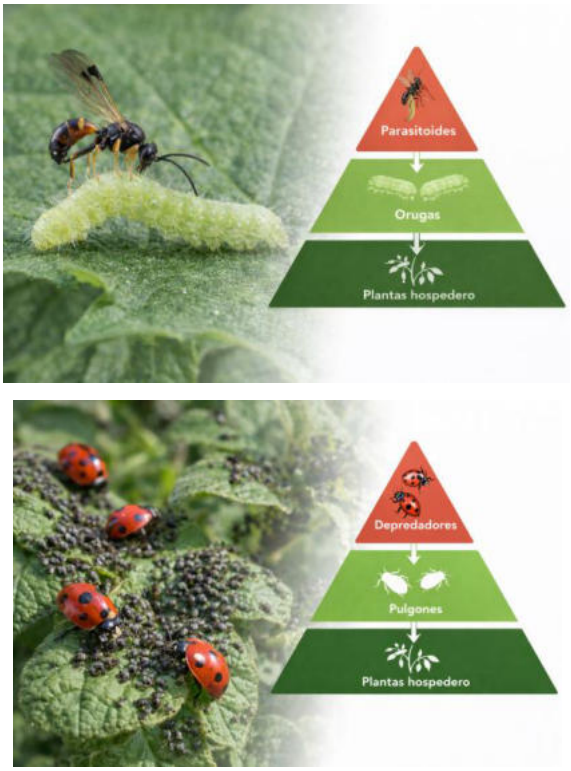


Figura 25.Relación trófica entre la planta hospedera ataca la plaga y el enemigo natural: parasitismos y depredación

5.4 Orígenes del control biológico de plagas

La forma más antigua de control biológico con registro documental se remonta a China hace más de 1700 años, donde los agricultores empleaban hormigas depredadoras (*Oecophylla smaragdina*) para proteger los cultivos de cítricos frente a plagas de insectos (Trujillo Arriaga, 1992; Pinotti & Santos, 2013). En esta etapa temprana, el enfoque era empírico y observacional, basado en la comprensión práctica de que ciertos organismos contribuían a limpiar los cultivos al regular poblaciones de otros.

La base científica del control biológico inició en 1835 (Figura 26), cuando Agostino Bassi demostró que el hongo *Beauveria bassiana* era el agente causal de una enfermedad en el gusano de seda (*Bombyx mori*). Posteriormente, en 1879, Bassi propuso explícitamente el uso de microorganismos como agentes para el control de plagas. Más adelante, Elie Metchnikoff realizó experimentos con *Metarhizium anisopliae* para el control del escarabajo *Anisoplia austriaca*, lo que impulsó el desarrollo y la producción masiva de hongos entomopatógenos con fines de manejo fitosanitario.

Un hito fundamental en la historia del control de plagas ocurrió en 1889 en California (Estados Unidos), considerado el primer gran éxito del control biológico clásico, con la introducción del depredador *Rodolia cardinalis* desde Australia para controlar la escama algodonosa (*Icerya purchasi*), que amenazaba seriamente la industria citrícola (Trujillo Arriaga, 1992). Posteriormente, hacia la década de 1930, se logró la introducción exitosa de una avispa parasitoide para el control del pulgón lanígero (*Eriosoma lanigerum*) en varios países de América Latina (Trujillo Arriaga, 1992).

El término *control biológico* fue acuñado por Harry S. Smith en 1919. Más adelante, Paul DeBach, durante la década de 1960, estableció la distinción conceptual entre control natural que se fundamenta en ka regulación de las poblaciones mediante factores bióticos y abióticos y el control biológico con el manejo deliberada organismos (enemigos naturales) para mantener las poblaciones de plagas por debajo de un umbral de daño económico (Hoddle, 2024).

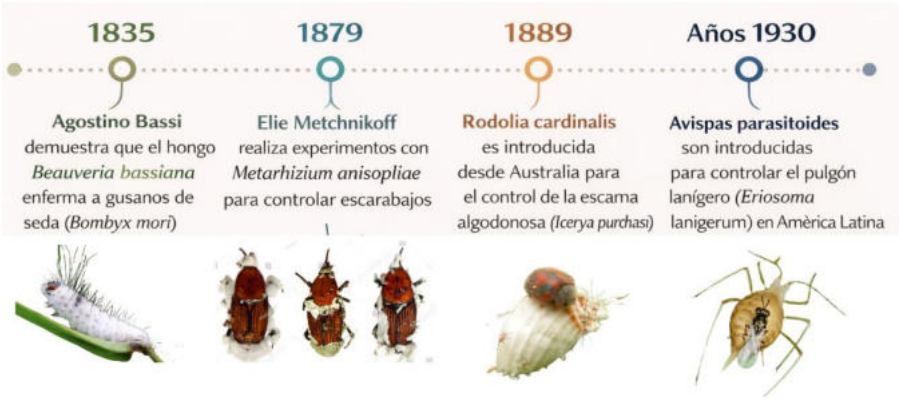


Figura 26.Principales hitos en la historia del control biológico de plagas

5.5 Clasificación de los Agentes de Control Biológico

La clasificación de los agentes de control biológico se establece principalmente en función de su naturaleza biológica y su mecanismo de acción sobre las plagas. Los agentes de control se dividen principalmente en tres categorías:

5.5.1 Depredadores

Los depredadores son organismos que capturan y consumen numerosas presas a lo largo de su vida. Poseen aparatos bucales adaptados para masticar tejidos o succionar los fluidos internos de sus presas. Algunos grupos también presentan extremidades modificadas para capturarlas y sujetarlas, como las patas delanteras raptoras de la mantis religiosa. Muchos depredadores exhiben un comportamiento de búsqueda activa donde permanecen más tiempo en parches o áreas donde la densidad de presas es mayor. Su éxito en el control depende de que su tasa de crecimiento y desarrollo sea competitiva o superior a la de su presa.

Ejemplos representativos de agentes depredadores de insectos herbívoros incluyen las mariquitas (Coccinellidae), las crisopas verdes

(Neuroptera), las chinches piratas (*Orius* spp.), los escarabajos carábidos, los sírfidos y las mantis (Figura 3). Estos organismos desempeñan un papel clave en la regulación natural de poblaciones de plagas mediante la depredación directa de diferentes estadios de los insectos fitófagos. Un caso destacado de control biológico por depredación lo constituye el ácaro *Phytoseiulus persimilis*, el cual presenta una elevada tasa de crecimiento poblacional en comparación con la araña roja (*Tetranychus urticae*), su principal presa, lo que le permite reducir eficazmente las poblaciones de esta plaga en diversos sistemas agrícolas (Figura 27).



Figura 27.Agentes depredadores de insectos herbívoros

En la Tabla 8, se presentan de manera general plagas agrícolas y sus enemigos naturales de tipo depredadores.

Tabla 8. Plagas agrícolas y sus agentes de control de tipo depredador utilizados en control biológico.

Nombre común de la plaga	Nombre científico de la plaga	Enemigo natural
Plagas del algodón	*Anthonomus grandis*	*Orius tristicolor* (Orden: Hemiptera)

Escama del coco	*Aspidiotus destructor*	*Cryptognatha nodiceps* (Orden: Coleoptera)
Picudo del banano	*Cosmopolites sordidus*	*Plaesius javanus* Erichson (Orden: Coleoptera)
Araña roja	*Tetranychus urticae*	Ácaros fitoseidos (*Phytoseiulus persimilis*, *Amblyseius swirskii, Neoseiulus californicus*) (Acari: Phytoseiidae)
Trips	*Frankliniella spp., Thrips spp.*	*Amblyseius swirskii, Orius spp.* (Acari: Phytoseiidae; Hemiptera: Anthocoridae)
Mosca blanca	*Bemisia tabaci*	*Macrolophus pygmaeus, Nesidiocoris tenuis, Dicyphus hesperus* (Hemiptera: Miridae)
Pulgones	*Aphis spp., Myzus persicae*	*Chrysoperla carnea, Mallada basalis* (Neuroptera: Chrysopidae)
Pulgones	*Aphis spp., Myzus persicae*	*Coccinella septempunctata, Harmonia sedecimnotata* (Coleoptera: Coccinellidae)
Pulgones	*Aphis spp., Myzus persicae*	*Aphidoletes aphidimyza*, sírfidos (Diptera: Cecidomyiidae; Syrphidae)
Cochinillas harinosas	*Planococcus spp.*	*Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae)
Trips del suelo	*Frankliniella spp.*	*Dalotia spp*. (Coleoptera: Staphylinidae)
Minadores de hoja	*Liriomyza spp.*	Arañas (Araneae)
Gusano de la cápsula	*Helicoverpa armigera*	*Rhynocoris fuscipes* (Hemiptera: Reduviidae)

Chinche del algodón	*Dysdercus spp.*	*Rhynocoris fuscipes* (Hemiptera: Reduviidae)
Cochinilla acanalada	*Icerya purchasi*	Rodolia cardinalis (Coleoptera: Coccinellidae)
Orugas y minadores	*Lepidoptera*	Mantis religiosas, libélulas, carábidos (Mantodea; Odonata; Coleoptera: Carabidae)

5.5.2 Parasitoides

Los parasitoides son organismos que viven sobre o dentro de un huésped, alimentándose de él durante sus etapas inmaduras hasta causarle la muerte. A diferencia de los depredadores, que consumen varias presas durante su vida, cada parasitoide suele utilizar un solo hospedero para completar su desarrollo y, finalmente, ocasionarle la muerte. Su eficacia depende en gran medida de la coincidencia temporal entre su ciclo biológico y el estadio susceptible del hospedero.

Según el lugar donde se desarrollan, se clasifican en endoparasitoides y ectoparasitoides. Los primeros completan su fase inmadura dentro del cuerpo del hospedero, mientras que los segundos permanecen sobre su superficie y se alimentan externamente de él. La mayoría de las especies muestran preferencias estrictas; por ejemplo, *Encarsia formosa* prefiere ninfas de segundo estadio, mientras que *Aphidius colemani* prefiere el primer estadio de los pulgones (Figura 28).



Figura 28.Agente de control parasitoides de insectos herbívoros

Los parasitoides principalmente por pertenecer a los órdenes Hymenoptera y, en menor proporción, Diptera. Dentro de Hymenoptera destacan familias como Aphelinidae (por ejemplo, *Encarsia opulenta* y *Amitus hesperidum*), Trichogrammatidae (*Trichogramma* spp.), Braconidae (*Biosteres* spp.) y Scelionidae (*Telenomus remus*), cuyos miembros parasitan huevos o estadios inmaduros de insectos plaga, regulando eficazmente sus poblaciones. En el orden Diptera, la familia Tachinidae agrupa parasitoides larvales de lepidópteros como *Diatraea* spp., ampliamente utilizados en sistemas agrícolas tropicales. Una característica distintiva de los parasitoides es su alta especificidad de hospedero, lo que reduce impactos sobre organismos no objetivo, así como su capacidad de integrarse de manera eficiente en programas de manejo integrado de plagas (Tabla 9).

Tabla 9. Plagas agrícolas y sus agentes de control de tipo parasitoide utilizados en control biológico.

