



UEB
UNIVERSIDAD
ESTATAL DE BOLIVAR



OPTIMIZACIÓN Y ALGORITMOS PARA EL COMBATE SOSTENIBLE DE PLANTAS NOCIVAS

TEORÍA APLICACIONES Y SIMULACIONES

Deysi Guanga Chunata
Isidro Bayas Morejon
Rosa Tigre Leon

2025

ISBN: 978-9907-0-0490-8

OPTIMIZACIÓN Y ALGORITMOS PARA EL COMBATE SOSTENIBLE DE PLANTAS NOCIVAS TEORÍA APLICACIONES Y SIMULACIONES

AUTORES:

DEYSI MARGOTH GUANGA CHUNATA

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJÓN

ROSA ANGÉLICA TIGRE LEÓN



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 Estatal de Bolívar
Riobamba – Ecuador
Correo: publicaciones@grupoblrl.com
<https://grupoblrl.com/libros-investig>
REPOSITORIO



Fierro, S., Fierro, M., Pacheco, S. (2025) Rostros del vih experiencias y reflexiones desde la enfermería. Grupo Editorial BLR.

© Deysi Margoth Guanga Chunata
Isidro Favian Bayas Morejón
Rosa Angélica Tigre León

ISBN: 978-9907-0-0490-8

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.

FILIACIONES DE LOS AUTORES

Deysi Margoth Guanga Chunata

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: deysiguanga@gmail.com CAMBIAR

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6548-5585>

Isidro Favian Bayas Morejón

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: fbayas@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2920-7155>

Rosa Angélica Tigre León

Universidad Estatal de Bolívar

Correo Electrónico: rtigre@ueb.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2984-9457>



ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
INTRODUCCIÓN	vii
CAPÍTULO I.....	10
1 EL MARCO DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS (MIM).....	10
1.1 El MIM se basa en los tres pilares del MIP	10
1.1.1 La Revolución de los Datos: Monitoreo, Modelado y DSS	11
1.2 Algoritmos de optimización para la toma de decisiones.....	12
1.2.1 Umbral económico: Dónde y cuándo aplicar.....	13
1.2.2 Cociente de Impacto Ambiental (EIQ): Qué aplicar.....	14
1.3 Simulación y aplicación práctica con código en R	14
1.3.1 Simulación 1: Optimización de herbicidas en banano usando EIQ... ..	15
1.3.2 Simulación 2: Mapa de densidad de malezas y umbral económico... ..	17
1.3.3 Caso de éxito en Ecuador: La finca lola.....	19

CAPÍTULO II	21
2 ECOLOGÍA DE LAS PLANTAS NOCIVAS	21
2.1.1 Control ante la erradicación	27
2.1.2 Influencias regionales y el concepto de los sistemas	30
2.1.3 Clima y sistemas de cultivo.....	30
2.2 La Balanza incierta: Influencias legislativas en el uso de pesticidas en Ecuador.....	32
2.2.1 El Marco Regulatorio Nacional: Intenciones y realidades.....	33
2.2.2 La influencia supranacional: Armonización y estándares regionales	34
2.2.3 AGROCALIDAD: El guardián de la normativa.....	35
2.2.4 Impactos en la salud y el ambiente: La deuda pendiente de la legislación	36
2.2.5 Hacia una gestión integral y participativa.....	36
2.3 Identificación del concepto de los sistemas con los problemas causados por plantas nocivas	37
2.3.1 Las medidas de control de plantas nocivas en los canales incluyen.....	39
2.4 Striga lutea	40

2.5	Plantas huésped	41
CAPÍTULO III		44
3	CONCEPTO DE LOS SISTEMAS PARA EL MANEJO DE PLANTAS NOCIVAS.....	44
CAPÍTULO IV.....		47
4	CONTROL PREVENTIVO DE PLANTAS NOCIVAS	47
4.1	Prácticas agrícolas.....	49
CAPÍTULO V		54
5	CONTROL DE PLANTAS NOCIVAS MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS	54
5.1	Hábitos de crecimiento y longevidad	55
5.2	Hábitat y medio ambiente	58
5.3	Clasificación y principios de métodos físicos para el control de plantas nocivas	60
5.3.1	Métodos de labranza	60
5.3.2	Medios manuales.....	60
5.3.3	Labranza a máquina	62
5.3.4	Funciones de la labranza	63
5.4	Factores que influyen en la frecuencia y la efectividad	65

CAPÍTULO VI.....	68
6 CONTROL BIOLÓGICO DE PLANTAS NOCIVAS	68
6.1 Base ecológica y principios del control biológico de plantas nocivas.....	68
6.2 Influencia de los enemigos	72
6.2.1 Clases de enemigos naturales.....	72
6.3 Naturaleza del método de control	75
6.4 Competencia en la soya.....	77
6.5 Maquinaria para labranza.....	82
6.5.1 Siega y corte	84
6.5.2 Anegamiento, dragado, drenado y rastrillado con cadenas.....	86
6.5.3 Centaurea repens y cardaria draba	87
6.6 Aceites de petróleo.....	91
6.7 Herbicidas orgánicos arsenicales	92
6.8 Ácidos fenoxialifáticos.....	96
6.9 Amidas sustituidas	98
6.9.1 A-haloacetamidas N-sustituidas.....	98
6.9.2 N-Ndimetil-2,2-difenilacetamida	100

6.10	Direnamida.....	100
6.10.1	Dicloropropionanilida.....	101
6.11	Concepto de los sistemas para el manejo de plantas nocivas...	101
6.11.1	Convolvulusarvensis	105
6.11.2	Alhagi camelorum.....	107
6.12	Organización del control de plantas nocivas.....	108
6.13	Elección de agentes enemigos.....	111
6.14	Agresividad de la planta nociva	113
6.15	Clima y sincronización de las relaciones de vida.....	115
6.15.1	Plantas competidoras y prácticas agrícolas.....	117
BIBLIOGRAFÍAS		119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Eiq herbicidas..... 16

Figura 2. Mapa prescripción..... 18

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista económico, una planta nociva o maleza es aquella cuya presencia reduce la rentabilidad de un sistema agrícola. A nivel mundial, se aplican anualmente 4,6 millones de toneladas de pesticidas químicos, de los cuales el 47.5% son herbicidas. Si bien estos productos han sido una herramienta necesaria para asegurar las cosechas y optimizar rendimientos ante una población mundial en constante crecimiento, su uso excesivo ha provocado daños ambientales y riesgos para la salud humana. El impacto económico de las malezas se manifiesta en la reducción de la producción, los costos de control y los costos externos derivados de su propagación.

La solución a este desafío no es la eliminación de los herbicidas, sino su optimización a través de un uso selectivo, racional e informado. Esto implica pasar de un enfoque general a una agricultura de precisión, donde la tecnología y los algoritmos permiten tomar decisiones informadas. Este capítulo explora cómo el Manejo Integrado de Malezas (MIM), apoyado por tecnologías de monitoreo, modelos predictivos y algoritmos de optimización, permite desarrollar estrategias de control más eficientes y sostenibles, con ejemplos prácticos aplicados a la realidad de Ecuador.

Las plantas nocivas son indeseables. Una planta determinada es nociva sólo si el hombre así lo determina. Se considera que las plantas son nocivas cuando obstaculizan la utilización de la tierra y los recursos hidráulicos o, también, si se interponen en forma adversa al bienestar humano. En general, esto significa que hay plantas nocivas que crecen

en los lugares en que se desea que crezcan otras plantas, o en los que no se desea que haya planta alguna. En tierras de cultivo, agostaderos, pastizales y bosques, las plantas nocivas compiten con vegetación más beneficiosa, disminuyendo el rendimiento y la calidad de los productos del campo. La vegetación indeseable puede florecer a la vera de caminos y en brechas de paso de instalaciones de servicio público, en aeropuertos, en plantaciones ornamentales y en los costados de los barcos.

Hay plantas a las que se considera nocivas porque son venenosas para el ganado o debido a que afectan la cantidad y calidad de productos animales. Otras, tales como la *Rhus radicans* y las plantas alergénicas son nocivas directamente para el hombre. Las plantas nocivas albergan plagas de insectos, roedores dañinos y enfermedades de las plantas. Plantas nocivas tales como *Cuscuta* spp., *Viscum* spp., *Orobancha* spp. y *Striga lutea*, son parásitas de plantas que tienen importancia económica. Las hierbas acuáticas atascan canales y acequias de riego y de avenamiento, obstaculizan la navegación y disminuyen la producción y población de peces y otros tipos de fauna silvestre.

Las plantas nocivas comunes del campo y los pastos son taxonómicamente diferentes, y su unidad se encuentra sólo en su posibilidad de causar daño; están muy bien adaptadas para que medren en estrecha asociación con el hombre, y también con los animales y plantas domesticados.

En determinados casos todas las especies vegetales pueden devenir en nocivas. Algunas especies casi siempre son nocivas, pero ninguna lo es

por completo. Las plantas nocivas son plagas comunes, pero existen algunos atenuantes, ya que a veces resultan beneficiosas; disminuyen la erosión del suelo de tierras abandonadas, añaden materia orgánica al suelo, proporcionan alimento y refugio a la fauna silvestre, producen sustancias medicinales útiles o manjares delicados, y embellecen el paisaje. Estas plantas proporcionan un reservorio de plasma germinativo y agentes bioquímicos y constituyen una fuente potencial de plantas domésticas. Muchas plantas que hoy se consideran nocivas, en el pasado sirvieron de fuente de alimento y fibras. Algunas plantas nocivas comunes de tierras de cultivo, hoy se cultivan en forma sistemática. A medida que aumentan los esfuerzos para mejorar los métodos para combatir plantas nocivas, es necesario considerar la explotación de los posibles beneficios que aportan.

CAPÍTULO I

1 EL MARCO DEL MANEJO INTEGRADO DE MALEZAS (MIM)

La optimización del uso de herbicidas debe ser parte de un plan integral. El **Manejo Integrado de Malezas (MIM)** es un enfoque que combina diversas tácticas de control en un solo programa, evitando la dependencia de un único método que puede llevar a la pérdida de control y a la aparición de resistencia. Este enfoque se sustenta en el Manejo Integrado de Plagas (MIP), una filosofía que promueve el uso de plaguicidas químicos como último recurso.

1.1 El MIM se basa en los tres pilares del MIP

1. **Prevención:** Evitar que las malezas entren a un campo o se propaguen dentro de él. Esto incluye el uso de semillas de cultivo limpias, el control de malezas en áreas adyacentes y la limpieza de maquinaria agrícola para no transportar semillas entre campos.
2. **Observación (Monitoreo):** Realizar un seguimiento continuo de los cultivos para detectar la presencia y densidad de malezas. Esta es la base para la toma de decisiones informada y se apoya en tecnologías como drones y sensores.
3. **Aplicación:** Intervenir cuando la densidad de malezas alcanza niveles de daño preestablecidos, priorizando métodos de menor impacto ambiental.

Dentro de un plan MIM, se priorizan métodos alternativos al control químico. El control biológico es una alternativa natural que utiliza

organismos vivos (depredadores, parásitos, patógenos) o compuestos de origen natural para controlar las poblaciones de plagas, malezas y enfermedades. Existen tres estrategias principales de control biológico:

- Control biológico clásico (importación): Introduce un enemigo natural exótico para controlar una plaga o maleza invasora a largo plazo.
- Control biológico aumentativo: Aumenta la población de enemigos naturales mediante liberaciones periódicas para un impacto más inmediato.
- Control biológico por conservación: Preserva y mejora las poblaciones de enemigos naturales que ya existen en el ecosistema.

Otras tácticas culturales incluyen la rotación de cultivos para evitar que las malezas se adapten, el uso de cultivos de cobertura que suprimen el crecimiento de malezas, y el ajuste de las fechas de siembra para dar al cultivo una ventaja competitiva.

1.1.1 La Revolución de los Datos: Monitoreo, Modelado y DSS

La gestión eficiente de la información es un pilar de la agricultura digital. El proceso se inicia con la captura de datos mediante sensores en campo, drones y satélites, que monitorean en tiempo real variables agronómicas como la humedad del suelo, la temperatura y la presencia de malezas.

- Drones y Sensores Remotos: El uso de drones equipados con cámaras de alta resolución (RGB, térmicas y multiespectrales) es

una herramienta innovadora. Permiten una detección temprana de focos de malezas, incluso antes de que sean visibles, y facilitan la creación de mapas de vigor que ayudan a la toma de decisiones.

- Inteligencia Artificial (IA) y Visión Artificial: El aprendizaje profundo, especialmente las Redes Neuronales Convolucionales (CNN), ha demostrado un gran potencial para discriminar entre cultivos y malas hierbas con alta precisión. Estos algoritmos analizan las imágenes captadas por los drones para identificar las malezas y generar mapas de aplicación localizada.

Esta información es procesada por un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS), una arquitectura informática que recopila, organiza e interpreta grandes cantidades de datos. El objetivo de un DSS no es imponer una decisión, sino proporcionar pronósticos y escenarios para que el agricultor elija la intervención más adecuada. Un DSS integra:

- Datos meteorológicos de estaciones o sensores.
- Modelos de predicción que simulan el riesgo o la dinámica de las malezas.
- Datos de monitoreo de campo georreferenciados.

1.2 Algoritmos de optimización para la toma de decisiones

La optimización busca responder a dos preguntas clave: dónde y cuándo aplicar un tratamiento, y qué producto utilizar.

1.2.1 Umbral económico: Dónde y cuándo aplicar

El objetivo del control no es la erradicación total, ya que el costo de eliminar hasta la última planta suele exceder el beneficio. El nivel óptimo es aquel que proporciona la mayor ganancia. El **umbral económico** es la densidad mínima de malezas en la cual el costo del control es igual al valor del rendimiento que se recupera, haciendo económicamente justificable la intervención.

El flujo de trabajo en la agricultura de precisión es el siguiente:

1. Un dron con una cámara multiespectral y georreferenciación RTK sobrevuela el campo.
2. Las imágenes se procesan en software como **Pix4D** o **QGIS** para generar un mapa con un índice de vegetación como el NDVI.
3. Cada planta emite una firma NDVI específica, lo que permite diferenciar las malezas del cultivo.
4. Mediante una "calculadora raster", el mapa NDVI se clasifica para generar polígonos que corresponden a las áreas con malezas que superan el umbral económico.
5. Estos polígonos se exportan como un archivo .shp (mapa de prescripción) y se cargan en el monitor del pulverizador (ej. John Deere Greenstar).
6. El pulverizador, equipado con control de boquillas por sección, aplica el herbicida únicamente en las zonas delimitadas por el mapa, optimizando el uso de químicos.

1.2.2 Cociente de Impacto Ambiental (EIQ): Qué aplicar

Cuando la aplicación de un herbicida es necesaria, la elección del producto es una decisión crítica. El Cociente de Impacto Ambiental (EIQ), desarrollado por la Universidad de Cornell, es una herramienta que ayuda a evaluar los impactos de los plaguicidas en los trabajadores agrícolas, los consumidores y el medio ambiente. Su objetivo es facilitar la selección de productos de menor impacto.

El modelo calcula dos valores:

- **EIQ Teórico:** Un valor único para cada ingrediente activo, que promedia su impacto en los tres componentes (trabajador, consumidor, ambiente). Cada componente se calcula a partir de variables como la toxicidad dérmica, la vida media en la planta, el potencial de lixiviación o los efectos sobre abejas y peces.
- **EIQ de Campo:** Proyecta el impacto real de la aplicación en la finca. Se calcula multiplicando el EIQ teórico por el porcentaje de ingrediente activo (% IA), la dosis de aplicación y la frecuencia anual.
$$\text{EIQ de Campo} = \text{EIQ teórico} * \% \text{ IA} * \text{Dosis} * \text{Frecuencia}$$

Este cálculo permite a los agricultores comparar diferentes programas de tratamiento y establecer metas de reducción de la carga química.

1.3 Simulación y aplicación práctica con código en R

A continuación, se presentan dos entornos simulados utilizando el lenguaje de programación R.

1.3.1 Simulación 1: Optimización de herbicidas en banano usando EIQ

Este ejemplo simula la decisión de un productor bananero en la provincia de Los Ríos, Ecuador, que necesita elegir entre tres herbicidas para el control de arvenses, basándose en su impacto ambiental. Los datos están adaptados del ejemplo de fungicidas de la fuente.

```
# Cargar librerías necesarias

# install.packages("ggplot2")

# install.packages("dplyr")

library(ggplot2)

library(dplyr)

# --- Base de datos simulada de herbicidas (adaptada de la fuente [59, 60]) ---

herbicidas <- data.frame(  ingrediente_activo = c("Herbicida A (Análogo a
Clorotalonil)", "Herbicida B (Análogo a Mancozeb)", "Herbicida C (Análogo a
Difenoconazol)"),

  eiq_teorico = c(37.42, 25.72, 18.50),

  porcentaje_ia = c(0.72, 0.75, 0.25),

  dosis_l_ha = c(1.5, 1.75, 0.7),

  ciclos_anuales = c(5, 8, 4)

)

# --- Cálculo del EIQ de Campo Anual por hectárea [52] ---

herbicidas <- herbicidas %>%

  mutate(eiq_campo_anual = eiq_teorico * porcentaje_ia * dosis_l_ha *
ciclos_anuales)

print(herbicidas)
```

```
# --- Visualización de resultados ---

grafico_eiq_herbicidas <- ggplot(herbicidas, aes(x = reorder(ingrediente_activo, -
eq_campo_anual), y = eq_campo_anual, fill = ingrediente_activo)) +

  geom_bar(stat = "identity", color = "black") +

  geom_text(aes(label = round(eq_campo_anual, 2)), vjust = -0.5, size = 4) +

  labs(

    title = "Impacto Ambiental Anual Simulado (EIQ de Campo) de Herbicidas",

    subtitle = "Ejemplo para control de arvenses en banano, Ecuador",

    x = "Ingrediente Activo Simulado",

    y = "Valor de EIQ de Campo / ha / año"

  ) +

  theme_minimal(base_size = 12) +

  theme(axis.text.x = element_text(angle = 15, hjust = 1)) +

  scale_fill_viridis_d() +

  guides(fill = "none")

print(grafico_eiq_herbicidas)
```

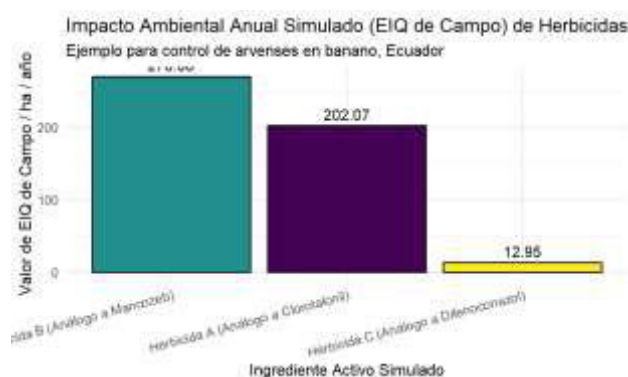


Figura 1. Eiq herbicidas.

Nota: La imagen anterior es una representación del gráfico que generaría el código R.

Análisis del gráfico:

El gráfico muestra que el Herbicida B es el que genera el mayor impacto ambiental anual por hectárea (270.06), seguido por el Herbicida A (202.07). El Herbicida C presenta el menor impacto (12.95). Aunque el EIQ teórico del Herbicida B es menor que el del A, su mayor dosis y frecuencia de aplicación resultan en un impacto total más alto. Esta herramienta permite al productor tomar una decisión informada para sustituir o reducir el uso de los productos de mayor impacto.

1.3.2 Simulación 2: Mapa de densidad de malezas y umbral económico

Este ejemplo simula un mapa de densidad de malezas en un campo de soja en Ecuador, para decidir dónde aplicar herbicida basándose en un umbral económico.

```
# Cargar librerías
library(ggplot2)
library(dplyr)
# --- Crear datos espaciales simulados de un campo ---
set.seed(42)
campo_simulado <- expand.grid(x = 1:100, y = 1:50)

# Simular "manchones" de malezas con mayor densidad
campo_simulado <- campo_simulado %>%
  mutate(
    densidad_malezas = 5 +
      20 * exp(-((x-30)^2 + (y-15)^2)/200) + # Manchón 1
      35 * exp(-((x-75)^2 + (y-40)^2)/400) + # Manchón 2
      rnorm(5000, mean=0, sd=3) # Ruido aleatorio
  ) %>%
  mutate(densidad_malezas = pmax(0, densidad_malezas)) # Asegurar que no haya
densidades negativas

# --- Definir umbral económico y clasificar zonas [45] ---
```

```

umbral_economico <- 15 # malezas / m^2
campo_simulado <- campo_simulado %>%
  mutate(aplicar_herbicida = ifelse(densidad_malezas >= umbral_economico,
    "Aplicar", "No Aplicar"))
# --- Visualización del mapa de prescripción ---
mapa_prescripcion <- ggplot(campo_simulado, aes(x = x, y = y, fill =
  aplicar_herbicida)) +
  geom_tile() + # Crea un mapa de calor o de celdas
  scale_fill_manual(values = c("Aplicar" = "firebrick", "No Aplicar" = "seagreen")) +
  labs(
    title = "Mapa de Prescripción para Aplicación Localizada de Herbicida",
    subtitle = "Basado en un umbral económico de 15 malezas/m²",
    x = "Coordenada Este (metros)",
    y = "Coordenada Norte (metros)",
    fill = "Decisión de Aplicación"
  ) +
  theme_minimal() +
  coord_fixed(ratio = 1)
print(mapa_prescripcion)

```

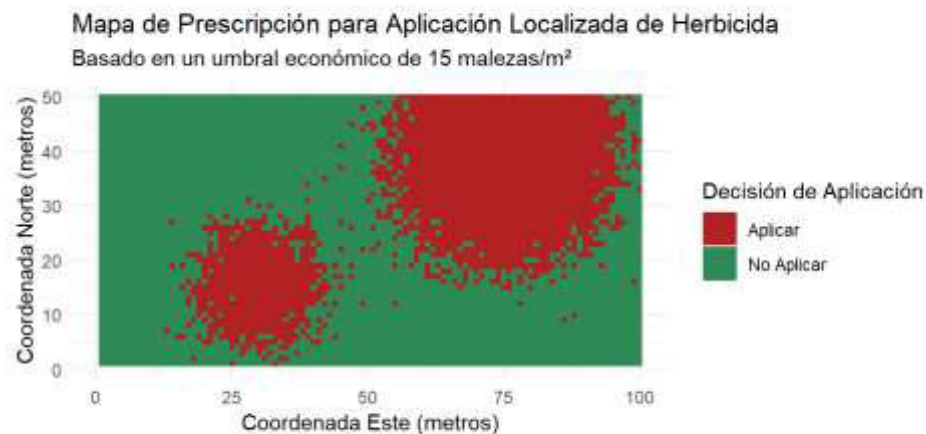


Figura 2. Mapa prescripción.