Nombre común de la plaga	Nombre científico de la plaga	Enemigo natural (orden)
Mosca prieta de los cítricos	*Aleurocanthus woglumi*	*Encarsia opulenta (Hymenoptera)*
Barrenadores del tallo de la caña	*Diatraea spp.*	*Trichogramma spp. (Hymenoptera) y taquínidos (Diptera)*
Broca del café	*Hypothenemus hampei*	*Cephalonomia stephanoderis (Hymenoptera)*
Pulgón lanígero	*Eriosoma lanigerum*	*Aphelinus mali (Hymenoptera)*
Plagas del algodón	*Anthonomus grandis*	*Orius tristicolor (Hemiptera)*
Mosca del Mediterráneo	*Ceratitis capitata*	*Biosteres (Opius) spp. (Hymenoptera)*
Cogollero del maíz	*Spodoptera frugiperda*	*Telenomus remus Nixon (Hymenoptera)*
Mosca prieta de los cítricos	*Aleurocanthus woglumi*	*Amitus hesperidum Silvestri (Hymenoptera)*

5.6 Estrategia de desarrollo parasitica: koinobionte o idiobionte

En el ámbito de los insectos parasitoides, la relación entre su estrategia de desarrollo tiene relacion con la ubicación en el huésped (endoparasitoide o ectoparasitoide), siendo estas de dos tipos (Wharton, 1993):

• Koinobiontes (o cenobiontes): Por lo general, de desarrollo endoparasitoides que permiten que el huésped continúe funcionando,

moviéndose y alimentándose después de ser parasitado (Wharton, 1993). Algunos miembros de la subfamilia Doryctinae (orden; Hymenoptera) pueden desarrollarse externamente mientras permiten que el huésped continúe su actividad por un tiempo (Wharton, 1993; Libersat et al., 2009)

• Idiobiontes: Por lo general, son ectoparasitoides, lo que significa que se desarrollan sobre la superficie del huésped. Estos suelen paralizar permanentemente o matar al huésped en el momento de la oviposición (Wharton, 1993). Aunque algunos miembros de la subfamilia Braconinae se desarrollan dentro de las pupas de lepidópteros, pero actúan como idiobiontes al detener el desarrollo del huésped (Wharton, 1993

5.7 Entomopatógenos

Microorganismos como nematodos, hongos, bacterias y virus que infectan a los insectos (Tomar & Yadav 2024). Su modo de acción es de naturaleza ecológica y biológica: los hongos entomopatógenos penetran directamente la cutícula del insecto y colonizan sus tejidos internos; las bacterias liberan toxinas tras ser ingeridas; los virus entomopatógenos infectan y se replican en células específicas del hospedero, y los nematodos actúan mediante la liberación de bacterias simbióticas letales en el interior del insecto (De Wint et al., 2024). Los entomopatógenos, también actúan como endófitos, (relación de mutualismo con su hospedera) promueven el crecimiento vegetal y controlan plagas mediante toxinas.

El principal mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos es la infección por contacto. Sus conidias se adhieren a la cutícula del insecto, germinan y atraviesan el tegumento con ayuda de enzimas hidrolíticas. Una vez en el hemocele, cavidad por donde circula la hemolinfa, el hongo se multiplica y coloniza los tejidos. La infección generalizada, el daño tisular, el agotamiento de nutrientes y la producción de toxinas terminan causando la muerte del insecto. Estos hongos controlan eficazmente lepidópteros, coleópteros, dípteros y hemípteros, como *Ostrinia nubilalis*, *Tuta absoluta* y *Bemisia tabaci*. En la Tabla 10, se presentan los principales hongos entomopatogenos, el cultivo hospedero y la estrategia de inoculación frente a la plaga objetivo.

Tabla 10. Estrategias de control biológico con hongos entomopatógenos en cultivos de importancia agrícola.

Hongo entomopatógeno	**Cultivo hospedero**	**Estrategia de inoculación**	**Insecto plaga objetivo**
Beauveria bassiana	*Zea mays* L.	Aplicación foliar mediante aspersión	*Ostrinia nubilalis* (Hübner)
Beauveria bassiana	*Zea mays* L.	Inyección en tallo; formulación granular al suelo	*Ostrinia nubilalis* (Hübner)
Beauveria bassiana	*Musa* spp.	Inmersión de raíces y rizomas; inyección dirigida al rizoma	*Cosmopolites sordidus* (Germar)
Metarhizium anisopliae	*Zea mays* L.	Recubrimiento de semillas	*Agriotes obscurus* (Linnaeus)
Beauveria bassiana	*Papaver somniferum* L.	Tratamiento de semillas; aplicación foliar y edáfica	*Iraella luteipes* (Thomson)

Beauveria bassiana	*Sorghum bicolor* (L.) Moench	Aspersión foliar; aplicación localizada en el cogollo	*Chilo partellus* (Swinhoe)
Beauveria bassiana / *Lecanicillium lecanii*	*Gossypium hirsutum* L.; *Triticum aestivum* L.	Aspersión foliar; inoculación mediante sustrato sólido	*Aphis gossypii* Glover; *Chortoicetes terminifera* (Walker)
Metarhizium pingshaense	*Zea mays* L.	Remojo de semillas previo a la siembra	*Anomala cincta* (Fabricius)
Beauveria bassiana	*Solanum lycopersicum* L.	Aspersión foliar	*Tuta absoluta* (Meyrick)
Metarhizium brunneum	*Cucumis melo* L.; *Solanum lycopersicum* L.	Aspersión foliar	*Spodoptera littoralis* (Boisduval); *Bemisia tabaci* (Gennadius)
Metarhizium robertsii	*Vigna unguiculata* (L.) Walp.	Remojo de semillas	*Anastrepha obliqua* (Macquart)
Hypocrea lixii	*Allium cepa* L.	Inmersión de semillas o del sistema radical	*Thrips tabaci* Lindeman

Fuente: Elaboración propia

Las bacterias entomopatógenas actúan como agentes de control biológico mediante la producción de toxinas, enzimas hidrolíticas y metabolitos secundarios que provocan la muerte del insecto hospedero por septicemia, parálisis intestinal o colapso del sistema inmune. *Bacillus thuringiensis* ejerce su acción principalmente por ingestión,

liberando toxinas cristalinas que destruyen el epitelio intestinal de larvas de insectos, mientras que bacterias de los géneros *Xenorhabdus* y *Photorhabdus* actúan en asociación mutualista con nematodos entomopatógenos, siendo liberadas directamente en la hemolinfa del insecto, donde producen toxinas insecticidas y antibióticos que inhiben microorganismos competidores.

En la Tabla 11, se presentan las principales bacterias y su acción como organismos de control biológico.

Tabla 11. Acción de las bacterias como organismos de control biológico de plagas.

Bacteria (género / especie)	**Familia**	**Asociación biológica y uso principal en control de plagas**	**Referencia**
Bacillus thuringiensis	Bacillaceae	Principal agente microbiano utilizado en bioplaguicidas comerciales; produce toxinas Cry y Cyt con acción insecticida altamente específica.	Shaurub (2023); Shah & Pell (2003)
Xenorhabdus spp.	Morganellaceae	Bacteria simbionte mutualista de nematodos del género *Steinernema*; libera toxinas y metabolitos letales que causan la muerte del insecto en menos de 48 h.	Shaurub (2023); Adeolu et al. (2016)
Photorhabdus spp.	Morganellaceae	Simbionte mutualista de nematodos del género *Heterorhabditis*; produce	Shaurub (2023);

		toxinas, antibióticos y compuestos inmunosupresores.	Adeolu et al. (2016)
Xenorhabdus nematophila	Morganellaceae	Especie ampliamente estudiada por la producción de secreciones tóxicas con alta eficacia insecticida.	Mantzoukas & Eliopoulos (2020)
Photorhabdus luminescens	Morganellaceae	Presenta actividad insecticida comprobada contra *Drosophila suzukii* y otros insectos plaga de importancia agrícola.	Mantzoukas & Eliopoulos (2020)
Photorhabdus kayaii	Morganellaceae	Bacteria endosimbionte aislada de nematodos entomopatógenos, utilizada para el control biológico de insectos.	Shaurub (2023)

Fuente: Elaboración propia

El uso de nematodos entomopatógenos como estrategia de control biológico se concentra principalmente en las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, ampliamente empleadas para el manejo de moscas de la fruta (Yee & Lacy 2003; Shaurub 2023;). Las especies del género *Steinernema spp.* tiene una mayor eficacia contra insectos móviles o adultos en proceso de emergencia, mientras que *Heterorhabditis* spp. actúan como desplazándose activamente a través del suelo en busca del hospedero (Del Valle et al. 2008; Torrini et al. 2020). La infección ocurre cuando las larvas o estados juveniles ninfales en el suelo son infectado través de aberturas naturales o directamente por la cutícula;

una vez en el hemocele, liberan bacterias simbiontes del género *Xenorhabdus* o *Photorhabdus*, las cuales se multiplican rápidamente, producen toxinas y causan septicemia, provocando la muerte del insecto en un periodo de 24 a 48 horas. Estos nematodos destacan por su alta eficacia contra *Ceratitis capitata*, *Anastrepha ludens* y *Bactrocera oleae*, así como por su elevada capacidad de dispersión, penetración cuticular eficiente y compatibilidad con otros enemigos naturales (Abdel-Razek & Abd-Elgawad 2021). En la Tabla 12, se presentan las principales especies de nematodos entomopatógenos.

Tabla 12. Especies de nematodos entomopatógenos.

Nematodo (Género/Especie)	**Familia**	**Plagas Objetivo / Uso Clave**
Steinernema carpocapsae	Steinernematidae	*Dacus ciliatus*, *Ceratitis capitata*, *Rhagoletis pomonella*, *Anastrepha ludens*.
Steinernema feltiae	Steinernematidae	*Ceratitis capitata*, *Bactrocera oleae*. Muy eficaz contra adultos emergentes.
Steinernema riobrave	Steinernematidae	*Anastrepha ludens*, *Rhagoletis pomonella*. Alta eficacia en suelos arenosos.
Heterorhabditis bacteriophora	Heterorhabditidae	*Dacus ciliatus*, *Anastrepha ludens*, *Bactrocera oleae*. Posee un "diente" dorsal para penetrar la cutícula.
Heterorhabditis indica	Heterorhabditidae	*Ceratitis capitata*, *Anastrepha suspensa*.

		Compatible con algunos parasitoides.
Heterorhabditis zealandica	Heterorhabditidae	*Bactrocera tryoni* (mosca de Queensland). Juveniles infectivos de tamaño pequeño (570–740 µm).
Heterorhabditis baujardi	Heterorhabditidae	*Ceratitis capitata*. Destaca por su gran capacidad de dispersión en el suelo (hasta 90 cm).

5.8 Estrategias de Implementación

El control biológico se clasifica principalmente en tres estrategias fundamentales basadas en la forma en que se utilizan y gestionan los enemigos naturales para regular las poblaciones de plagas (Colmenarez & Vasquez, 2024; Maurya et al., 2022),. Estas estrategias son el control biológico clásico, por aumentación y por conservación (Maurya et al., 2022).

5.8.1 Control Biológico Clásico

Esta estrategia consiste en la introducción intencional de un enemigo natural exótico en un área nueva para lograr su establecimiento permanente y el control de una plaga invasora a largo plazo (Colmenarez & Vasquez, 2024; Maurya et al., 2022). El objetivo fundamental es restaurar el equilibrio ecológico en regiones donde la plaga se ha establecido sin sus enemigos naturales originales (Maurya et al., 2022). Una vez introducidos, estos agentes deben ser capaces de formar poblaciones auto-sostenibles para mantener a la plaga bajo control de forma indefinida (Colmenarez & Vasquez, 2024).