Nota: La imagen anterior es una representación del mapa que generaría el código R.

Análisis del Gráfico:

El mapa generado visualiza claramente las zonas del campo donde la densidad de malezas supera el umbral económico. Las áreas en rojo son las que recibirían la aplicación de herbicida, mientras que las áreas en verde no. Este mapa es el equivalente a un archivo .shp que se cargaría en un pulverizador de tasa variable. Esta técnica de aplicación localizada reduce drásticamente la cantidad total de herbicida utilizado, lo que disminuye costos, reduce el impacto ambiental y minimiza el riesgo de desarrollo de resistencia.

1.3.3 Caso de éxito en Ecuador: La finca lola

La Finca Lola, una unidad de producción de banano de 209 hectáreas en la provincia de Los Ríos, Ecuador, es un ejemplo real de la optimización en el manejo de plagas y malezas. Con certificaciones como Rainforest Alliance y Global GAP, la finca ha implementado diversas acciones para reducir su impacto ambiental, entre las que destacan:

- Eliminación del uso de herbicidas para el control de arvenses, optando por métodos no químicos.
- Reducción del 10% en la carga tóxica de los ingredientes activos utilizados para el control de enfermedades como la Sigatoka Negra.
- Uso de drones para aplicaciones en áreas sensibles (49.3 hectáreas), minimizando la deriva cerca de vías públicas y ecosistemas.
- Eliminación de nematicidas químicos de alto riesgo (categoría Ia y Ib de la OMS).

- Monitoreo constante de trazas de plaguicidas en puntos de agua para validar la efectividad de las medidas de mitigación.

El caso de la Finca Lola demuestra que una estrategia de optimización basada en un marco MIM, datos, tecnología y un compromiso con la sostenibilidad no solo es viable, sino también rentable y compatible con la producción a gran escala para mercados internacionales.

La optimización del combate contra plantas nocivas es fundamental para una agricultura sostenible que debe alimentar a una población creciente. El enfoque moderno trasciende la simple aplicación de herbicidas, integrando el Manejo Integrado de Malezas (MIM) como filosofía, la tecnología de monitoreo (drones, sensores) como los ojos del sistema, los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) como el cerebro analítico, y los algoritmos de optimización como el EIQ y los umbrales económicos como las herramientas para tomar decisiones racionales.

Como se ha simulado con código en R y se ha demostrado en casos reales como la Finca Lola en Ecuador, este enfoque permite a los productores reducir su dependencia de herbicidas, minimizar el impacto ambiental, proteger la biodiversidad y, al mismo tiempo, aumentar la rentabilidad. El futuro de la agricultura reside en esta sinergia entre la ecología, la economía y la tecnología, permitiendo una producción de alimentos segura, eficiente y en armonía con el medio ambiente.

CAPÍTULO II

2 ECOLOGÍA DE LAS PLANTAS NOCIVAS

Aunque las plantas nocivas son útiles para cuidar y conservar los recursos de la tierra e hidráulicos, sus efectos se marcan en mayor medida en la agricultura. No hay ningún estudio confiable acerca del costo mundial de las pérdidas debidas a las plantas nocivas, pero es evidente que tales pérdidas, sobrepasan a las que causa cualquier otro tipo de plaga del campo. En los países desarrollados de las zonas templadas, las pérdidas debidas a la disminución del rendimiento y calidad de las cosechas y al costo de combatir las plantas nocivas ascienden del 10 al 15% del valor de los productos agrícolas y forestales. Esta carga se reparte casi por igual entre los costos de las medidas para combatir las plantas nocivas y las pérdidas de rendimiento y calidad de los productos. En zonas acuáticas y tierras no agrícolas, las pérdidas debidas a plantas nocivas equivalen al 5% de las pérdidas totales debidas a ellas. Las pérdidas debidas a plantas nocivas son mayores en las regiones tropicales, y pueden llegar a ser de tal magnitud que hacen impracticables los cultivos. En regiones tropicales, la mitad o más del total del trabajo agrícola tal vez se deba aplicar a la batalla contra la vegetación invasora. Por ejemplo, estudios realizados en cinco países asiáticos indican que la eliminación adecuada de las plantas nocivas aumenta en un 45% el rendimiento del arroz. En algunos casos, la lucha contra las plantas nocivas puede triplicar el rendimiento del arroz tropical.

En este libro se destaca el hecho de que la lucha contra las plantas nocivas es parte del problema general de manejo de la vegetación, y que el mejor modo de considerarla es en términos de las relaciones ecológicas. El manejo de la vegetación consiste en favorecer la vegetación beneficiosa y suprimir la vegetación indeseable. El hombre sobrevive en gran número sólo gracias a que ha desmontado gran parte de la tierra y eliminado su vegetación natural la que ha sustituido con plantas cultivadas, en monocultivos. Ninguna especie vegetal, cultivada o de otro orden, puede explotar en forma completa los recursos de un hábitat. En las tierras de cultivo y otras superficies modificadas hay numerosos nichos ecológicos, inicialmente desocupados, que crean grandes presiones para la invasión de especies agresivas. Si se descuida, la tierra de cultivo y otros hábitats modificados vuelven, por sucesión, a constituir comunidades vegetales estables. Rara vez es posible impedir por completo este proceso, pero se le puede controlar en sus primeras fases. Aunque se intenta producir cosechas como monocultivos, en lugar de ello, se llega a constituir comunidades vegetales compuestas por plantas cultivadas y plantas nocivas. El buen cuidado de la tierra intenta conservar las condiciones del medio ambiente más favorables para los cultivos y menos favorables para las plantas nocivas; esto disminuye el número y la especie de nichos ecológicos disponibles para la invasión, y rige la composición y la densidad de la población de plantas nocivas asociadas a los distintos cultivos. Algunas plantas nocivas ocupan un microhábitat sin importancia de la tierra de cultivo, y causan poco daño. Otras entran en encarnizada competencia con las plantas cultivadas y limitan la producción en forma grave.

La capacidad de las especies de plantas nocivas para sobrevivir en medios hostiles se debe a su alto grado de especialización. Sus ciclos de vida, su morfología y su fisiología las adaptan para que medren en un hábitat abierto, en condiciones de trastornos frecuentes y drásticos. La especialización crítica de las plantas nocivas de las tierras de cultivo se encuentra entre los mecanismos que permiten la supervivencia de especies en condiciones de frecuente destrucción de sus partes aéreas. Para que las plantas nocivas sobrevivan a pesar del arado y la azada, es indispensable que haya distintas generaciones de ciclos anuales y sucesivos, retoñamiento del follaje de plantas perennes cuyo ciclo de vida sea ajustado. Las plantas nocivas anuales sobreviven gracias a complicados mecanismos de producción y diseminación de las semillas y de fases de germinación. Las perennes tenaces resisten las medidas para combatirlas debido a sus resistentes partes vegetativas subterráneas; éstas y otras muchas especializaciones permiten que las plantas nocivas invadan una gran variedad de medios ambientes precarios y que prosperen en ellos.

Debido a que constituye el reverso de la naturaleza epidémica de otras plagas, la presencia universal de plantas nocivas como componentes constantes de los medios agrícolas ha retrasado el reconocimiento de la importancia de la lucha contra las plantas nocivas en la producción agrícola. Desde los inicios de la agricultura hasta mediados del siglo XX, el arado y la azada han sido los medios que más se han empleado para combatir las plantas nocivas. El fuego, el anegamiento, la sofocación, la rotación de cultivos y los agentes químicos en forma de cenizas y sales, se han empleado en forma limitada desde hace mucho tiempo; sin embargo, los notables adelantos en el control de las plantas

nocivas se deben al reciente descubrimiento de los herbicidas químicos orgánicos, y por ello se ha reconocido la importancia de la lucha contra las mismas. La aparición de los modernos herbicidas ha estimulado la investigación de la botánica económica de las plantas nocivas y ha conducido a una más amplia aplicación de la tecnología al control de ellas.

Los métodos para combatir las plantas nocivas se clasifican en: preventivos, biológicos, de administración, físicos y químicos. Los métodos preventivos incluyen procedimientos destinados a limitar la diseminación y el establecimiento de plantas nocivas. Los métodos biológicos emplean enemigos naturales de las plantas nocivas, tales como insectos y enfermedades de las plantas. Los métodos de administración aplican una amplia variedad de labores de cultivo, apacentamiento y de competencia para disminuir las poblaciones de plantas nocivas y sus efectos en el uso de la tierra y el agua. Los métodos físicos comprenden una amplia variedad de cortes a máquina o manual, labranza, eliminación manual de las plantas, quema, sofocación y anegamiento. Los métodos químicos incluyen el uso de agentes químicos orgánicos e inorgánicos, tales como rociados del follaje, tratamientos del suelo y el agua, fumigantes, y aplicaciones al tallo, para la lucha selectiva y no selectiva contra las plantas nocivas.

Un programa se aproxima a su objetivo de erradicar una especie particular de planta nociva o una diversidad de ellas, el complejo de plantas nocivas del medio ambiente va cambiando, o bien pasan a ser prevalecientes cepas resistentes. También pueden resultar amenazadoras las especies de plantas nocivas que, de algún modo, son

resistentes a los herbicidas que se emplean y cuyos ciclos vitales se combinan con las prácticas agrícolas que se emplean. Por fortuna, cada vez se sabe más acerca del control de las plantas nocivas o constantemente se están perfeccionando tratamientos nuevos. Estas novedades sirven para mejorar los sistemas existentes de lucha contra las plantas nocivas, y sugieren cambios en los modos de proceder que han de sustituir los métodos que se vuelven ineficaces o anticuados.

El concepto de los sistemas de control se puede aplicar, sobre una base coordinada, a una sola especie de planta nociva o a un complejo de sus especies.

Se puede enfocar mediante actividades económicas determinadas, tales como el cultivo de una cosecha de algodón, la producción de forraje, o la operación de un ferrocarril, en cualquier lugar en el que las plantas nocivas amenacen los productos o cosechas del hombre, menoscaben su salud u obstaculicen sus actividades.

La lucha sistemática se puede realizar a escala nacional, regional o, incluso, en una sola explotación agrícola, por el agricultor meticulado que reconoce que sus esfuerzos en la producción resultan más provechosos cuando dispone sus actividades cuya acción conjunta ayude a controlar o erradicar las plantas nocivas. Los programas generales de control pueden abarcar un gran número de componentes.

Se funden y entremezclan continuamente los esfuerzos e influencias del personal reglamentador, investigadores, agentes del servicio de extensión, personal de la industria, administradores de servidumbre

temporal, y agricultores contiguos, en particular de los que están situados aguas arriba o del lado hacia donde sopla el viento.

Un ejemplo es el mejor modo de comprender el amplio ámbito que puede abarcar un programa que utilice el concepto de los sistemas. Suponiendo que el problema es *Sorghum halepense*, una planta nociva que se adapta a una amplia variedad de condiciones, un sistema de control exigirá todas las actividades que se enumeran a continuación:

1. Cumplimiento de las medidas reglamentarias (leyes sobre semillas, cuarentenas y leyes respecto a programas para la destrucción de plantas esta-blecidas).
2. Medidas específicas de control del establecimiento de plántulas en determinados cultivos.
3. Rotación de cultivos.
4. Formación de un distrito para el control de plantas nocivas a fin de erradicarlas en una zona dada.
5. Procedimientos específicos para la producción agrícola que hagan que las presiones competidoras o ecológicas actúen sobre la plaga.