5.8.2 Control Biológico por Aumentación

Este método implica incrementar la efectividad de los enemigos naturales mediante su propagación y liberación periódica en el campo (Maurya et al., 2022). Los agentes, ya sean nativos o exóticos, son criados masivamente en laboratorios o biofábricas antes de ser liberados (Maurya et al., 2022; Colmenarez & Vasquez, 2024). Se divide en dos etapas operativas:

- Liberación Inoculativa: Se liberan pequeñas cantidades de organismos una o pocas veces al año con la expectativa de que se multipliquen en el cultivo y controlen la plaga durante toda la temporada (Hajek, 2004; Colmenarez & Vasquez, 2024),. Es común en sistemas de invernaderos donde las poblaciones de enemigos naturales mueren cada ciclo (Hajek & Eilenberg, 2018).

- Liberación Inundativa: Consiste en la liberación de cantidades masivas de agentes para lograr un control inmediato o un efecto de choque contra una población de plaga que está cerca de causar daño económico (Maurya et al., 2022). Esta técnica funciona de manera similar a la aplicación de un pesticida químico convencional (Maurya et al., 2022).

5.8.3 Control Biológico por Conservación

Esta estrategia no se basa en la liberación de nuevos organismos, sino en la manipulación del hábitat y de las prácticas agrícolas para proteger y favorecer a los enemigos naturales que ya habitan de forma espontánea en el ecosistema (Maurya et al., 2022; Colmenarez & Vasquez, 2024). Las acciones clave incluyen:

- Provisión de recursos: Conservar o plantas vegetales que ofrezcan refugio y fuentes de alimento alternativas como polen, néctar o melaza para mejorar la longevidad y fecundidad de los depredadores (Maurya et al., 2022). Las plantas pueden emitir volátiles vegetales inducidos por herbívoros (HIPV), que actúan como señales químicas para atraer a los insectos beneficiosos hacia áreas específicas; por ejemplo, el tomate aumenta significativamente su producción de terpenos volátiles cuando son colonizadas por el hongo endófito *Beauveria bassiana.* También las plantas de maíz emiten volátiles que atraen a parasitoides como *Trichogramma spp.* y *Cotesia spp.*, ayudando a controlar las poblaciones de orugas.

- Modificación de prácticas: Reducir el uso de pesticidas químicos de amplio espectro que son dañinos para la fauna beneficiosa (Frank, 2009; Maurya et al., 2022).

- Mejora del entorno: Implementar estructuras como cajas de anidación, franjas de escarabajos o setos vivos para reducir la mortalidad invernal de los agentes de control (Maurya et al., 2022).

5.9 Conclusión general

La comprensión de los fundamentos ecológicos, la historia y la clasificación de los agentes de control biológico permite diseñar estrategias de manejo más efectivas y adaptadas a cada sistema productivo. Asimismo, la correcta implementación de las estrategias de control biológico clásico, por aumentación y por conservación favorece la estabilidad del agroecosistema, la conservación de la biodiversidad funcional y la reducción de riesgos ambientales y sanitarios. En este

sentido, el control biológico constituye un pilar esencial dentro de los programas de manejo integrado de plagas orientados a una agricultura sostenible y resiliente.

5.10 Actividades Autónomas

Objetivo de aprendizaje:
Identificar insectos depredadores presentes en un cultivo agrícola y describir su comportamiento alimenticio como parte del control biológico de plagas.

Investigación de Campo

Identificar al menos dos insectos depredadores en un cultivo local y documentar su comportamiento de alimentación mediante fotos o video.

Objetivo de aprendizaje:
Analizar la influencia de la infraestructura ecológica en la eficacia del control biológico de pulgones, a partir de la revisión crítica de literatura científica.

Análisis de Caso

Leer el artículo de control biológico por entomopatógeno y redactar un ensayo de 500 palabras sobre cómo la infraestructura ecológica influye en el control de pulgones.

5.11 Cuestionario de evaluación

1. El control biológico se diferencia del control químico tradicional principalmente porque:

A) Elimina totalmente a las plagas

B) Utiliza únicamente microorganismos

C) Regula poblaciones de plagas mediante enemigos naturales

D) Depende exclusivamente de insecticidas selectivos

2. ¿Cuál es uno de los principales beneficios del control biológico mencionado en el texto?

A) Incremento del uso de químicos sintéticos

B) Mitigación de la resistencia química y degradación ambiental

C) Erradicación completa de plagas

D) Reducción de la biodiversidad agrícola

3. El control biológico clásico se caracteriza por:

A) Liberaciones masivas periódicas de enemigos naturales

B) Modificar el hábitat agrícola

C) Introducir enemigos naturales exóticos para plagas invasoras

D) Favorecer únicamente organismos nativos

4. El fundamento ecológico del control biológico se basa en:

A) Eliminación total de la plaga

B) Regulación poblacional y estabilidad del ecosistema

C) Sustitución del control químico por control mecánico

D) Aplicación de biopesticidas de amplio espectro

5. ¿Qué organismo fue uno de los primeros agentes de control biológico documentados en China?

A) Mariquitas

B) Crisopas

C) Hormigas depredadoras

D) Ácaros fitoseidos

6. ¿Quién demostró en 1835 que un hongo podía causar enfermedad en insectos?

A) Paul DeBach

B) Elie Metchnikoff

C) Harry S. Smith

D) Agostino Bassi

7. *Rodolia cardinalis* fue introducida exitosamente para controlar:

A) Pulgones

B) Mosca blanca

C) Cochinilla acanalada

D) Trips

8. Una característica clave de los depredadores es que:

A) Necesitan un solo huésped para su desarrollo

B) Permiten que la presa continúe desarrollándose

C) Consumen múltiples presas durante su vida

D) Son altamente específicos de hospedero

9. Los parasitoides se diferencian de los depredadores porque:

A) Actúan solo en plantas

B) Requieren un único huésped para completar su desarrollo

C) No causan la muerte del huésped

D) Son generalistas

10. El principal modo de acción de los hongos entomopatógenos es:

A) Ingestión de toxinas

B) Infección por contacto y penetración de la cutícula

C) Parálisis nerviosa inmediata

D) Competencia por recursos alimenticios

Respuestas

1-C, 2-B, 3-C, 4-B, 5-C, 6-D, 7-C, 8-C, 9-B, 10-B

5.12 Glosario de Términos

Antibiosis: Relación donde un organismo produce sustancias metabólicas perjudiciales para otro.

Entomófago: Organismo que se alimenta de insectos.

Hiperparasitoide: Un parasitoide que ataca a otro parasitoide.

Inóculo: Cantidad de patógeno que entra en contacto con el hospedante.

Umbral Económico: Densidad de la plaga en la que se deben aplicar medidas de control para evitar que se alcance el nivel de daño económico.

Control biológico: Estrategia de manejo de plagas basada en el uso de enemigos naturales para regular poblaciones.

Enemigos naturales: Organismos que reducen poblaciones de plagas, incluyendo depredadores, parasitoides y entomopatógenos.

Depredadores: Organismos que consumen múltiples presas a lo largo de su vida.

Parasitoides: Insectos que se desarrollan en o sobre un único huésped, causándole la muerte.

Entomopatógenos: Microorganismos que infectan y matan insectos plaga.

Control biológico clásico: Introducción de enemigos naturales exóticos para controlar plagas invasoras.

Control por conservación: Estrategia que favorece enemigos naturales existentes mediante manejo del hábitat.

Interacciones tróficas: Relaciones alimentarias entre organismos dentro de un ecosistema.

Regulación poblacional: Mantenimiento natural de las poblaciones por debajo de niveles dañinos.

Umbral de daño económico: Nivel poblacional de una plaga a partir del cual se generan pérdidas económicas.

Endoparasitoide: Parasitoide que se desarrolla dentro del cuerpo del huésped.

Ectoparasitoide: Parasitoide que se desarrolla externamente sobre el huésped.

Koinobionte: Parasitoide que permite que el huésped continúe su desarrollo tras la parasitación.

Idiobionte: Parasitoide que paraliza o mata al huésped al momento de la oviposición.

Entomopatógeno endófito: Microorganismo que vive dentro de la planta y contribuye al control de plagas.

Conidias: Estructuras reproductivas de hongos entomopatógenos responsables de la infección.

Hemocele: Cavidad corporal del insecto por donde circula la hemolinfa.

Septicemia: Infección generalizada que provoca la muerte del insecto hospedero.

Bioplaguicidas: Productos comerciales basados en organismos vivos o sus metabolitos.

Liberación inoculativa: Introducción de pequeñas cantidades de enemigos naturales para su establecimiento.

Liberación inundativa: Aplicación masiva de agentes de control para un efecto inmediato.

Manejo Integrado de Plagas (MIP): Estrategia que combina métodos biológicos, culturales y químicos racionales.

CAPÍTULO VI

6 CONTROL CUARENTENARIO DE PLAGAS

6.1 Resumen

El control cuarentenario de plagas constituye una barrera esencial para prevenir la introducción, el establecimiento y la dispersión de organismos nocivos asociados al comercio internacional de productos vegetales. El crecimiento del intercambio comercial y la rapidez del transporte han incrementado el riesgo de movilizar plagas hacia nuevas regiones, lo que demanda normas actualizadas, cooperación internacional y herramientas científicas confiables. Este capítulo examina los fundamentos conceptuales, legales y operativos de la cuarentena vegetal, con énfasis en la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) y las Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF), que orientan la aplicación de medidas armonizadas y facilitan un comercio seguro. También se describen las cuarentenas de preentrada, entrada, posentrada e interna, junto con las actividades de vigilancia, inspección, trazabilidad y delimitación de focos. El Análisis de Riesgo de Plagas (ARP) se presenta como la base técnico-científica para estimar la probabilidad de ingreso y las posibles consecuencias de una plaga, así como para definir medidas proporcionales al riesgo. Además, se revisan métodos de detección molecular, sistemas inteligentes de monitoreo y procedimientos aplicados en rutas aéreas, terrestres y marítimas. Se incluyen tratamientos cuarentenarios validados, como fumigación, aplicación de calor e irradiación, destinados a reducir el riesgo sin afectar la calidad del producto. En conjunto, la prevención, la detección temprana y la

respuesta oportuna resultan fundamentales para proteger la sanidad vegetal, la producción agrícola y la seguridad alimentaria frente a plagas emergentes y cambios en las dinámicas comerciales.

Palabras clave: Medidas fitosanitarias, Prevención fitosanitaria, Análisis de riesgo de plagas

Objetivo de aprendizaje del capítulo

Analizar los principios, procedimientos y medidas del control cuarentenario, comprendiendo su importancia en la prevención, detección y exclusión de plagas cuarentenarias, así como su papel en la protección fitosanitaria, la bioseguridad agrícola y la sostenibilidad de los sistemas productivos frente al comercio y la movilización de productos vegetales.

6.2 **Introducción**

El control cuarentenario constituye la primera línea de defensa fitosanitaria de un país frente a los riesgos derivados del comercio internacional de productos vegetales. Las plagas cuarentenarias son organismos de importancia económica potencial que no están presentes en un área determinada o que, pese a encontrarse en ella, mantienen una distribución limitada y permanecen bajo control oficial. Por ello, las medidas cuarentenarias buscan impedir su entrada, establecimiento y dispersión, protegiendo la producción agrícola, la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Su aplicación combina instrumentos legales con acciones técnicas de vigilancia, inspección y diagnóstico. Sharma y Thakur (2007) señalan

que la cuarentena comprende la prohibición, interceptación y eliminación de organismos nocivos durante las etapas de preentrada, entrada y posentrada. La rapidez del transporte internacional facilita que especies con limitada capacidad natural de dispersión atraviesen fronteras inadvertidamente. Esta situación exige una cooperación internacional sólida y marcos regulatorios capaces de responder a los cambios del comercio y a la aparición de nuevos riesgos fitosanitarios (Sharma & Thakur, 2007).

6.3 Marco Normativo y Organizaciones Internacionales

La base legal del control cuarentenario se sustenta en leyes nacionales e internacionales. El objetivo principal es reducir las posibilidades de que las plagas se introduzcan en artículos importados. Históricamente, las regulaciones han evolucionado desde prohibiciones totales hasta sistemas basados en normas fitosanitarias que buscan equilibrar la protección agrícola con el flujo comercial (Sharma & Thakur, 2007). La gestión moderna depende de organizaciones que coordinan soluciones globales, dado que los organismos nocivos no reconocen fronteras políticas.

El control cuarentenario se rige por las Normas Internacionales para Medidas Fitosanitarias (NIMF), emitidas por la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) de la FAO. las principales normas son:

6.3.1 Principios generales y marco

- **NIMF 1** – Principios fitosanitarios para la protección de las plantas y la aplicación de medidas fitosanitarias en el comercio internacional
- **NIMF 2** – Marco para el análisis del riesgo de plagas
- **NIMF 5** – Glosario de términos fitosanitarios
- **NIMF 11** – Análisis del riesgo de plagas para plagas cuarentenarias
- **NIMF 21** – Análisis del riesgo de plagas para plagas no cuarentenarias reglamentadas
- **NIMF 24** – Directrices para la determinación y reconocimiento de áreas libres de plagas
- **NIMF 26** – Establecimiento de áreas libres de plagas para moscas de la fruta

6.3.2 Vigilancia, monitoreo y estatus de plagas

- **NIMF 6** – Directrices para la vigilancia
- **NIMF 8** – Determinación del estatus de una plaga en un área
- **NIMF 17** – Notificación de plagas
- **NIMF 19** – Directrices para listas de plagas reglamentadas

6.3.3 Certificación fitosanitaria y comercio

- **NIMF 7** – Sistema de certificación fitosanitaria
- **NIMF 12** – Certificados fitosanitarios
- **NIMF 23** – Directrices para la inspección
- **NIMF 31** – Metodologías para el muestreo de envíos

- **NIMF 32** – Categorización de productos según su riesgo fitosanitario
- **NIMF 33** – Manejo de plagas no cuarentenarias reglamentadas en plantas para plantar

6.3.4 Tratamientos fitosanitarios y métodos de control

- **NIMF 18** – Uso de irradiación como medida fitosanitaria
- **NIMF 28** – Tratamientos fitosanitarios para plagas reglamentadas
- **NIMF 42** – Requisitos para el uso de tratamientos fitosanitarios como medidas independientes

6.3.5 Materiales de embalaje y transporte

- **NIMF 15** – Reglamentación del embalaje de madera utilizado en el comercio internacional

6.3.6 Plagas específicas y enfoques por sistemas

- **NIMF 14** – Uso del enfoque de sistemas en el manejo del riesgo de plagas
- **NIMF 16** – Plagas cuarentenarias: determinación del estatus de áreas de baja prevalencia
- **NIMF 30** – Establecimiento de áreas de baja prevalencia de plagas
- Organismos, laboratorios y control oficial
- **NIMF 27** – Protocolos de diagnóstico de plagas reglamentadas

- **NIMF 34** – Diseño y operación de estaciones de cuarentena posentrada
- **NIMF 35** – Reconocimiento de equivalencia de medidas fitosanitarias
- **NIMF 36** – Integridad de los envíos
- **NIMF 41** – Movimiento internacional de material vegetal de investigación.

6.4 Avances en métodos de detección y su impacto

La eficacia de la cuarentena depende de métodos de diagnóstico sensibles y confiables. Las técnicas moleculares permiten identificar virus y otros patógenos que no presentan síntomas visibles o permanecen latentes en los puntos de ingreso. Sin embargo, su elevada sensibilidad puede detectar concentraciones mínimas cuya importancia epidemiológica debe interpretarse mediante un análisis de riesgo, pues un resultado positivo puede generar restricciones comerciales más estrictas (Martin et al., 2016).

Los sistemas de vigilancia se han adaptado a los riesgos de cada vía de transporte. En aeropuertos se aplican inspecciones basadas en riesgo, trampas cebadas con feromonas y pruebas rápidas, como PCR en tiempo real y LAMP, para examinar cargas perecederas y equipajes. En las fronteras terrestres se utilizan puntos de control, trampas inteligentes, inspección de vehículos y contenedores, y unidades caninas para detectar productos vegetales no declarados. En los puertos marítimos, donde el volumen de carga y los embalajes de madera aumentan el riesgo, se emplean inspecciones conforme a la NIMF 15, escáneres, monitoreo de contenedores y trampas. Los modelos predictivos y las

plataformas digitales complementan estas acciones al mejorar la trazabilidad y facilitar una respuesta oportuna.

La detección debe acompañarse de tratamientos cuarentenarios validados, como calor, frío e irradiación. Estos procedimientos deben alcanzar el nivel de seguridad exigido por el país importador sin afectar la calidad ni el valor comercial del producto (Follett & Neven, 2006). En conjunto, el diagnóstico, la vigilancia, la trazabilidad y los tratamientos reducen el riesgo de introducción y dispersión de plagas.

En la Tabla 13, la mayoría de las plagas y patógenos de importancia cuarentenaria presentan alta capacidad de dispersión asociada al movimiento humano y al comercio internacional, especialmente a través de material vegetal, semillas, frutos, suelo y embalajes. Se observa que cultivos estratégicos como papa, cítricos, manzano, arroz y uva concentran el mayor número de amenazas, lo que refleja su relevancia económica y su vulnerabilidad fitosanitaria. La distribución geográfica amplia de muchas plagas confirma su potencial invasivo y la dificultad de erradicación una vez establecidas. En respuesta, las medidas de cuarentena se basan principalmente en la prohibición de importaciones desde áreas infestadas, tratamientos físicos y químicos, uso de viveros de cuarentena y certificación fitosanitaria. En conjunto, la información resalta la importancia de la prevención, detección temprana y control estricto en fronteras para proteger la sanidad vegetal y la seguridad alimentaria.

Tabla 13. Ejemplos de control de plagas en cuarentena.

Nombre del Patógeno o Plaga	**Nombre Común**	**Cultivos Afectados**	**Distribución Geográfica**	**Modo de Dispersión**	**Medidas de Cuarentena**
Agrilus mali	Barrenador del manzano	Manzano	URSS, Japón, China y Corea	Plántulas en etapas de huevo, larva y pupa	Desinfestación con bromuro de metilo en cámaras y plantación en viveros de cuarentena
Candidatus Liberibacter solanacearum	Sin nombre	Zanahoria, Papa	Mundial (Amenaza para Australia)	Transmitido por semillas en zanahoria	Tratamiento térmico (onshore/offshore) o pruebas para proporcionar evidencia de ausencia antes de la entrada
Candidatus Liberibacter spp.	Huanglongbing (HLB) / Citrus greening	Cítricos	Asia, África, Brasil, Florida (EE. UU.); ausente en Europa	Vectores psílidos (Trioza erytreae y Diaphorina citri); dispersión humana	Delimitación de áreas infestadas; zonas de amortiguamiento; planes de contingencia y encuestas

					de delimitación
Ceratitis capitata	Mosca mediterránea de la fruta	Frutas, plantas enraizadas	Europa, Asia, África, América del Sur, Australia	Todas las etapas (huevo, larva, pupa, adulto) con frutas, suelo y paquetes de frutas	Fumigación con bromuro de metilo o ácido cianhídrico; refrigeración de frutas a 1 - 1.5 °C por 21 días
Ditylenchus angustus	Nematodo del tallo del arroz	Arroz	Asia (Birmania, India), África, Pakistán oriental	Cáscara y paja de arroz (material de empaque) y con granos cultivados en granjas infestadas	Prohibición de importación de áreas infestadas; desinfestación de paja y cáscara de arroz usadas como empaque
Grapholitha molesta	Polilla oriental de la fruta	Manzana, Albaricoque, Pera, Durazno, Ciruela, Cereza,	Europa, Asia (China, Japón, Corea)	Plantones (saplings) y frutas	Prohibición de importación de plantones de regiones infestadas; fumigación para fines de investigación

		Membrillo			y cultivo en viveros de cuarentena
Heterodera rostochiensis	Nematodo dorado de la papa	Papa	Europa, Asia (India, Japón, Israel), África, América del Sur y del Norte	Tubérculos de papa, suelo infestado adherido a raíces, implementos y pies de animales/humanos	Prohibición de importación de regiones infestadas; cría en viveros de cuarentena para estudios científicos
Icerya purchasi	Escama de cochinilla acanalada	Cítricos	Europa, Asia, América del Norte, Australia	Diminutas larvas; la principal fuente son los viveros de cítricos	Fumigación obligatoria del material vegetal importado de países donde prevalece la plaga
Leptinotarsa decemlineata	Escarabajo de la patata de Colorado	Papa	Europa, Asia (Turquía), América del Norte y Central	Vuelo activo y con materiales de embalaje o suelo	Importación bajo certificado fitosanitario; desinfestación con policloropreno o clorofos
Pectinophora gossypiella	Gusano rosado	Algodón	Europa, Asia, América	Polillas se propagan con semillas,	Importación prohibida de países

			del Norte y del Sur, Australia	cápsulas y suelo de campos infestados	infestados; pruebas de rayos X para lotes de semillas; manejo en regiones no algodoneras
Phthorimaea operculella	Polilla de la papa	Papa, Tomate	Europa, Asia (Birmania, China, India, Japón, Pakistán), América del Norte	Se propaga con el movimiento de tubérculos de papa y frutos frescos de tomate	Prohibición de importación de papa de países infestados
Phylloxera vitifoliae	Filoxera de la vid	Uva	Europa, Asia (Japón, China, Corea, Siria), Australia, América	Material vegetal; las larvas se dispersan por viento, agua e implementos agrícolas	Prohibición de importación de material vegetal de áreas infestadas; aislamiento y erradicación de focos
Popillia japonica	Escarabajo japonés	Manzano, Olmo, Uva, Maíz,	Asia (Japón, China, Corea),	Material vegetal, suelo, material de	Prohibición de importación de material

		Rosa, Cereza, Soja	América del Norte	empaque; larvas en bulbos de viveros comerciales	vegetal enraizado con suelo de países infestados
Quadraspidiotus perniciosus	Escama de San José	Manzano, diversas plantas	Europa, Asia (India, China, Sri Lanka), América del Norte, Nueva Zelanda	Material vegetal; formas móviles transportadas por humanos o animales	Destrucción inmediata del material infestado; supervisión estricta de cuarentena en viveros y granjas
Rhagoletis pomonella	Gusano de la manzana	Manzana	América del Norte (EE. UU., Canadá)	Larvas en manzanas transportadas por pasajeros aéreos	Prohibición de importación de plántulas; control de puntos de importación y consumo; desinfestación de paquetes
Synchytrium endobioticum	Verruga de la papa	Papa	Europa, Australia, EE. UU., Asia	Esporangios de invierno, tubérculos, raíces, suelo contaminado	Prohibición de importación de áreas infestadas;

				e implementos	uso de variedades resistentes; desinfección química del suelo
Trogoderma granarium	Escarabajo Khapra	Cereales y granos	Europa, Asia (China, India, Japón, Afganistán), África	Granos, semillas, harina, existencias de alimentos, paquetes y vehículos de transporte	Inspecciones regulares de granos, harinas, almacenes y edificios; no ha sido erradicado con éxito en ningún país

Fuente Elaboración propia

6.5 Delimitación y manejo de las plagas

Una vez que una plaga ha cruzado la frontera, la delimitación precisa del área infestada es crucial para su erradicación. Koh et al. (2025) proponen que las estrategias de delimitación deben basarse en modelos científicos y no en prácticas ad-hoc. El uso de estrategias adaptativas, que consideren las características epidemiológicas de la plaga (como en el caso del Huanglongbing o enverdecimiento de los cítricos), permite definir zonas de control de manera eficiente, optimizando costos y evitando que la plaga se disperse descontroladamente (Koh et al., 2025).