El concepto de los sistemas ha sido bien analizado en relación a las infestaciones de plantas nocivas, como *Sorghum halepense*, que han amenazado con depreciar el valor de la tierra en grandes áreas, obstaculizar el transporte o causar graves pérdidas económicas. La presión pública obligó a que se dedicara atención a la resolución de estos problemas.

Este capítulo presenta ejemplos de cierto número de sistemas eficaces de control de plantas nocivas. En él se expone la acción que se necesita

para iniciar un sistema de control, y se exploran en breve algunas de las limitaciones de los conocimientos sobre control de plantas nocivas. Se abordan diversos métodos control que se emplean en los sistemas para combatir plantas nocivas, pero se les trata por separado y con mayor detalle en otros capítulos de este libro, que analizan: medidas preventivas (capítulo 4), métodos físicos (capítulo 5).

Una sola técnica rara vez puede constituir un sistema que se pueda utilizar para la resolución de un problema específico. Por ejemplo, se podría decir que el control biológico constituye el sistema total de control en el oeste de Estados Unidos contra *Hypericum perforatum*. Aun así, aunque tal vez esto sea cierto respecto al problema de una planta nociva determinada, en general el medio más satisfactorio de control consiste en el uso de varios métodos.

En la actualidad el hombre tiene las posibilidades de alcanzar nuevos éxitos en el control de plantas nocivas, por medio de técnicas integradas, ya sea químicas, de cultivo o de otros órdenes. El concepto de los sistemas merece una atención cada vez mayor debido al siempre creciente acervo de conocimientos acerca de las plantas nocivas y de los métodos de control, sobre todo mediante herbicidas.

2.1.1 Control ante la erradicación

La selección de un sistema de control depende de si el objetivo es contener o erradicar las plantas nocivas. Esto presupone el conocimiento del ciclo vital de la planta nociva y de factores tales como: si las semillas enterradas en el suelo tienen una viabilidad corta o larga; el mecanismo y la facilidad para la dispersión de las semillas, y el número de semillas

que produce cada planta. A menudo, la decisión respecto a los objetivos tiene que tomarse a base de información inadecuada.

La erradicación de la planta nociva exige que se destruyan plantas existentes y se destruya la viabilidad de todos sus órganos de reproducción. La lucha para contener o poner coto a una especie se logra reduciendo las plantas existentes y sus propágulos hasta el punto que su presencia ya no obstaculice el uso económico de un área de tierra. La deseabilidad y factibilidad de la erradicación depende, en gran medida, de las probabilidades de reinfestación. La expresión

"manejo de las plantas nocivas" se aplica aquí a los esfuerzos orientados ya sea a controlarlas o a erradicarlas.

La erradicación puede ser deseable y practicable cuando una infestación de plantas nocivas queda encerrada en un área limitada, o cuando la especie de planta es muy nociva. Por lo general, la erradicación no se puede lograr en una sola temporada, debido a que en el suelo pueden quedar semillas latentes. Cabe la posibilidad de exterminar infestaciones aisladas de plantas nocivas en una explotación agrícola o en una región si la distribución de la planta es por manchones.

Striga lutea es un ejemplo de infestación limitada de una plaga vegetal anual del hemisferio occidental que constituye una grave amenaza a los cultivos de gramíneas tales como maíz, sorgo, caña de azúcar y arroz. Los gastos que se hagan para su erradicación están justificados para que se impida la infestación de millones de hectáreas dedicadas a dichos cultivos. La erradicación exige que se elimine toda la producción de semilla y que se combata a todos los especímenes, no sólo en tierras de

cultivo, sino también a la vera de los caminos, tierras no cultivadas, tierras ociosas, ribazos de zanjas y cercas.

La erradicación de una planta nociva perenne, plantea dos problemas: impedir que dé semilla y la destrucción del sistema subterráneo de la planta. Las partes subterráneas de las plantas nocivas perennes pueden destruirse mediante la

labranza o con herbicidas. Si se emplea la labranza, se requieren labores periódicas de cultivo para que disminuyan las reservas alimenticias de los sistemas de almacenamiento. El empleo de herbicidas puede implicar el uso de agentes químicos foliares sistémicos tales como 2,4-D, picloram o un esterilizador del suelo.

Sin embargo, un esterilizador del suelo puede hacer que éste no pueda producir cultivo vegetal alguno durante varios años. Puede ser necesario el rociado repetido de los nuevos brotes de la parte subterránea de las plantas nocivas perennes.

Si dicha planta tiene semillas que siguen siendo viables durante largo tiempo estando en el suelo, para que se impida la reinfestación se deben aplicar tratamientos periódicos de las plántulas nuevas.

En contraste con la erradicación, es deseable un programa de contención (en realidad quizá sea la única medida practicable) cuando las plantas nocivas están profusamente esparcidas, y es difícil o económicamente imposible erradicarlas.

Un programa de contención no exige la erradicación de las semillas; la única tierra que se rocía puede ser aquella en la que se produce una

cosecha durante una temporada cualquiera. Algunas plantas nocivas escapan a las labores de escarda o al control químico, y siguen produciendo semillas que perpetúan la especie. La contención de las plantas nocivas exige tratamientos en menor número y menos costosos que la erradicación.

Los principios válidos para combatir plantas nocivas anuales son también válidos para las bianuales. La producción de semillas de las bianuales se puede impedir mediante labranza o por aplicación de herbicidas durante el primer año o a comienzos de la primavera del segundo año, antes de que comiencen a producir semillas.

2.1.2 Influencias regionales y el concepto de los sistemas

Los sistemas de control de plantas nocivas tienden a ser los mismos en toda el área de cada zona o región geográfica determinada, debido a la similitud de condiciones climatológicas, prácticas de cultivo, población de plantas nocivas y otros factores. La legislación que regula tal control también puede ser regional.

2.1.3 Clima y sistemas de cultivo

Dos variantes de un sistema tradicional de control practicada en Estados Unidos son: la llamada "rotación de *Sorghum halepense*", en los estados del cinturón del algodón, y la "rotación de *Agropyron repens*" en la región de los Grandes Lagos y al norte de las Grandes Llanuras.

El método de rotación que se emplea en campos densamente infestados para la producción provechosa de cultivos en surco o hilera consistió, al principio en cortar *Sorghum halepense* o *Agropyron repens* para heno,

en un año, seguido de otro de apacentamiento intensivo por el ganado, con el fin de debilitar las raíces de la hierba. A fines de otoño, después del año de apacentamiento, se araba la tierra, se le dejaba sin cultivo, y expuesta al frío tiempo de invierno. Llegada la primavera, los rizomas de la hierba quedaban de nuevo expuestos a la acción de las labores de cultivo. Cultivos en surco o hilera tal como algodón, maíz y caña de azúcar, en el sur; y maíz, remolacha azucarera y frijol, en el norte, se cultivaban a continuación por espacio de dos o tres años hasta que la reaparición de las plantas nocivas hacía que, de nuevo, la producción del cultivo no resultara provechosa. Entonces se repetía el procedimiento de rotación.

En años recientes, el descubrimiento de herbicidas selectivos y más poderosos, y el mejoramiento de los aperos de labranza, algunas veces han eliminado la necesidad de que en el procedimiento de rotación se incluyera un año de heno herboso y un año de apacentamiento. A menudo la casi erradicación de las densas poblaciones de *Agropyron repens* o de *Sorghum halepense* se logra con rociados de dalapón aplicados a fines de otoño, arando la tierra dos o tres semanas más tarde, y con cultivo intenso en la primavera siguiente. Las poblaciones ralas de *Sorghum halepense* en algodones también se puede erradicar, o se puede impedir que su densidad aumente, mediante rociados locales con da-lapón durante la temporada de crecimiento.

En Estados Unidos han aparecido otros dos sistemas regionales de control de las plantas nocivas, debido a un problema ocasionado por una planta y a prácticas de cultivo similares. Estos sistemas se aplican para combatir *Convolvulus arvensis*, tanto al norte como al sur de las

Grandes Llanuras, y para combatir *Cirsium arvense* al norte de las Grandes Llanuras y en los Estados entre las montañas.

El sistema para combatir *Convolvulus arvensis* se inicia en general con intensas labores de escarda durante varios meses, y estableciendo luego cultivos competidores de trigo de invierno o sorgo sembrado muy denso. El rociado selectivo con 2, 4-D se aplica a los cultivos después de la escarda, o bien se puede aplicar 2, 4-D unas pocas semanas antes de sembrar el trigo o el sorgo.

Cirsium arvense se combate empleando un método similar al que se usa para *Convolvulus arvensis*. La alfalfa, como cultivo para heno, compete de modo con el *Cirsium arvense*. Por lo común se utilizan cultivos de trigo de primavera, maíz, gramíneas para heno, junto con la aplicación de herbicidas selectivos después de una intensa labor de escarda.

El sistema que se emplea con *Cirsium arvense* y *Convolvulus arvensis* exige también que se combata a las malas hierbas de las cercas, a lo largo de las orillas de zanjas y acequias, y en otras áreas no cultivadas, mediante la aplicación de rociados foliares o de herbicidas esterilizadores del suelo que eliminan estas fuentes de reinfestación de las tierras cultivadas.

2.2 La Balanza incierta: Influencias legislativas en el uso de pesticidas en Ecuador

Muchas naciones del mundo tienen en vigor leyes y reglamentos que ayudan a resolver problemas de plantas nocivas. A menudo, esta legislación influye en la elección de un sistema de control y puede

conducirse a un cumplimiento mejorado de dicho control en un país o región. Sin embargo, si la legislación se deja de ajustar a las circunstancias cambiantes o a los adelantos tecnológicos, es posible que en realidad obstaculice las prácticas eficaces de control.

En los campos ecuatorianos, la lucha por la productividad agrícola se libra a menudo con la ayuda de pesticidas, herramientas potentes que prometen cosechas abundantes pero que también entrañan riesgos significativos para la salud humana y el equilibrio ambiental. En este escenario, la legislación ecuatoriana ha intentado trazar un camino de equilibrio, buscando maximizar los beneficios de estos insumos mientras se mitigan sus efectos adversos. A través de una combinación de normativas nacionales, la influencia de acuerdos supranacionales y la labor de entidades de control, se ha tejido un marco regulatorio complejo cuyo impacto real en el campo es un mosaico de avances y desafíos persistentes.

2.2.1 El Marco Regulatorio Nacional: Intenciones y realidades

La columna vertebral de la regulación de pesticidas en Ecuador se sustenta en dos pilares legislativos principales: la Ley de Comercialización y Empleo de Plaguicidas y la más reciente Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria. La primera establece las directrices para el registro, comercialización, etiquetado y uso de plaguicidas, introduciendo un sistema de clasificación toxicológica que busca informar sobre los riesgos asociados a cada producto. Por su parte, la Ley Orgánica de Sanidad Agropecuaria refuerza este marco, otorgando a la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario

(AGROCALIDAD) el rol protagónico en la vigilancia y el control de estos insumos.

La intención de estas leyes es clara: asegurar que solo productos evaluados y registrados circulen en el mercado, y que su aplicación se realice de manera segura. Sin embargo, la realidad en el campo a menudo dista de los preceptos legales. Estudios realizados en diversas zonas agrícolas del país revelan una brecha significativa entre la normativa y las prácticas de los agricultores. El desconocimiento sobre la correcta dosificación, la escasa o nula utilización de equipos de protección personal y la inadecuada disposición de envases vacíos son problemas recurrentes. Esta situación se ve agravada por la falta de capacitación continua y asistencia técnica accesible para los pequeños y medianos productores, quienes constituyen la mayoría del sector agrícola ecuatoriano.

2.2.2 La influencia supranacional: Armonización y estándares regionales

La legislación ecuatoriana en materia de pesticidas no puede entenderse de manera aislada. Como miembro de la Comunidad Andina (CAN), Ecuador ha incorporado en su marco normativo decisiones de alcance regional que buscan armonizar los requisitos para el registro y control de plaguicidas. La Decisión 804 y su correspondiente Manual Técnico Andino para el Registro y Control de Plaguicidas Químicos de Uso Agrícola son ejemplos clave de esta influencia.

Estos instrumentos supranacionales han elevado los estándares para la evaluación de nuevos productos, exigiendo estudios toxicológicos y

ecotoxicológicos más rigurosos. Esto ha tenido un impacto tangible en el tipo de pesticidas que ingresan al mercado ecuatoriano, promoviendo, al menos en teoría, la disponibilidad de alternativas menos peligrosas. No obstante, la implementación efectiva de estos estándares a nivel nacional sigue siendo un desafío, dependiendo en gran medida de la capacidad técnica y operativa de AGROCALIDAD para verificar la información presentada por las empresas importadoras y fabricantes.

2.2.3 AGROCALIDAD: El guardián de la normativa

AGROCALIDAD se erige como la entidad fundamental en la aplicación de la legislación sobre pesticidas. Sus responsabilidades abarcan desde el registro de productos y la autorización de su importación hasta la vigilancia de su comercialización y el monitoreo de residuos en productos agrícolas. La agencia ha llevado a cabo operativos de control que han resultado en el decomiso de productos no registrados o adulterados, y ha implementado programas de monitoreo para evaluar la presencia de residuos de pesticidas en alimentos de consumo interno y de exportación.

A pesar de estos esfuerzos, la magnitud de la tarea y las limitaciones de recursos dificultan una fiscalización exhaustiva en todo el territorio nacional. La comercialización de pesticidas en establecimientos no autorizados y el contrabando de productos desde países vecinos son problemas que persisten, poniendo en riesgo la salud de los agricultores y los consumidores. Además, si bien se han reportado avances en la certificación de "Buenas Prácticas Agrícolas", su adopción a gran escala todavía es incipiente.

2.2.4 Impactos en la salud y el ambiente: La deuda pendiente de la legislación

A pesar del andamiaje legal existente, los impactos negativos del uso de pesticidas en la salud y el ambiente continúan siendo una preocupación apremiante en Ecuador. Estadísticas del Ministerio de Salud Pública registran anualmente cientos de casos de intoxicaciones agudas por pesticidas, siendo los trabajadores agrícolas la población más vulnerable. A esto se suman los riesgos a largo plazo asociados a la exposición crónica a estos químicos, que incluyen diversas enfermedades.

Desde una perspectiva ambiental, el uso inadecuado de pesticidas ha contribuido a la contaminación de fuentes de agua y suelos, afectando la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas. La legislación, si bien contempla la protección del ambiente, a menudo carece de mecanismos de aplicación y monitoreo lo suficientemente robustos para prevenir y remediar estos daños de manera efectiva.

2.2.5 Hacia una gestión integral y participativa

La legislación sobre el uso de pesticidas en Ecuador refleja una clara intención de proteger la salud humana y el ambiente, influenciada por estándares internacionales y un marco constitucional que prioriza el "Buen Vivir". Sin embargo, la efectividad de este marco regulatorio se ve mermada por una brecha persistente entre la ley y la práctica. Para superar estos desafíos, es imperativo ir más allá de la simple promulgación de normas. Se requiere una estrategia integral que fortalezca la capacidad de fiscalización de AGROCALIDAD, promueva

programas de capacitación y asistencia técnica adaptados a las necesidades de los agricultores, y fomenta la investigación y adopción de alternativas al control químico de plagas, como el manejo integrado y la agricultura agroecológica. Solo a través de un esfuerzo conjunto y sostenido entre el Estado, el sector productivo y la sociedad civil se podrá inclinar la balanza hacia un uso de pesticidas que sea verdaderamente seguro, sostenible y compatible con la salud y el bienestar de todos los ecuatorianos.

2.3 Identificación del concepto de los sistemas con los problemas causados por plantas nocivas

Los programas de rotación para erradicar *Sorghum halepense*, *Agropyronrepens*, *Convolvulus arvensis* y *Cirsium arvense* son ejemplos de sistemas de control de plantas nocivas que están identificados no sólo con un problema específico de plantas nocivas, sino también con zonas geográficas. Un ejemplo de un sistema de control que, en gran medida, no está influido por zona geográfica alguna, es el sistema para controlar *Cuscuta* spp. en los campos de leguminosas de semilla pequeña, tales como alfalfa, tréboles y lespedeza, puesto que es aplicable en todos los lugares donde se cultivan leguminosas de semilla pequeña, en especial para la producción de semillas.

El sistema de cuidados incluye: 1) empleo de semilla de cultivo sin semilla mezclada de *Cuscuta* spp; 2) rotación de cultivos resistentes a *Cuscuta* spp con el fin de eliminar o disminuir las semillas de *Cuscuta* presentes en el suelo; 3) cuarentena impuesta a los campos infestados con *Cuscuta* spp para impedir su diseminación a otros campos por medio

de la semilla de *Cuscuta* spp presente en semillas para cultivo, el heno, el suelo o los aperos de labranza y en el estiércol del ganado en apacentamiento; 4) tratamiento localizado de pequeños manchones de *Cuscuta* spp quemándolos o rociándolos con un herbicida; 5) rociado con herbicidas selectivos de toda la extensión de los campos densamente infestados, o quema del rastrojo después del primer cultivo para heno; 6) labores de escarda superficial a comienzos de primavera, o entre cultivos, para heno, con el fin de destruir las plántulas de *Cuscuta* spp; 7) inspección de las singas de alfalfa recolectada para heno, con el fin de impedir la presencia, o disminuir la cantidad, de semilla madura de *Cuscuta* spp; y 8) retrasar el riego después de la siega de la alfalfa del primer cultivo, para impedir la germinación de la semilla de *Cuscuta* spp, hasta que sea demasiado tarde para que madure la semilla de *Cuscuta* spp, presente entre las semillas de alfalfa para la segunda cosecha.

En todos los lugares en los que las plantas nocivas acuáticas o de las riberas crean problemas a lo largo de canales de riego y de drenaje se emplea un sistema de control que es aplicable a todas las zonas geográficas. En forma ideal, el sistema incluye planear y construir canales y acequias que favorezcan el control de plantas nocivas, proveyéndolas de: pendiente adecuada para una corriente uniforme de agua y un drenaje total ; ribazos con pendiente uniforme para que faciliten las medidas de control; un mínimo de estructuras que pudieran entorpecer las operaciones mecánicas o de rociado; caminos que faciliten el uso de equipo a lo largo del canal; cercas a lo largo de los pasos del canal, que permitan el apacentamiento; guardas o puertas para que el ganado vacuno no cruce las cercas; y puentes sobre canales y

zanjas transversales que permitan el tránsito de vehículos y el pastoreo de ganado sin cuidadores.

2.3.1 Las medidas de control de plantas nocivas en los canales incluyen

1) La siembra de los ribazos de los canales y acequias con gramíneas de crecimiento bajo, para que compitan con las plantas nocivas de los ribazos; 2) apacentamiento de ganado en las zonas de los ribazos de canales y acequias; 3) corte o quema de las plantas nocivas con quemadores de petróleo o de gas LP; 4)

rociado con herbicidas de plantas nocivas que brotan o flotan en el ribazo del canal, y tratar el agua para combatir las plantas nocivas sumergidas; y 5) aplicación de herbicidas esterilizadores del suelo en los lugares en que la erosión del ribazo o del lecho del canal no constituye un problema grave.

a) Usos eficaces del concepto de los sistemas

Cada uno de los medios ambientes terrestres o acuáticos, en los que también entra el hombre, presenta un diferente complejo de plantas nocivas que dificulta todo uso posible del medio ambiente. Para cada complejo de plantas nocivas y para cada uno de los usos posibles de medios ambientes diferentes se pueden establecer varios sistemas de control. Los sistemas de control de plantas nocivas son factibles para: arrozales anegados, campos de fútbol, pasos para servicios públicos, estanques agrícolas, aguas navegables, parques urbanos, tierras destinadas a cereales sembrados en primavera, campos de caña de

azúcar, tierras de apacentamiento, bosques, pastizales, huertas, y canchas de tenis. Los sistemas de control se pueden formular en función de problemas de plantas nocivas específicas, tales como: *Ambrosia* spp, *Xanthium* spp, *Cyperus* spp, *Rhus radicans*, *Halogaton glomeratus*, *Digitaria* spp, *Abutilon theophrasti*, *Setarias* spp, y *Agro-pyron repens*. Cuando más pronto comience el hombre a atacar estos problemas sobre una base continua de cuidados, tanto más éxito tendrá en la conquista de su medio ambiente.

En la actualidad, el concepto de los sistemas constituye un ideal de control de plantas nocivas. Pocos programas se han coordinado en forma tan completa para atacar los problemas de plantas nocivas como para que merezcan que se les considere como tales. Los programas que se exponen a continuación son ejemplos de procedimientos esquematizados para atacar problemas especiales de plantas nocivas, que son los que mejor ilustran los beneficios que se pueden lograr mediante la acción sistemática.

2.4 *Striga lutea*

El programa de erradicación de *Striga lutea* es un ejemplo clásico de un enfoque sistemático para el control de plantas nocivas, y constituye uno de los esfuerzos mejor organizados en Estados Unidos para erradicar una planta nociva.

Cuando en 1956 se descubrió *Striga lutea* en Carolina del Norte y del Sur era la primera vez que se encontraba el género parásito *Striga* en el hemisferio occidental. *S. lutea* ataca: maíz, sorgo, caña de azúcar, arroz, trigo, avena, cebada y muchas otras especies de gramíneas. Una sola

planta de *S. lutea* puede producir hasta medio millón de semillas, casi microscópicas, que pueden permanecer en el suelo durante 20 años siendo viables. En general, para su germinación necesita de un estimulante segregado por las raíces de la planta huésped o de otras plantas. Después de la germinación, la raíz de la planta tiene que entrar en contacto y penetrar las raíces de la planta huésped, de las que se sustentadurante unos treinta días antes de que brote del suelo. Después del brote, *S.*

lutea produce su propio alimento, pero sigue dependiendo de la planta huésped en lo referente al agua y los minerales. Las flores aparecen tres o cuatro semanas después del brote, y las vainas de semilla maduran y estallan tres semanas más tarde, logrando con su explosión dispersar parte de la semilla. En los estados de Carolina del Norte y del Sur, la germinación comienza a principios de mayo. La germinación y el parasitismo siguen durante toda la temporada, mientras haya

2.5 Plantas huésped

Después de que se descubrió *Striga lutea*, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos determinó el grado de la infestación y evaluó la amenaza que representaba para la agricultura. Por primera vez en la historia del control de plantas nocivas en Estados Unidos, se impusieron cuarentenas federales y estatales sobre una amplia base nacional, con el fin de disminuir la diseminación de una planta nociva, y el Congreso asignó fondos para erradicar la plaga. También las leyes estatales de Carolina del Norte y del Sur la señalaron como planta nociva.