Basado en los documentos investigados y la normativa fitosanitaria internacional, la cuarentena se clasifica principalmente según el momento y el lugar donde se aplican las restricciones y controles.

A continuación, se detallan los tipos de cuarentena identificados en la literatura técnica:

6.5.1 Cuarentena de Pre-entrada (Externa)

Se aplica en el país de origen antes de que el producto sea embarcado. Su objetivo es asegurar que las mercancías cumplan con los requisitos del país importador desde su origen.

- **Acciones:** Certificación fitosanitaria en origen, inspección en predios de producción y aplicación de tratamientos previos al envío (como la fumigación o el tratamiento en frío en tránsito) (Sharma & Thakur, 2007).

- **Ventaja:** Reduce la probabilidad de transportar plagas vivas a través del océano o fronteras.

6.5.2 Cuarentena de Entrada (Puntos de Frontera)

Es la inspección que ocurre en los puntos de control fronterizo (aeropuertos, puertos marítimos o cruces terrestres).

- **Acciones:** Verificación de documentos, inspección física de los envíos e interceptación de organismos sospechosos. Si se detecta una plaga, el envío puede ser rechazado, destruido o sometido a un tratamiento de emergencia (Sharma & Thakur, 2007).

- **Impacto:** Es el filtro crítico donde se aplican los métodos de detección modernos para identificar patógenos latentes que no son visibles a simple vista (Martin et al., 2016).

6.5.3 Cuarentena de Post-entrada

Consiste en el confinamiento y aislamiento de plantas o productos vegetales después de haber ingresado al país, generalmente en estaciones cuarentenarias oficiales o sitios aprobados.

- **Uso principal:** Se aplica mayormente a material de propagación (semillas, esquejes, plantas in vitro) que podría albergar virus o bacterias de desarrollo lento.

- **Acciones:** Cultivo de las plantas bajo condiciones controladas y aplicación de pruebas de diagnóstico avanzadas (como PCR o indexado biológico) durante uno o dos ciclos de crecimiento para confirmar la ausencia de patógenos (Martin et al., 2016).

6.5.4 Cuarentena Interna (Doméstica)

Se aplica dentro de los límites de un país para prevenir la dispersión de una plaga que ya ha logrado ingresar pero que está localizada en un área específica.

- **Acciones:** Establecimiento de áreas reglamentadas o "zonas infestadas" y control del movimiento de productos desde esas zonas hacia áreas libres.

- **Estrategia:** Requiere de una delimitación precisa basada en modelos epidemiológicos para definir las fronteras de control y evitar costos económicos excesivos (Koh et al., 2025).

En la Tabla 14, se muestran los tipos de cuarentena donde se ubican y los objetivos estratégicos.

Tabla 14. Tipos de cuarentena en puertos de ingreso al país.

Tipo de Cuarentena	Ubicación Principal	Objetivo Estratégico
Pre-entrada	País exportador	Prevenir la carga de plagas en el envío.
Entrada	Aduanas / Puertos	Interceptar plagas en el punto de llegada.
Post-entrada	Estaciones aisladas	Detectar patógenos latentes en material vivo.
Interna	Dentro del país	Contener y erradicar brotes locales.

Fuente: Elaboración propia

6.6 Análisis de Riesgo de Plagas (ARP)

El ARP es el proceso técnico-científico mediante el cual se evalúa si una plaga debe ser reglamentada y la intensidad de las medidas para mitigar su riesgo.

1. Categorización: Identificación de la plaga y su potencial de daño.
2. Evaluación de la probabilidad: Análisis de las vías de entrada (vuelos, carga marítima) y capacidad de establecimiento.
3. Manejo del riesgo: Selección de opciones para reducir el riesgo a un nivel aceptable.

Procedimientos de Inspección y Vigilancia Fitosanitaria

La inspección se realiza en los Puntos de Control Fronterizo (PCF) (aeropuertos, puertos y fronteras terrestres).

- **Inspección Visual:** Verificación de síntomas en el producto y presencia de insectos o patógenos.

- **Muestreo y Diagnóstico:** Toma de muestras para análisis molecular (PCR) o morfológico en laboratorios acreditados.

6.7 Tratamientos Cuarentenarios de Mitigación

Cuando se detecta una amenaza o como requisito preventivo, se aplican tratamientos para eliminar la viabilidad de la plaga:

- **Fumigación:** Uso de agentes como el bromuro de metilo (restringido) o fosfina.
- **Tratamientos Térmicos:** Calor sensible para frutas o tratamiento de frío para cítricos (control de moscas de la fruta).
- **Irradiación:** Uso de energía ionizante para esterilizar o matar insectos sin afectar la calidad del producto.

6.8 Conclusión General

El control cuarentenario ha migrado desde un paradigma meramente prohibitivo hacia uno basado en evidencia científica: utiliza diagnósticos de alta precisión, tratamientos entomológicos validados mediante pruebas, y estrategias de delimitación territorial fundamentadas en modelos epidemiológicos. Esta evolución permite conciliar bioseguridad agrícola con facilitación del comercio internacional. Su efectividad sostenida, sin embargo, enfrenta desafíos crecientes: la emergencia continua de plagas invasoras, la adaptación evolutiva de especies establecidas, y la reconfiguración de cadenas

comerciales globales demandan revisión periódica de marcos normativos.

6.9 Actividad Autónoma

Título: Análisis de Estrategias de Delimitación frente a un Brote de Plaga.

Objetivo de aprendizaje

Evaluar y proponer una estrategia de delimitación y control para una plaga específica, utilizando los principios de modelado y diagnóstico discutidos en la literatura técnica para minimizar el impacto económico.

6.10 Cuestionario de evaluación

1. **Según Sharma y Thakur (2007), ¿en qué puntos se realiza la eliminación de plagas?**

    a) Solo en el puerto de llegada.
    b) Pre-entrada, entrada y post-entrada.
    c) Solo en el país de origen.
    d) Durante el transporte marítimo.

2. **¿Qué factor ha incrementado significativamente el riesgo de introducción de plagas según el texto?**

    a) El cambio climático únicamente.
    b) El uso de menos pesticidas.
    c) Los enlaces de transporte internacional rápido.
    d) La falta de interés gubernamental.

3. **Martin et al. (2016) mencionan que los métodos de detección modernos:**

    a) No han afectado las regulaciones.

    b) Han facilitado siempre el comercio sin restricciones.

    c) Tienen un impacto profundo en las regulaciones cuarentenarias.

    d) Son demasiado costosos para ser usados.

4. **La entomología cuarentenaria se enfoca principalmente en (Follett & Neven, 2006):**

    a) La clasificación taxonómica de insectos de jardín.

    b) El desarrollo de protocolos de mitigación y tratamientos.

    c) La cría de insectos para exportación.

    d) El estudio de la comunicación entre insectos.

5. **¿Cuál es un tratamiento mencionado por Follett y Neven (2006)?**

    a) Inmersión en agua jabonosa.

    b) Irradiación.

    c) Exposición a la luz solar.

    d) Uso de fertilizantes químicos.

6. **De acuerdo con Koh et al. (2025), una delimitación errónea que define un área demasiado pequeña provoca:**

    a) Ahorro de costos a largo plazo.

    b) Que la plaga se disperse de forma incontrolable.

    c) Una erradicación más rápida.

    d) No tiene ningún efecto negativo.

7. **¿Qué plaga se utiliza como modelo de estudio en el trabajo de Koh et al. (2025)?**

    a) Mosca de la fruta.

    b) Gorgojo del trigo.

    c) Huanglongbing (citrus greening).

    d) Pulgón del maíz.

8. **El objetivo del Análisis de Riesgo de Plagas es:**

    a) Prohibir todo tipo de comercio internacional.

    b) Evaluar si una plaga debe ser reglamentada y sus medidas de mitigación.

    c) Identificar solo plagas que afectan a los humanos.

    d) Reducir el costo de los productos importados.

9. **La cuarentena de post-entrada es útil principalmente para:**

a) Fruta de consumo inmediato.

b) Material de propagación (plantas vivas) que puede portar patógenos latentes.

c) Maquinaria pesada usada.

d) Granos secos para molienda.

10. **Un "área libre de plagas" es un concepto que permite:**

a) Exportar productos sin ningún tratamiento desde esa zona específica.

b) Ignorar todas las leyes fitosanitarias.

c) Importar plagas de otros países legalmente.

d) No realizar inspecciones en el punto de destino.

6.11 Glosario de términos

- **Plaga Cuarentenaria:** Plaga de importancia económica potencial para el área en peligro, donde no está presente, o si lo está, no se encuentra extendida y está bajo control oficial.
- **Delimitación:** Proceso de realizar encuestas o muestreos para establecer los límites de un área considerada infestada por una plaga tras su detección inicial.
- **Análisis de Riesgo de Plagas (ARP):** Proceso de evaluación de evidencias biológicas u otras evidencias científicas y económicas para determinar si una plaga debe ser reglamentada y la intensidad de las medidas fitosanitarias.

- **Tratamiento de Mitigación:** Procedimiento oficial para matar, eliminar, esterilizar o inactivar plagas (por ejemplo, irradiación o tratamientos térmicos) sin dañar el producto (Follett & Neven, 2006).
- **Detección Molecular:** Uso de técnicas avanzadas (como PCR o secuenciación de nueva generación) para identificar patógenos en niveles muy bajos o estados latentes, mejorando la precisión de la cuarentena (Martin et al., 2016).
- **Interceptación:** Detección de una plaga durante la inspección o examen de un envío que se moviliza en el comercio internacional (Sharma & Thakur, 2007).
- **Estrategia Adaptativa:** Método de vigilancia que ajusta el esfuerzo de muestreo basándose en los resultados obtenidos en tiempo real, optimizando la detección en paisajes complejos (Koh et al., 2025).
- **Seguridad Cuarentenaria:** Nivel de confianza o probabilidad de que un tratamiento o protocolo elimine el riesgo de introducción de una plaga a un nivel aceptable para el país importador (Follett & Neven, 2006).
- **Cuarentena de Post-entrada:** Confinamiento de un envío después de su entrada para inspección, pruebas o observación adicional, generalmente aplicado a material de propagación (Martin et al., 2016).
- **Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (ONPF):** Servicio oficial establecido por un gobierno para desempeñar las funciones especificadas por la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF).