La contención de una plaga tal como *S. lutea* tiene tanta importancia como su erradicación. Las cuarentenas paralelas, estatales y Federales, ha regulado el transporte interestatal e intraestatal de cualquier artículo o mercancía básica que pueda propagar *S. lutea*. Los artículos que puedan albergar la plaga sólo se pueden sacar de una región con la debida autorización, y después de haberlos fumigado o tratado siguiendo métodos aprobados. La cuarentena tiene, de hecho, gran valor para impedir la diseminación de *S. lutea* desde las zonas infestadas.

En la zona primaria de infestación se construyó, para cooperación federal-estatal, un laboratorio para estudiar *S. lutea*, y se le asignaron cuatro científicos para que investigaran métodos de erradicación. Los principales proyectos, todavía en marcha, se ocupan de: identificación del estimulante natural de la germinación; métodos químicos y de cultivo de control; fumigación desde el aire y en el suelo de los cultivos, productos agrícolas y aperos de labranza; y métodos para eliminar la semilla de *S. lutea* de los productos y el equipo agrícolas.

La producción de semillas se evita mediante el tratamiento del follaje de *S. lutea* con 2, 4-D, antes de que la semilla se haya formado. Se necesitan de dos a cuatro aplicaciones por temporada. Esta técnica se ha convertido en norma en el programa de erradicación, y ha demostrado ser muy útil durante la producción de maíz y en áreas no cultivadas accesibles al rociado. El gobierno ha contratado servicios de rociado con 2, 4-D, sobre una base reiterativa y bien difundida. Los agricultores han colaborado sembrando la tierra infestada con plantas que toleran el 2, 4-D, y permitiendo el rociado de estas tierras. En las zonas infestadas, el rendimiento del maíz rara vez resulta afectado por *S. lutea* después de

tres años consecutivos de empleo del 2, 4-D; sin embargo, en el suelo queda semilla suficiente de la planta para que ésta reinfeste con rapidez los campos si se abandonan las prácticas para combatirla.

Aunque *Striga lutea* no ataca, como parásito, cultivos tales como: algodón, soya, maní y camote, crece a expensas de plantas nocivas que infestan dichos cultivos. Puesto que no hay herbicidas disponibles para combatir directamente.

CAPÍTULO III

3 CONCEPTO DE LOS SISTEMAS PARA EL MANEJO DE PLANTAS NOCIVAS

Es posible iniciar programas comunales organizados, incluso a nivel de condado o de distrito, valiéndose de cierta diversidad de medios. A continuación, se exponen en forma breve algunos de estos cursos de acción.

El financiamiento de un programa se puede realizar por medio de un convenio de compartir los costos con el gobierno estatal y el gobierno federal. El programa de Conservación Agrícola de Estados Unidos, destinado principalmente a la conservación del suelo, proporciona ayuda federal de hasta el 50% del costo cuando se trata de controlar especies perennes de plantas nocivas, si la técnica de control la constituyen prácticas aprobadas de un programa de erradicación coordinado por las autoridades del condado.

Las leyes y los convenios de cooperación y disposiciones a nivel estatal, de condado y de distrito pueden ser medios efectivos para que se cumpla con un programa sistemático. Por ejemplo, en California, el director de Agricultura del Estado puede celebrar contratos con individuos, asociaciones y juntas de supervisores, así como con departamentos, divisiones, oficinas y juntas o comisiones de los gobiernos estatal o federal para erradicar o controlar plagas. En estos convenios cooperativos, los costos han de ser compartidos por el Estado, el condado y el dueño de la tierra.

A menudo se logra establecer programas de control, coordinados bajo una política del condado. Estas políticas deben recibir el respaldo del agricultor y contar con la participación del mismo antes de que las apruebe el cuerpo que rige el condado. Las políticas de condado para el control de plantas nocivas definen cuáles son los problemas que causan las plantas nocivas de la zona, y autorizan los medios de control.

Una medida extrema de control es la cuarentena, que hace que sea ilegal todo cambio de lugar de materiales contaminados con semillas o propágulos de una planta nociva específica. Si se ha de obligar a su cumplimiento, las cuarentenas exigen un personal numeroso, y las leyes de este tipo se deben promulgar sólo si se cuenta con medios para hacerlas cumplir. De hecho, las cuarentenas son desagradables para muchos agricultores, a causa de los inconvenientes que crean.

Las leyes de destrucción también son medidas extremas y, por lo común sólo se aprueban durante urgencias o sólo cuando se han agotado todos los medios voluntarios para lograr la erradicación. La destrucción dispone la erradicación de una planta nociva en una zona dada y, por lo general, establece un tiempo límite para un grado fijo de progreso que se debe alcanzar. Puesto que el cumplimiento de un programa de este orden es forzoso, las leyes de destrucción se deben aplicar juiciosamente. Sólo resultan eficaces si un amplio sector de la población está de acuerdo con los objetivos del programa.

La clave para la aplicación con éxito de cualquier sistema de control consiste en contar con una dirección agrícola adecuada, tanto profesional como especializada. Los nuevos sistemas también se pueden

beneficiar mucho con el estudio de programas que han estado en vigor durante un largo periodo.

Cabe abrigar la esperanza de que, finalmente, todos los estados y regiones reconocerán la necesidad de un programa formal para la clasificación de las plagas de plantas nocivas, de modo que las constituyen una amenaza sean reconocidas a tiempo. Si se les mantiene vigentes, estos programas ayudarán a que se definan los pasos específicos que pueden ser apropiados para aplicar sistemas de control de plantas nocivas.

CAPÍTULO IV

4 CONTROL PREVENTIVO DE PLANTAS NOCIVAS

El control preventivo abarca todas las medidas para impedir la introducción y diseminación de plantas nocivas. Aunque las medidas preventivas disminuirán las infestaciones, no cabe esperar que ningún programa de control logre la erradicación de las numerosas especies de plantas nocivas que se encuentran en cualquier área determinada de tierra. La eficacia de todo programa preventivo varía según la especie de la planta nociva y del esfuerzo que se dedique a combatirla. Por ejemplo, no es probable que las medidas preventivas puestas en prácticas por separado por distintos agricultores controlen plantas nocivas como *Cirsium arvense* o *Kochra scorpia*, que tienen partes reproductoras que el viento disemina con facilidad. Estas plantas requieren un programa muy coordinado que abarque toda la extensión de la infestación. Aun así, las prácticas eficaces de control restringirán las poblaciones de plantas nocivas.

En general, para su diseminación, las plantas nocivas dependen de fuerzas exteriores. La polifeca capacidad reproductora, las características especiales de diseminación, la latencia y la viabilidad plantean algunos de los problemas más complejos en el control de plantas nocivas e imposibilitan la erradicación de la mayoría de las especies. Como cuestión de principio, las medidas de control preventivo se deberán adoptar en todos los lugares en que sean prácticas. Deberá dedicarse gran atención a las medidas preventivas que pueden dar los resultados más favorables en relación con el esfuerzo aplicado.

Los métodos que utilizan los agricultores experimentados de esta región con el fin de minimizar el problema, constituyen un ejemplo excelente de las medidas de saneamiento contra las plantas nocivas.

Los hábitos de crecimiento de *A. cylindrica* son parecidos a los del trigo de invierno. Esta planta nociva anual de invierno brota durante la época en que se siembra el trigo de invierno, alcanza cierto crecimiento en otoño, permanece semilante en invierno, y reanuda sus actividades de crecimiento al empezar la primavera.

La planta florece, produce semillas y madura al mismo tiempo que el trigo de invierno o un poco más temprano que el mismo. Las semillas se pueden esparcir por sacudimiento, o diseminarse como contaminantes incluidos en el cereal recolectado, o por medio de los aperos de recolección. El mejor método de controlarlas es mediante medidas preventivas. En primer lugar, los agricultores evitan sembrar semilla de trigo de invierno contaminada con la de *A. cylindrica*.

Si es necesario utilizar semilla procedente de campos infestados, se aplican cuidadosos procedimientos de limpieza de la misma. Por lo general, las limpiadoras de tamiz y corriente de aire no eliminan todas las semillas de *A. cylindrica* presentes en el trigo, pero molinos por gravedad accionados en forma de adecuada realizan la tarea. También se tiene cuidado en limpiar los aperos agrícolas antes de llevarlos de campos infestados a campos sin infestación. Los aperos de labranza se limpian con facilidad, pero resulta difícil la extracción de todas las semillas de esa planta nociva que se pueden encontrar en el equipo recolector. En las áreas infestadas, los agricultores planean rotaciones

de cultivos que incluyen una planta anual de verano, como el sorgo. *A. cylindrica* se destruye mediante la labranza de otoño o primavera antes de la siembra del sorgo. Por último, por rutina se presta atención a *A. cylindrica* que crece a la vera de los caminos, las cercas y en campos abandonados o áreas abandonadas. En tales lugares, las aplicaciones de herbicidas y la labranza realizada a su debido tiempo disminuyen o impiden la producción de semillas.

4.1 Prácticas agrícolas

La eficacia de la prevención de las invasiones de plantas nocivas requiere que se conozca la naturaleza del problema. Es necesario reconocer la planta nociva y sus semillas, así como sus otros órganos reproductores. La capacidad para identificar las plántulas es importante ya que los métodos de control son más eficaces cuando las plantas nocivas se encuentran en sus primeras fases de crecimiento. El agricultor deberá conocer bien el ciclo vital de la planta; debe poder determinar si la planta nociva coexiste con su cultivo, para que permitan el tratamiento selectivo.

También se debe cerciorar de las posibles fuentes de infestación. Las prácticas agrícolas pueden contribuir a crear problemas de plantas nocivas, y el agricultor necesita saber cuáles son las especies que se pueden diseminar por conducto de las semillas de los cultivos.

Acompañe una infestación de plantas nocivas anuales. En el transcurso de los últimos quince años, el uso de 2,4-D ha centrado la atención en las infestaciones de plantas nocivas anuales de tipo gramínea, sobre todo de *Setaria lutescens*, *S. viridis* y *S. faberii*. El creciente uso de

herbicidas antes del brote indica que el control de estas plantas puede ser cada vez más fácil, más barato y efectivo.

Un reciente estudio de 100 maizales de Iowa mostro que solo 10 de ellos tenían infestación apreciable de plantas nocivas anuales de hoja ancha. Los demás campos tenían diferentes infestaciones de *Setaria lutescens*, *S. viridis* y *S. faberii*; 10 de estos campos estaban casi libres de plantas nocivas. Un extenso estudio hecho en Iowa de los efectos competidores de *Setaria lutescens* en el maíz, así como los resultados de otros estudios similares con *Setaria faberii*, hechos en Illinois, constituyen la base para la exposición que sigue de los efectos que tiene la competencia de *Setaria* spp, el maíz.

Las variables que se estudiaron fueron: diversas poblaciones de plantas de maíz, diferentes tratamientos con fertilizantes nitrogenados, e infestaciones de plantas nocivas más marcadas o más densas que lo normal. La sombra es un efecto en un solo sentido en las asociaciones de maíz y *Setaria* spp, puesto que *Setaria* no llega a crecer hasta alcanzar una altura suficiente para que haga sombra al maíz. Los efectos de la sombra que el maíz tiene sobre *Setaria* determinan, en parte, el crecimiento y, por ende, el potencial competidor de las infestaciones de *Setaria* spp. En general, este efecto de la sombra se manifestó en un mayor crecimiento de la planta nociva debajo de poblaciones de plantas de maíz de poca altura.

Los efectos que tuvo la competencia de *Setaria* sobre el maíz les favoreció sobre todo la humedad del suelo y los elementos nutritivos, en particular nitrógeno. Los efectos estuvieron muy relacionados, aunque

la secuencia de la competencia y su gravedad variaron con las condiciones de la estación. Las aplicaciones de fertilizante nitrogenado disminuyeron mucho los efectos competidores de *Setaria*, en particular cuando la humedad del suelo era limitadora durante prolongados periodos de mediados de verano. En general, el riego complementario compenso la competencia de *Setaria*, si había disponibles nitrógenos y otros elementos nutritivos adecuados.

En Iowa, la distribución de la precipitación pluvial durante la temporada sigue una pauta típica de humedad adecuada de suelo, desde la primavera hasta comienzos de julio, con un periodo seco a fines de julio y agosto y lluvias a fines de agosto y septiembre. En general, la competencia por la humedad se limitó a los periodos secos del verano. Las infestaciones de *Setaria*, eliminada del maíz a fines de junio, rara vez causaron disminuciones apreciables del rendimiento, salvo cuando fue bajo el abastecimiento de nitrógeno. El grado de competencia entre *Setaria* y maíz durante los periodos secos se determinó, en gran medida, por el crecimiento tanto del cultivo como de la planta nociva antes del comienzo de la sequía. Cuando creció asociada al maíz, en realidad *Setaria* respondió de modo deficiente a fuertes aplicaciones de nitrógeno, incluso en condiciones de exceso de humedad del suelo al comenzar la temporada.

Las pautas más comunes de crecimiento de *Setaria* y de rendimiento del maíz sugieren que la disponibilidad de nitrógeno tiene una doble función en la expresión final de la competencia ejercida por *Setaria*. Su relativa disponibilidad.

Durante los tres primeros meses de la temporada produce plantas de maíz vigorosas que compiten con eficacia con *Setaria* durante los periodos secos de julio y agosto. Si los niveles de disponibilidad de nitrógeno son más bajos, disminuye el crecimiento tanto del maíz como de la planta nociva, y las plantas menos vigorosas de maíz pasan a ser competidoras menos eficaces respecto a la humedad del suelo durante los periodos secos. Los efectos que tienen los altos niveles de nitrógeno disponible al disminuir la competencia de *Setaria* por la humedad varían dentro de la población de plantas de maíz que, a su vez y debido a sus efectos sombreadores, determinan el crecimiento de las infestaciones de *Setaria*. En general, en cada temporada y en cada hábitat los efectos máximos de la competencia de *Setaria* se dan en la población determinada de plantas de maíz que produce el rendimiento máximo en la temporada. Esto sugiere que, en determinadas condiciones, se pueden despreciar los efectos de la competencia de muchas pequeñas infestaciones típicas de *Setaria*. La planta nociva no hace más que compartir con el cultivo de maíz el abundante abastecimiento de humedad y elementos nutritivos que, de todos modos, tampoco los utilizaría una población subóptima de plantas de maíz.

Los efectos de los herbicidas selectivos que modifican la capacidad de competencia de las plantas nocivas anuales en el maíz, tal vez constituyen un ejemplo capital de la eficacia de los tratamientos que el hombre aplica al hábitat para controlar las plantas nocivas. Con los herbicidas de que hoy se dispone es posible cultivar maíz en monocultivo, algunas veces sin necesidad de labranza después de la siembra. Existen herbicidas eficaces para utilizarlos en cualquiera de las tres o cuatro fases de desarrollo del maíz y de las plantas nocivas. Los

herbicidas que se aplican antes del brote permiten que el cultivo emerja libre de plantas nocivas, y esto puede hacer que sólo se necesiten una o dos labores complementarias de escarda. La aplicación de 2,4-D posterior al brote para el control de plantas nocivas de hoja ancha, y la de diversos herbicidas para gramíneas cuando la temporada está más avanzada permiten liberarse de las plantas nocivas si fallaron los métodos más tempranos.

CAPÍTULO V

5 CONTROL DE PLANTAS NOCIVAS MEDIANTE MÉTODOS FÍSICOS

Desde hace siglos se han empleado en todo el mundo procedimientos físicos para el control de plantas nocivas. Muchas prácticas agrícolas han sido impuestas por la necesidad de operaciones de labranza. El amplio espaciamiento de los cultivos en surco o hilera se rige por la necesidad de maniobrar entre las hileras de los cultivos cuando se ha de remover el suelo y eliminar las plantas nocivas. Sobre una base mundial, esto se manifiesta en mayor medida en los países en que aún se emplea la tracción animal o humana en la labranza. En estas condiciones, el espacio entre hilera o surcos no sigue una regla rígida y varía mucho, según la anchura del equipo de labranza. En las regiones donde se emplean mucho los tractores, el espacio entre surcos o hileras se define con mayor rigidez, para que las prácticas de cultivo se adapten a los aperos e instrumentos de labranza.

Aunque hay herbicidas de reciente creación que complementan los procedimientos tradicionales para controlar las plantas nocivas, los procedimientos físicos aún siguen siendo los que predominan en el control de las plantas indeseables. Incluso en las más modernas operaciones agrícolas se siguen usando esos métodos para controlar las plantas nocivas. Por lo tanto, es muy importante que se comprendan con claridad los procedimientos físicos de control, para utilizarlos con eficacia. Características de las plantas nocivas que se consideran para el control mediante métodos físicos.

5.1 Hábitos de crecimiento y longevidad

Aunque cualquier especie vegetal puede ser nociva, para que se convierta en una plaga grave debe reunir características especiales y ventajas para la competencia. Para el empleo de métodos físicos de control es necesario considerar determinadas características de entre las antes mencionadas. En general, cuanto más similares sean las necesidades ecológicas de otra planta nociva a las de una planta de cultivo, tanto más difícil es combatirla sin dañar a la planta cultivada.

Según sea anual o bianual la planta nociva, la producción y germinación de las semillas influye sobremanera en la capacidad de la planta para convertirse en un problema, tanto si se la combate por medios mecánicos o químicos. La producción de un gran número de semillas que conservan la viabilidad durante largo tiempo, y la capacidad de estas semillas para que produzcan plántulas vigorosas, aumentan la dificultad para combatir una planta. Muchas especies producen varios millares de semillas por planta, y muchas de estas semillas conservan la viabilidad durante años. La viabilidad de una semilla se puede prolongar debido a la latencia, que está regulada por diversos mecanismos fisiológicos y factores del medio ambiente como temperatura, humedad, oxígeno y luz.

Los mecanismos que diseminan semillas a gran distancia ayudan a que las mismas invadan nuevas regiones; sin embargo, no se necesitan mecanismos especiales de diseminación para que se produzca una infestación en todo un campo después que han llegado a establecerse unas pocas plantas y que las mismas han producido semillas. Una vez

establecida una planta nociva en un lugar dado, el control por medios mecánicos es afectado por otros factores.

El período de germinación es otro factor de importancia en el control físico de las plantas nocivas que se propagan por semillas. Algunas especies germinan durante un corto período de cada año, mientras que otras germinan casi en cualquier época del año. Para que sean eficaces, la determinación del momento y la duración para la aplicación de un método de control debe tener estrecha relación con el período de germinación de la planta nociva.

En el control de las plantas nocivas perennes se persiguen dos objetivos primordiales: impedir que granen, y erradicar las plantas existentes. La producción de semillas es el principal factor para la diseminación de plantas nocivas de una región geográfica a otra. Sin embargo, dentro del campo de un agricultor o dentro de un área limitada, pueden tener igual importancia el desarrollo y diseminación de partes vegetativas de la planta.

Al igual que con las semillas, se requiere considerar la latencia de partes vegetativas persistentes de plantas perennes en los métodos mecánicos de control. Por ejemplo, las cadenas de tubérculos de *Cyperus rotundus*, especialmente, presentan dominancia terminal, que hace que los tubérculos intermedios de la cadena queden latentes. La ruptura de las cadenas de tubérculos que produce la labranza induce la germinación de los tubérculos de *Cyperus rotundus* y, con ello, influye también en el grado de erradicación que se alcance en procedimientos subsiguientes. Si no se hace nada más para combatirla, la infestación se diseminará

debido al aumento de población de las distintas plantas. Si se combate precozmente a los retoños de los tubérculos, poco después que hayan brotado del suelo, el número de tubérculos disminuirá.

Los hábitos de crecimiento de las plantas perennes influyen en el tipo de procedimientos de cultivo que se emplean para el control. Por lo general, las plantas perennes de raíces poco profundas, tales como *Cynodon dactylon* y *Agropyron repens*, tienen rizomas sólo en los primeros treinta centímetros del suelo, lo que hace posible llevar los rizomas a la superficie, donde el sol y el aire pueden secarlos. Las plantas perennes de raíces profundas tienen brotes a una profundidad de un metro y cuarto, y más por debajo de la superficie del suelo.

El objetivo del control mediante labranza debe ser el agotamiento de las reservas de alimentos por medio de la repetida eliminación de los brotes. Sin embargo, la escarda de las plantas nocivas perennes provoca a menudo un enraizamiento más profundo. Por ejemplo, *Cirsium arvense*, que crece sin que se le trastorne, arraiga sobre todo en los primeros 30 cm de la superficie del suelo, mientras que, si se le escarda, puede arraigar hasta una profundidad de 180 cm. Se han hecho muchos estudios acerca del agotamiento de reservas alimenticias de las plantas nocivas perennes, y los resultados presentan grandes discrepancias; esto se puede deber a las diferencias del medio ambiente que influyen en la regeneración de las reservas de carbohidratos. Por regla general, se conviene en que, retrasando la eliminación del follaje de la planta durante varios días después de su brote, se obtiene un mayor agotamiento que cuando las coronas de las plantas se eliminan en cuanto brotan. Las coronas siguen utilizando las reservas alimenticias de las

raíces durante varios días después del brote y, según la especie, quizá no comience a translocar alimento a las raíces sino hasta transcurridos de 10 a 14 días después del brote. Tienen igual importancia el número reducido de escarificaciones que se necesitan para combatirlos. Una alta fertilidad del suelo y una humedad adecuada pueden proporcionar la mejor manera de combatir plantas nocivas perennes mediante labranza, tal vez debido a que un nuevo crecimiento más rápido agota las reservas de alimento.

Cierto número de factores relacionados con los hábitos de crecimiento de las plantas nocivas (anuales y anuales las adaptan para que compitan con plantas cultivadas, y esto se debe considerar al combatirlos por medios físicos. La capacidad competitiva y la rapidez en renovar las reservas agotadas de alimento van asociadas a la producción fotosintetizadora de la planta. Factores tales como la superficie y la disposición en el espacio de las hojas afectan la productividad fotosintetizadora. La profundidad y la distribución de las raíces varían con la especie y con los tipos y condiciones del suelo. Otra característica de las especies de plantas que influye en el éxito del control mecánico es la capacidad de la planta para formar raíces o coronas. Existen grandes diferencias en la capacidad de las plantas para establecerse partiendo de estacas. En condiciones de suelo húmedo, estas diferencias afectan el trasplante de plantas nocivas por la labranza.