CAPÍTULO VII

7 MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

7.1 Resumen

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) constituye una estrategia fundamental para la protección fitosanitaria de los cultivos, al combinar de manera racional métodos culturales, biológicos, físicos o mecánicos y químicos, con el fin de mantener las poblaciones de plagas por debajo del umbral económico de daño. El MIP opera reduciendo daños simultáneamente sobre agroecosistemas, salud humana y biodiversidad, construyendo sistemas agrícolas que mantienen productividad sin degradar bases ecológicas. Este capítulo examina los principios que sustentan el MIP, sus componentes operativos y estrategias de implementación, conectándolos con dinámicas más amplias: desarrollo rural sostenible y productividad agrícola moderna. Se enfatiza el monitoreo continuo y la toma de decisiones basada en umbrales económicos como prácticas centrales, con actividades que permiten al lector aplicar estos conceptos en contextos reales

Palabras clave: desarrollo sostenible, protección fitosanitaria, sistemas productivos sostenibles

Objetivos de aprendizaje

Comprender los principios y estrategias del Manejo Integrado de Plagas (MIP) como enfoque sostenible para la protección fitosanitaria y la gestión racional de plagas en sistemas productivos agrícolas.

7.2 Introducción

La intensificación de la agricultura y el uso indiscriminado de plaguicidas han generado serios problemas ambientales, resistencia de plagas, desequilibrios ecológicos y riesgos para la salud humana. Frente a este escenario, el Manejo Integrado de Plagas (MIP) surge como una alternativa que permite enfrentar las plagas agrícolas en particular las herbívoras desde una perspectiva sistémica y sostenible, priorizando la prevención y el uso racional de insumos tanto biológicos como de síntesis química (Torres & colaboradores, 2022).

El MIP se fundamenta en el conocimiento de la biología y ecología de las plagas, los componentes abióticos del agroecosistema, los organismos que cumple la función de enemigo natural y los factores ambientales. Su aplicación resulta clave en cultivos de importancia económica, como el banano, cacao, arroz, papa, etc., donde la presión de plagas puede comprometer significativamente el rendimiento y la calidad del producto.

7.3 Diferencias del conceptos: Control integrado de plagas y Manejo Integrado de Plagas

En respuesta a las crisis generadas por el uso excesivo de pesticidas, en la década de los 50, investigadores en California, Estados Unidos propusieron el concepto de Control Integrado de plagas, definido como un sistema que combina y coordina el uso de control biológico y químico. Este enfoque buscaba que los químicos se usaran de forma selectiva para no destruir a los enemigos naturales (depredadores, parasitoides), permitiendo restaurar el equilibrio ecológico en los agroecosistemas.

En 1959 Stern propone el concepto Manejo Integrado de Plagas (MIP) como el control aplicado de plagas que combina e integra el control biológico y químico (Alvarado Gastesi et al., 2023). El control químico se utiliza según sea necesario y de la manera que menos perturbe el control biológico. El control integrado moviliza tanto enemigos naturales residentes en el agroecosistema como agentes bióticos criados comercialmente o manipulados experimentalmente. Esta distinción entre control biológico natural y manipulado marca un punto de inflexión histórico: durante los años 60 y 70, la perspectiva evoluciona desde Control Integrado hacia MIP, un paradigma radicalmente diferente. Mientras que el control tradicional es reactivo, interviene cuando plagas causan daño visible, recurriendo a aplicaciones masivas de pesticidas sin análisis previo del ecosistema (Tiwari 2024). El control integrado anticipa mediante monitoreo continuo y decisiones informadas. En contraste, el MIP adopta un enfoque proactivo y preventivo, sustentado en el conocimiento científico de los ciclos de vida de las plagas y de sus interacciones con el cultivo y el ambiente (Zhou et al., 2024); lo que permite anticipar antes de que alcancen niveles críticos para en lo posterior realizar un control biológico y luego químico si amerita el caso (Figura 29).

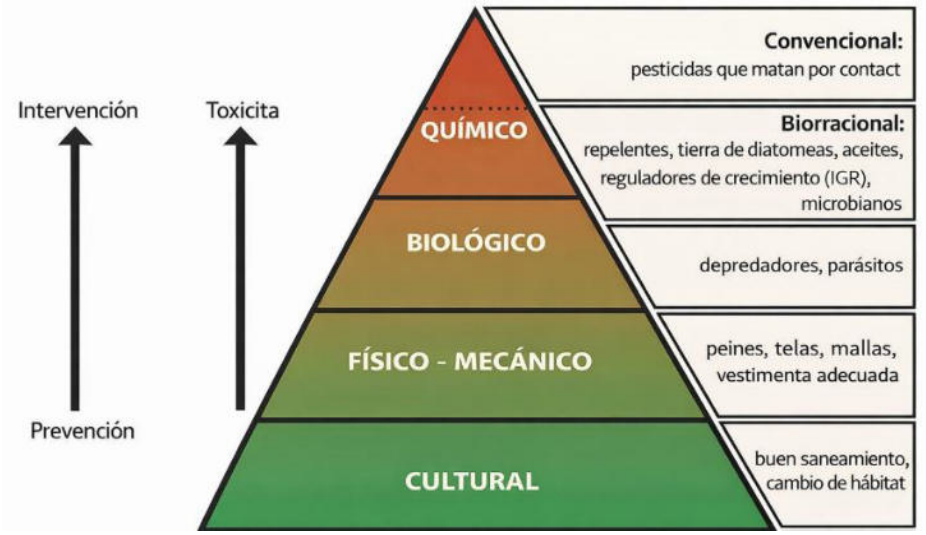


Figura 29. Integración de los control de plagas con un enfoque de sostenibilidad

Fuente: adaptado de Tiwari (2024); generado con Chatgpt versión 4.

Otro enfoque que diferencia a los conceptos de Control Integrado de Plagas y MIP, está en que el primero persigue la eliminación o erradicación total de los organismos considerados nocivos (plagas). Por otra parte, el MIP reconoce que las plagas pueden coexistir en el sistema productivo y orienta sus acciones a mantener sus poblaciones por debajo del umbral económico de daño, evitando pérdidas significativas sin alterar innecesariamente el equilibrio ecológico (Alvarado Gastesi et al., 2023).

En cuanto a los métodos, el control de plagas suele basarse en una táctica única, centrada casi exclusivamente en el uso masivo de pesticidas sintéticos, mientras que el MIP integra de forma racional y complementaria controles culturales, biológicos, mecánicos o físicos y químicos, empleando estos últimos únicamente como último recurso y

de manera selectiva. Asimismo, la toma de decisiones en el control tradicional suele apoyarse en la intuición, calendarios fijos o la simple presencia de la plaga, mientras que en el MIP se fundamenta en el monitoreo continuo, el muestreo de campo y el análisis de umbrales económicos (Figura 30).

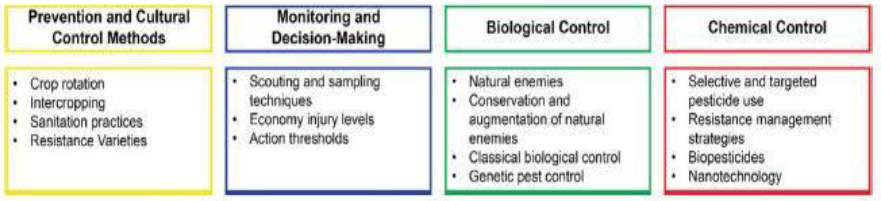


Figura 30. Componentes clave del MI.

Fuente; (Zhou et al., 2024)

7.4 Paradigmas de Manejo Integrado de Plagas

El concepto de MIP está intrínsecamente ligado a la sustentabilidad y se basa en cuatro pilares o paradigmas fundamentales para el manejo de recursos bióticos e inorgánicos.

7.4.1 Conocimiento profundo de los ecosistemas

Es esencial adquirir información sobre la biología, fenología, comportamiento y ecología tanto de las plantas como de las plagas y sus enemigos naturales (depredadores, parasitoides y patógenos).

El MIP fundamenta en tres principios operativos. Previene desequilibrios ecológicos aplicando métodos ecológicamente racionales. Integra múltiples tácticas que atacan diferentes puntos vulnerables del ciclo de plagas a diferencia del control tradicional que concentra en aplicaciones químicas masivas. Requiere educación y

cooperación multidisciplinaria entre investigadores, productores, industria y gobierno.

El MIP opera como sistema dinámico donde decisiones técnicas no son aisladas sino articuladas por interacciones entre componentes operativos, actores sociales y factores externos. Esta complejidad marca su diferencia histórica: representa transición desde modelos lineales céntricos hacia sistemas sistémicos, preventivos y participativos. El núcleo del MIP reposa en investigación y extensión: la investigación genera conocimiento sobre biología de plagas, ecología y umbrales económicos; la extensión lo transfiere y adapta a sistemas productivos reales. El MIP, por tanto, no es una receta fija sino un proceso de decisión informada y adaptativo.

Cuatro componentes operativos estructuran el MIP. El manejo de plagas integra jerárquicamente métodos cultural, biológico, físico y químico, priorizando prevención y reservando química como último recurso. La planificación y organización anticipa mediante inspección rigurosa y rotación de cultivos. El conocimiento y recursos incorpora herramientas tecnológicas y bases de datos para decisiones informadas. La comunicación conecta productores, equipos de investigación y públicos en intercambio de información.

Su implementación enfrenta tres restricciones críticas: viabilidad económica para productores, seguridad ambiental para ecosistemas, aceptabilidad social para consumidores. El MIP consolida cuando equilibra simultáneamente productividad, protección ambiental y responsabilidad social



Figura 31.Estructura del paradigma integrado de plagas

7.5 Principios del Manejo Integrado de Plagas

En la actualidad, el Manejo Integrado de Plagas se define como la aplicación coordinada de diferentes técnicas de control, basadas en criterios ecológicos, económicos y sociales, con el objetivo de mantener las poblaciones de organismos nocivos en niveles aceptables (Torres et al., 2022).

7.5.1 Principios fundamentales del MIP

- Prevención**:** reducción de condiciones favorables para el desarrollo de plagas.
- Monitoreo permanente**:** observación sistemática de poblaciones de plagas y enemigos naturales.
- Umbral económico de daño**:** nivel poblacional a partir del cual la plaga causa pérdidas económicas.

- Selección racional de métodos de control**:** priorizando los de menor impacto ambiental.

- Evaluación continua: análisis de la eficacia de las estrategias aplicadas.

- Monitoreo y toma de decisiones: El monitoreo es un componente esencial del MIP, ya que permite conocer la dinámica poblacional de las plagas y sus enemigos naturales. A partir de esta información se toman decisiones técnicas basadas en datos reales y no en aplicaciones preventivas de plaguicidas. El uso de registros, trampas y muestreos sistemáticos mejora la eficiencia del manejo fitosanitario (Deguine, et al., 2021).

7.6 Conclusión general

El MIP consolida como enfoque fundamental de agricultura sostenible porque integra múltiples métodos que actúan sinérgicamente: control cultural anticipa colonización de plagas; control biológico mantiene autorregulación ecológica; control químico se aplica selectivamente como último recurso. Esta integración jerarquizada, informada por monitoreo riguroso y umbrales económicos, genera simultáneamente tres beneficios: reducción de costos productivos al minimizar insumos químicos innecesarios; protección de salud humana mediante reducción de exposición a pesticidas; y conservación de biodiversidad funcional que sostiene productividad a largo plazo.

7.7 Actividad autónoma

Objetivo de aprendizaje

Analizar los principios y componentes del Manejo Integrado de Plagas y su aplicación en un cultivo de importancia agrícola.

Instrucciones de la actividad

1. Seleccione un cultivo de su entorno (cacao, banano, mango u otro).
2. Identifique las principales plagas que afectan al cultivo.
3. Proponga un plan de Manejo Integrado de Plagas, considerando al menos tres métodos de control.
4. Justifique cada estrategia propuesta con base en los principios del MIP.
5. Presente el trabajo en un informe escrito de 3 a 4 páginas.

7.8 Glosario de términos

- **Sostenibilidad**: uso responsable de los recursos para garantizar su disponibilidad futura.

7.9 Cuestionario de evaluación

1.El objetivo principal del MIP es:

a)Eliminar totalmente las plagas

b)Reducir costos únicamente

c)Mantener plagas bajo niveles económicos de daño

d)Incrementar el uso de pesticidas

2. ¿Cuál es el primer paso en la aplicación del MIP?

a) Aplicación de insecticidas

b) Monitoreo

c) Control químico

d) Fertilización

3. El control biológico se basa en:

a) Productos químicos

b) Enemigos naturales

c) Barreras físicas

d) Prácticas culturales

4. El umbral económico de daño indica:

a) El número máximo de plagas tolerables

b) El momento de cosecha

c) La dosis de pesticida

d) La fertilización adecuada

5. El control cultural busca principalmente:

a) Eliminar insectos manualmente

b) Prevenir el desarrollo de plagas

c) Aumentar la toxicidad del suelo

d) Sustituir el control biológico

BIBLIOGRAFÍA

Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18(2), 265–267.

Adeolu, M., Alnajar, S., Naushad, S., & Gupta, R. S. (2016). Genome-based phylogeny and taxonomy of the 'Enterobacteriales': Proposal for Enterobacterales ord. nov. divided into the families Enterobacteriaceae, Erwiniaceae fam. nov., Pectobacteriaceae fam. nov., Yersiniaceae fam. nov., Hafniaceae fam. nov., Morganellaceae fam. nov., and Budviciaceae fam. nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 66(12), 5575–5599. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001485

Adhikari, U. (2022). Insect pest management: Mechanical and physical techniques. Reviews in Food and Agriculture (RFNA), 3(1), 48–53. https://doi.org/10.26480/rfna.01.2022.48.53

Afroz, M., Rahman, M. M., & Amin, M. R. (2021). Insect–plant interaction with reference to secondary metabolites: A review. Agricultural Reviews, 42(2), 1–7. https://doi.org/10.18805/ag.R-200

Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards. Interdisciplinary Toxicology, 2(1), 1–12. https://doi.org/10.2478/v10102-009-0001-7

Alvarado Gastesi, J., Cobos Mora, F., Gómez Villalva, J., & Medina Litardo, R. (2023). Manejo integrado de cultivos y desarrollo sostenible. Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación, 9(1). https://doi.org/10.33262/rmc.v9i1.3049

Ambethgar, A. S., Rameshkumar, A., Krishna, K. R., & Sundaresan, S. (2024). Biological control of pests in major tropical vegetable crops: A review. Agricultural Reviews. https://doi.org/10.18805/ag.R-2635

Anand, K. B., & Verma, S. B. (2025). Integrated pest management strategies for sustainable crop production. International Journal of Multidisciplinary Research and Development, 12(12), 135–139.

Angon, P. B., Mondal, S., Jahan, I., Datto, M., Antu, U. B., Ayshi, F. J., & Md. Shafiul Islam. (2023). Integrated pest management (IPM) in agriculture and its role in maintaining ecological balance and biodiversity. Advances in Agriculture, 2023, Artículo 5546373. https://doi.org/10.1155/2023/5546373

Asang, S. F., Sánchez, G. B., Sacoto, C. A., Morán, E. H., & Barzallo, A. A. (2022). Eficacia de trampas etológicas para el control de Cosmopolites sordidus en banano (Musa spp.) en la hacienda Mechita del cantón Puebloviejo, Ecuador. Revista Tecnológica ESPOL, 34(4), 69–79.

Bashyal, S., Poudel, D., & Gautam, B. (2022). A review on cultural practice as an effective pest management approach under

integrated pest management. Tropical Agroecosystems (TAEC), 3(1), 34–40. https://doi.org/10.26480/taec.01.2022.34.40

Berens, M. L., et al. (2017). Balancing plant growth and defense: A role for hormones. Journal of Experimental Botany, 68(11), 2631–2642.

Bezboruah, M., Sharma, S. K., Laxman, T., Ramesh, S., Sampathkumar, T., Gulaiya, S., Malathi, G., & Krishnaveni, S. A. (2024). Conservation tillage practices and their role in sustainable farming systems. Journal of Experimental Agriculture International, 46(9), 946–959. https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i92892

Bhaskar, R., Xavier, L. S. E., Udayakumaran, G., Kumar, D. S., Venkatesh, R., & Nagella, P. (2022). Biotic elicitors: A boon for the in vitro production of plant secondary metabolites. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 149(1), 7–24.

Burbano-Figueroa, Ó. (2020). Resistencia de plantas a patógenos: Una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. Revista Argentina de Microbiología, 52(3), 245–255. https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.04.006

Cabrera, I. (s. f.). Insectos y su manejo integrado. En Conjunto tecnológico para la producción de melón “Cantaloupe” y “Honeydew” (Vol. 1). Estación Experimental Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez, Universidad de Puerto Rico.

Colmenarez, Y. C., & Vasquez, C. (2024). Benefits associated with the implementation of biological control programmes in Latin America. BioControl, 69, 303–320. https://doi.org/10.1007/s10526-024-10260-7

Cox, C., & Surgan, M. (2006). Unidentified inert ingredients in pesticides: Implications for human and environmental health. Environmental Health Perspectives, 114(12), 1803–1806. https://doi.org/10.1289/ehp.9374

Cuellar-Espejel, M. D. S., et al. (2024). Elicitores para mejorar la producción vegetal: vacunas vegetales. Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(2), 163–171.

Damalas, C. A., & Koutroubas, S. D. (2020). Farmers' exposure to pesticides: Toxicity types and ways of prevention. Toxics, 8(1), 1–10. https://doi.org/10.3390/toxics8010001

Dassou, A. G., Yemadje, P. L., et al. (2024). Conservation agriculture compared to conventional tillage improves the trade-off between ground-dwelling arthropod trophic groups for natural pest regulation in cotton cropping systems. Global Ecology and Conservation, 55, e03223. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03223

Datta, A., Sankaranarayanan, S., & Bhatia, U. (2025). Temporally staggered cropping co-benefits beneficial insects and pest control globally. arXiv.

De Wint, F. C., Nicholson, S., Koid, Q. Q., Zahra, S., Chestney-Claassen, G., Sathiya Seelan, J. S., Xie, J., Xing, S., Fayle, T. M., & Haelewaters, D. (2024). Introducing a global database of entomopathogenic fungi and their host associations. Scientific Data, 11, 1418. https://doi.org/10.1038/s41597-024-04103-4

Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(38). https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w

del Sol Cuellar-Espejel, M., Aguilar, E. E. Q., Gutiérrez, R. H., Mateos-Díaz, J. C., Valerio-Landa, S. D., & Enríquez, G. R. (2024). Elicitores para mejorar la producción vegetal: Vacunas vegetales. Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad, 2(2), 163–171.

Dent, D. (2000). Insect pest management (2nd ed.). CABI Publishing.

Dent, D. (2000). Insect pest management (2nd ed.). CABI Publishing.

Dicke, M., & Baldwin, I. T. (2010). The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: Beyond the “cry for help”. Trends in Plant Science, 15(3), 167–175.

El-Shafie, H. A. F. (2024). Integrated insect pest management. En Insect pest management. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.102556

Erb, M., Meldau, S., & Howe, G. A. (2012). Role of phytohormones in insect-specific plant reactions. Trends in Plant Science, 17(5), 250–259. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.01.003

Farah, S., Sánchez, G. B., Sacoto, C. A., Morán, E. H., & Alvarado, A. (2022). Eficacia de trampas etológicas para el control de Cosmopolites sordidus en banano (Musa spp.) en la hacienda Mechita del cantón Puebloviejo, Ecuador. RTE: Revista Tecnológica ESPOL, 34(4), 69–79.

Follett, P. A., & Neven, L. G. (2006). Current trends in quarantine entomology. Annual Review of Entomology, 51, 359-385.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). Pesticide management and integrated pest management guidelines. FAO.

Gabryś, B., & Kordan, B. (2022). Cultural control and other non-chemical methods. En Insect pests of potato (pp. 297–313). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821237-0.00006-8

Hajek, A. E., & Eilenberg, J. (2018). Natural enemies: An introduction to biological control. Cambridge University Press.

He, Z., Gao, Y., & Enkegaard, A. (2020). Synergistic interactions between entomopathogenic fungi and chemical pesticides: A review. Biological Control, 148, 104302. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104302

Hilje, L., Costa, H. S., & Stansly, P. A. (2001). Cultural practices for managing Bemisia tabaci and associated viral diseases. Crop Protection, 20, 801–812.

Hilker, M., & Meiners, T. (2010). How do plants notice attack by herbivorous arthropods? Biological Reviews, 85(2), 267–280. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00100.x

Hoddle, M. S. (2024). A new paradigm: Proactive biological control of invasive insect pests. BioControl, 69(3), 321–334. https://doi.org/10.1007/s10526-023-10206-5

Hou, S., et al. (2019). MAP kinase signaling cascade in Arabidopsis innate immunity. International Journal of Molecular Sciences, 20(16), 3879.

Insecticide Resistance Action Committee. (2024). Clasificación de los modos de acción (MdA) de insecticidas y acaricidas, incluyendo nematicidas (Folleto técnico). IRAC International.

Jobe, N. B., Chourasia, A., Smith, B. H., Molins, E., Rose, A., Pavlic, T. P., & Paaijmans, K. P. (2024). Using electric fields to control insects: Current applications and future directions. Journal of Insect Science, 24(1), 8, 1–9. https://doi.org/10.1093/jisesa/ieae007

Johnson, J. M., Hough-Goldstein, J. A., & VanGessel, M. J. (2004). Effects of straw mulch on pest insects, predators, and weeds in watermelons and potatoes. Environmental Entomology, 33(6), 1632–1643.

Koh, J. M. J., Cunniffe, N. J., & Parnell, S. (2025). Assessing delimiting strategies to identify the infested zones of quarantine plant pests and diseases. Scientific Reports, 15(5610). https://doi.org/10.1038/s41598-025-90343-2

Kurstjens, D. A. G. (2007). Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management. Soil & Tillage Research, 97, 293–305. https://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.011

Li, L., Ma, H., Niu, L., Han, D., Zhang, F., Chen, J., & Fu, Y. (2017). Evaluation of chromatic cues for trapping Bactrocera tau. Pest Management Science, 73(1), 217–222.

Libersat, F., Delago, A., & Gal, R. (2009). Manipulation of host behavior by parasitic insects and insect parasites. Annual Review of Entomology, 54, 189–207. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.54.110807.090556

Mantzoukas, S., & Eliopoulos, P. A. (2020). Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. Applied Sciences, 10(1), 360. https://doi.org/10.3390/app10010360

Martin, R. R., Constable, F., & Tzanetakis, I. E. (2016). Quarantine regulations and the impact of modern detection methods. Annual Review of Phytopathology, 54, 189-205.

Matsuda, Y., Nonomura, T., & Toyoda, H. (2022). Physical methods for electrical trap-and-kill fly traps using electrified insulated

conductors. Insects, 13(3), 253. https://doi.org/10.3390/insects13030253

Maurya, R. P., Koranga, R., Samal, I., Chaudhary, D., Paschapur, A. U., Sreedhar, M., & Manimala, R. N. (2022). Biological control: A global perspective. International Journal of Tropical Insect Science. https://doi.org/10.1007/s42690-022-00881-9

Mesnage, R., Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., & Séralini, G. E. (2014). Major pesticides are more toxic to human cells than their declared active principles. BioMed Research International, 2014, 179691. https://doi.org/10.1155/2014/179691

Murdoch, W. W., & Stewart-Oaten, A. (1989). Aggregation by parasitoids and predators: Effects on equilibrium and stability. The American Naturalist, 134(2), 288–310.

Nemade, S., Ninama, J., Kumar, S., Pandarinathan, S., Azam, K., Singh, B., & Ratnam, K. M. (2023). Advancements in agronomic practices for sustainable crop production: A review. International Journal of Plant & Soil Science, 35(22), 679–689. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2023/v35i224178

Ninkovic, V., Markovic, D., & Rensing, M. (2021). Plant volatiles as cues and signals in plant communication. Plant, Cell & Environment, 44(4), 1030–1043.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011). Manejo integrado de plagas.

MDRYT; Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad y Cambio Climático.

Pérez Moreno, I. (2000). Fundamentos teóricos del manejo integrado de plagas. Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa (SEA), (27), 127–133.

Rajput, A., Roy, S., Waghmare, M. N., Singh, S., Shukla, V. K., Singh, V., & Singh, P. (2023). Exploring sustainable practices in modern agronomy and their environmental impact: A review. International Journal of Environment and Climate Change, 13(11), 3146–3161. https://doi.org/10.9734/IJECC/2023/v13i113333

Razaq, M., Shah, F. M., Ahmad, S., & Afzal, M. (2019). Pest management for agronomic crops. En M. Hasanuzzaman (Ed.), Agronomic crops: Volume 2: Management practices (pp. 365–385). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9783-8_16

Sampaio, M. V., Bueno, V. H. P., Silveira, L. C. P., & Auad, A. M. (s.f.). Biological control of insect pests in the tropics. En Tropical biology and conservation management (Vol. III). Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).

Seemar, M. K., Yadav, R. S., & Sharma, P. (2025). Role of cultural practices in pest management. ResearchGate.

Shah, P. A., & Pell, J. K. (2003). Entomopathogenic fungi as biological control agents. Applied Microbiology and Biotechnology, 61(5–6), 413–423. https://doi.org/10.1007/s00253-003-1240-8

Sharma, P., et al. (2025). Integrated pest management: Modern applications in sustainable agriculture. Frontiers in Agriculture.

Sharma, S., & Thakur, M. (2007). Role of plant quarantine in the management of pest organisms: A review. Agricultural Reviews, 28(4), 235-244.

Shaurub, E.-S. H. (2023). Review of entomopathogenic fungi and nematodes as biological control agents of tephritid fruit flies: Current status and a future vision. Entomologia Experimentalis et Applicata, 171(1), 17–34. https://doi.org/10.1111/eea.13244

Shimada, B. S., Simon, M. V., & Cunha, L. d. S. (2021). Cultural control: A sustainable method of pest and disease control. Journal of Experimental Agriculture International, 43(6), 19–26. https://doi.org/10.9734/JEAI/2021/v43i630698

Silva, S. M., et al. (2023). Benzothiadiazole (BTH) as a potent inducer of plant defense. Frontiers in Plant Science, 14, 115432.

Silva, S. M., et al. (2023). Benzothiadiazole (BTH) as a potent inducer of plant defense. Frontiers in Plant Science, 14, 115432.

Smagghe, F., Spooner-Hart, R., Chen, Z.-H., & Donovan-Mak, M. (2023). Biological control of arthropod pests in protected cropping by employing entomopathogens: Efficiency, production and safety. Biological Control, 186, 105337. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105337

Sparks, T. C., & Nauen, R. (2015). IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. Pesticide Biochemistry and Physiology, 121, 122–128. https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014

Stahl, E., et al. (2018). Plant–arthropod interactions: Who is the winner? The Plant Journal, 93(4), 503–528.

Stahl, E., Hilfiker, O., & Reymond, P. (2018). Plant–arthropod interactions: Who is the winner? The Plant Journal, 93(4), 703–728. https://doi.org/10.1111/tpj.13773

Terán, F., Vives-Peris, V., López-Climent, M. F., Gómez-Cadenas, A., & Pérez-Clemente, R. M. (2023). Palliative effects of kaolin on citrus plants under controlled stress conditions of high temperature and high light intensity. Journal of Plant Growth Regulation. https://doi.org/10.1007/s00344-023-11103-y

Thakur, K., Sharma, A., & Sharma, K. (2021). Management of agricultural insect pests with physical control methods. The Pharma Innovation Journal, SP-10(6), 306–314.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature, 418, 671–677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Tiwari, A. K. (2024). IPM essentials: Combining biology, ecology, and agriculture for sustainable pest control. Journal of Advances in

Biology & Biotechnology, 27(2), 39–47. https://doi.org/10.9734/JABB/2024/v27i2697

Tiwari, A. K. (2024). IPM essentials: Combining biology, ecology, and agriculture for sustainable pest control. Journal of Advances in Biology & Biotechnology, 27(2), 39–47. https://doi.org/10.9734/JABB/2024/v27i2697

Tomar, P., & Yadav, A. N. (2024). Entomopathogenic microorganisms as biocontrol agents for agricultural sustainability. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 62, 103431. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2024.103431

Torres, A., et al. (2022). Manejo integrado de plagas y sostenibilidad agrícola.

Trujillo Arriaga, J. (1992). Control biológico por conservación: Enfoque relegado. Perspectiva de su desarrollo en Latinoamérica. CEIBA, 33(1), 17–26.

Tschumi, M., Albrecht, M., Entling, M. H., & Jacot, K. (2015). High-quality sown flower strips significantly increase biological control of aphids in winter wheat. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 282(1804), 20142546. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2546

Vega, F. E. (2018). The use of fungal entomopathogens as endophytes in biological control: A review. Mycologia, 110(1), 4–30. https://doi.org/10.1080/00275514.2017.1418578

Vincent, C., Hallman, G., Panneton, B., & Fleurat-Lessard, F. (2003). Management of agricultural insects with physical control methods. Annual Review of Entomology, 48, 261–281. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.48.091801.112639

Vincent, C., Weintraub, P. G., & Hallman, G. (2009). Physical control of insect pests. En V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), Encyclopedia of insects (2nd ed., pp. 794–798). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00209-5

Vinson, S. B. (2021). The biology of parasitoids: Host selection and development. Annual Review of Entomology, 66, 245–263.

War, A. R., Paulraj, M. G., Ahmad, T., Buhroo, A. A., Hussain, B., Ignacimuthu, S., & Sharma, H. C. (2012). Plant defense against herbivory: A review. Journal of Plant Growth Regulation, 31, 1–16. https://doi.org/10.1007/s00344-011-9210-0

Wharton, R. A. (1993). Bionomics of the Braconidae. Annual Review of Entomology, 38, 121–143.

World Health Organization. (2019). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2019. WHO.

Yadav, K., Divyadarshan, R., Sudam, D. A., Bachaspati, S., Swain, S. K., Raj, S. S., Diwan, S., & Subhash, T. S. (2026). Integrated pest management: A holistic approach to sustainable agriculture and ecosystem health. Uttar Pradesh Journal of Zoology, 47(1), 162–174. https://doi.org/10.56557/upjoz/2026/v47i15446

Ye, M., et al. (2019). El indol induce priming de defensa JA-dependiente en arroz. The Plant Cell, 31(3), 802–816.

Zaller, J. G., & Brühl, C. A. (2019). Editorial: Non-target effects of pesticides on organisms inhabiting agroecosystems. Frontiers in Environmental Science, 7, 75.

Zhou, W., Arcot, Y., Medina, R. F., Bernal, J., Cisneros-Zevallos, L., & Akbulut, M. E. S. (2024). Integrated pest management: An update on the sustainability approach to crop protection. ACS Omega, 9(39), 41130–41147. https://doi.org/10.1021/acsomega.4c06628

Manejo integrado de plagas: Principios ecológicos y métodos de control, se publicó en el mes de noviembre de 2026.

ISBN: 978-9907-802-59-7

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

BIOGRAFÍA DEL AUTOR

Salomon Alejandro Barrezueta Unda:
Ingeniero agrónomo ecuatoriano, doctor (PhD) y docente universitario. Destaca como coordinador académico de posgrado e invesgador en protección vegetal y fisiología de culvos tropicales como banano y cacao. Su trabajo impulsa el manejo integrado de plagas, la biometría agrícola y la agricultura sostenible.

Su trayectoria investigativa se caracteriza por un enfoque aplicado e interdisciplinario, orientado al análisis de sistemas productivos tropicales, la sostenibilidad agrícola y la evaluación de tecnologías alternativas como el biocarbón. Es autor y coautor de publicaciones científicas en revistas indexadas nacionales e internacionales, en las que aborda temáticas relacionadas con la producción de cacao y banano, la geoestadística aplicada a suelos, la calidad edáfica, la fertilización sostenible y el análisis socioeconómico de sistemas agrícolas.

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS: PRINCIPIOS ECOLÓGICOS Y MÉTODOS DE CONTROL

Estimado lector, este libro se concibe como una guía académica y aplicada destinada a transformar la enseñanza de la larvicultura y el diseño de *hatcheries* en la formación de profesionales de la acuacultura. Lejos de imponer un protocolo rígido o replicar modelos cerrados, la obra parte de la premisa de que todo diseño productivo debe responder estrictamente a la biología, morfología, fisiología y requerimientos específicos de la especie a cultivar.

A lo largo de sus capítulos, el texto articula los fundamentos biológicos del desarrollo larvario con herramientas cuantitativas orientadas a la toma de decisiones técnicas. A través de ejercicios, ecuaciones y modelos de dimensionamiento, capacita al estudiante para estimar densidades, calcular volúmenes hídricos, proyectar requerimientos de alimento vivo y estructurar estrategias nutricionales e infraestructurales acordes a metas productivas concretas, convirtiendo el cálculo matemático en un instrumento directo para el diseño ingenieril.

Aunque toma a *Penaeus vannamei* como principal referente práctico debido a su relevancia en la acuacultura ecuatoriana, el texto amplía su enfoque hacia peces, otros crustáceos y moluscos para fomentar un aprendizaje transversal y transferible a nuevas especies. De este modo, la publicación promueve que el futuro profesional desarrolle un pensamiento crítico e innovador, dotándolo de criterios sólidos para analizar, dimensionar, cuestionar y transformar los sistemas de producción larvaria frente a los desafíos productivos contemporáneos.

GRUPO BLR

Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
https://grupoblr.com/
publicaciones@grupoblr.com

ISBN: 978-9907-802-59-7

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA 1969