5.2 Hábitat y medio ambiente

Son muchos los factores del suelo que influyen en la selección de métodos mecánicos de control de plantas nocivas. Por regla general, lo

deseable son los monocultivos en suelo que, de otro modo, estaría desnudo. Aunque las plantas nocivas se establecen con mayor rapidez en estos hábitats, hay oportunidad para utilizar diversas medidas de control. A determinados cultivos los favorecen las condiciones poco comunes de humedad que influyen tanto en las especies de plantas nocivas que pueden competir como en las prácticas que se puede emplear para combatirlas. Por ejemplo, en el medio pantanoso para los arándanos, o en los campos anegados en los que se cultiva arroz, no se puede utilizar la escarda como método de control de plantas nocivas.

Son numerosos los ejemplos de las limitaciones que las condiciones del suelo imponen a los procedimientos de control. La presencia de piedras puede impedir la labranza o el corte. Un alto contenido de materia orgánica como el que se encuentra en suelos de turba, puede plantear peligro de incendios si se elige el flameo como medio de control. El nivel de las aguas freáticas o la capacidad de retención de humedad del suelo pueden impedir que sea efectivo el control de plantas nocivas al permitir la supervivencia de las que se han desarraigado durante la labranza.

La topografía también influye en las prácticas de control. El terreno abrupto de los pastizales puede ser intransitable para el equipo. Incluso en tierras de labor, los campos con fuerte pendiente pueden limitar los tipos de equipo que se pueden utilizar en ellos. En todos los casos se debe considerar la posibilidad de erosión si se harán grandes áreas o lugares en pendiente. Hasta una topografía muy plana puede estar sujeta a la erosión eólica si se suprimen las plantas nocivas mediante la labranza.

5.3 Clasificación y principios de métodos físicos para el control de plantas nocivas

5.3.1 Métodos de labranza

La labranza como método de control de plantas nocivas altera la relación física de la planta nociva con el suelo. La labranza puede desprender del suelo las plantas nocivas, destruyéndolas, o puede tan sólo debilitar las plantas por poda de las raíces u otras lesiones, disminuyendo así su capacidad competidora. La labranza también puede enterrar las plantas nocivas. Además de su función de control, la labranza se puede efectuar para que cambie las condiciones físicas del suelo o para enterrar residuos de cultivos.

5.3.2 Medios manuales

Tal vez, el corte manual, el método más antiguo de control de plantas nocivas; ha sobrevivido a todas las demás innovaciones, aunque va disminuyendo su empleo en gran escala. El corte manual puede ser muy eficaz, sobre las plantas anuales y bianuales, siempre que se desprenda el sistema radical. Tratándose de plantas nocivas perennes, el corte manual es eficaz contra las plántulas. Cuando las plantas están ya establecidas, el corte manual es casi improductivo. Este método puede ser práctico para eliminar algunas plantas nocivas diseminadas en un campo. A menudo el corte manual o el azadonado son los métodos adecuados para los huertos caseros, las huertas o los jardines que contienen cierta diversidad de plantas deseables en una pequeña área. Por regla general, el uso de herbicidas no es práctico en estos lugares.

La escarda es un método físico para desprender del suelo cada planta, utilizando un apero especial. Este procedimiento da mejores resultados que el corte manual si las plantas nocivas tienen una raíz principal. En general, el escardillo tiene una hoja metálica con un extremo ahorquillado y afilado que se puede clavar en el suelo para cortar raíces. La operación de escarda va acompañada del corte manual de la planta después que se han cortado las raíces. A menudo, el corte manual sin escarda, sólo logra la supresión de la planta sobre el suelo, lo que permite su regeneración a partir de la raíz principal. En general, la práctica de la escarda queda limitada a pequeños campos, sobre todo a prados y jardines caseros, puesto que es excesivo el esfuerzo físico que requiere.

El azadonado está destinado a que desarraigue o corte las malezas por debajo de la corona o en la base de la planta. El azadonado se sigue practicando en muchos cultivos, aunque desde la introducción de los herbicidas selectivos se le está empleando con menor frecuencia en las operaciones en gran escala. Puede ser eficaz para combatir plantas nocivas anuales y muchas bianuales, pero su eficacia es sólo parcial para combatir plantas perennes ya establecidas, a menos que el azonado sea constante. El azadonado es una operación más rápida que el corte manual o la escarda y, por ende, se le emplea más profusamente en la agricultura económica. Con el azadonado se puede combatir la mayoría de las plantas nocivas, pero la intensidad de esta operación varía según la especie de planta. Las plantas nocivas anuales, en particular las de hoja ancha, son las más susceptibles a la acción de la azada. Tratándose de plantas anuales, el corte se debe hacer por debajo de la superficie del suelo, para impedir que la parte se regenere a partir de la corona. Las

plantas bianuales difieren en su susceptibilidad a la acción de la azada, según sea la capacidad de regeneración de su sistema radical. Las que tienen crecimiento del tipo en forma de roseta, con muy poca o ninguna raíz principal, son presa fácil del azadón, pero muchas de las que tienen una raíz bien desarrollada se regeneran a partir de yemas adventicias si no se arranca la raíz. Las plántulas de especies perennes se combaten tan fácilmente con la azada como la mayoría de las plantas nocivas anuales, pero, para erradicarlas, las perennes ya establecidas requieren largos períodos de constante azadonado. El azadonado del crecimiento sobre la superficie, repetido a intervalos adecuados, agota las reservas de alimento contenidas en las raíces de las plantas perennes.

5.3.3 Labranza a máquina

La labranza con aperos a tracción animal o mecánica es una práctica común en todo el mundo. El equipo de labranza con tracción animal está disminuyendo en las regiones agrícolas más desarrolladas y se le ha sustituido con labranza motorizada.

En muchos aspectos, la labranza motorizada no es tan eficiente como el corte manual, la escarda o el azadonado. No puede eliminar por completo las plantas que se encuentran dentro de cultivos en surco o hilera, y la competencia dentro de la hilera es la forma de competencia más nociva. Sin embargo, esta desventaja queda más que compensada por la brevedad del tiempo que se necesita para tal labor.

5.3.4 Funciones de la labranza

La labranza disminuye o elimina la competencia de las plantas nocivas para procurarse humedad, elementos nutritivos, luz y bióxido de carbono, y con ello mejora el crecimiento de las plantas cultivadas. También entierra residuos de cultivo o cambia las condiciones físicas del suelo que pueden ser necesarias para romper capas de arcilla y otras barreras del suelo, o para mejorar el suelo para siembra de plantas cultivadas.

Los primeros estudios comparativos de labranza que altera las características físicas del suelo y de la que se realiza para el control de plantas nocivas tienen sólo interés académico, puesto que en aquel entonces no se disponía de métodos selectivos de control distintos a la labranza. La creación de los herbicidas ha hecho posible el estudio de los efectos de la labranza como práctica agrícola independiente de control de plantas nocivas. En general, se ha encontrado que en la mayoría de condiciones del suelo, la labranza es poco beneficiosa, salvo para combatir plantas nocivas. En suelos arcillosos, a menudo la labranza es beneficiosa además de que controla las plantas nocivas. La opinión general es que, en suelos secos, cierra grietas, y que fomenta las condiciones del suelo que favorecen la absorción de la lluvia.

Debido a los adelantos en los métodos de control, la función del cultivo en hileras se discute cada vez más. En general, la función capital del cultivo en hileras es combatir las plantas nocivas. En suelos con buena capa cultivable, en general la labranza no ofrece ventaja alguna si las plantas nocivas se pueden combatir de algún otro modo. En suelos en

mal estado físico, puede ser ventajosa la labranza durante determinadas temporadas; sin embargo, respecto a muchos suelos, son difíciles de demostrar los beneficios directos de la labranza, que no sean los de la erradicación de plantas nocivas. Estudios recientes acerca de la preparación química de la tierra indican que las semillas de muchas plantas cultivadas germinan, y que las plantas se establecen bajo diversas condiciones del suelo. En los lugares en que se han eliminado las plantas nocivas, mediante herbicidas, y en los que las semillas para cultivo se han depositado directamente en el suelo sobre las plantas nocivas muertas, a menudo los resultados han dado una comparación favorable con métodos más corrientes de preparación del suelo para la siembra. El tipo de crecimiento sobre el suelo y las características radiales de la vegetación ejercen, natural e inseparablemente, considerable influencia en el estado físico del suelo. Se necesitan investigaciones más definidas que comparen los efectos de los distintos tipos de vegetación con los efectos de la labranza en las condiciones del suelo.

Aunque a menudo la condición física del suelo impone el número de operaciones de labranza que se necesitan después de la arada, ha habido cierta tendencia a disminuir la cantidad de labranza. Algunas autoridades recomiendan que en el suelo para siembra se utilice arado de discos varias veces, para matar varias especies de plantas nocivas antes de la siembra, pero en muchos casos esta forma de proceder es discutible. Con el equipo antiguo, que era ineficaz contra plantas grandes, se podía requerir atacar las plantas nocivas con el arado de discos cada vez que alcanzaban una altura de unos cuantos centímetros. Con el equipo moderno y la tendencia a una siembra más temprana, tal

parece que lo lógico es arar con discos sólo lo necesario para preparar un suelo satisfactorio para la siembra. Esto puede significar arar con discos justo antes de la siembra, en especial en tierra arada en el otoño anterior.

En Ecuador, datos obtenidos en un estudio acerca de una marga aluvial decolor claro con 2,6% de materia orgánica, sugirieron que tres pasadas de arados de discos antes de la siembra tendían a causar encostramiento, lo que hacía ventajoso el cultivo en hilera. Sin embargo, cuando el suelo se aró con discos una sola vez antes de la siembra, los rendimientos promedio de tres años no indicaron beneficio alguno proveniente del cultivo en hilera o surco.

Aunque algunos agricultores han disminuido la cantidad de preparación de la tierra para la siembra, la mayoría ha tardado en aceptar este nuevo procedimiento. En muchos casos, los investigadores han obtenido datos que indican que una menor cantidad de labores de cultivo resulta beneficiosa. A menudo se necesita equipo especial para los cambios en las prácticas de producción. También es necesario que se creen herbicidas y equipo nuevos antes de que se pueda esperar que los agricultores adopten estos nuevos procedimientos.

5.4 Factores que influyen en la frecuencia y la efectividad

Varios factores influyen en la efectividad del control de plantas nocivas. Un factor primordial es la clase de planta nociva que se ha de combatir. Las plantas nocivas anuales, las bianuales sin una raíz principal bien desarrollada y las plántulas de las perennes se combaten con facilidad y eficacia mediante la labranza. En general, cuanto más jóvenes son las

plantas, tanto más fácil es combatirlas. A medida que las plantas se establecen, a menudo desarrollan extensos sistemas radicales, acumulan reservas de alimento en las raíces, y cubren el terreno más intensamente, haciendo que las operaciones de labranza resulten más difíciles y menos eficaces. La efectividad de las labores depende también de qué tan completas sean. Cuanto mayor es el trastorno que se produce a la labranza de la planta nociva y suelo, tanto mayor es la efectividad de la labranza.

El control de plantas nocivas perennes ya maduras mediante labranza es una operación más compleja. Por lo general, implica agotar las reservas de alimentos de las plantas por medio de la constante destrucción de las partes aéreas. Las perennes con sistemas radicales o rizomas extensos y profundos son más difíciles de combatir que las perennes con sistemas radicales o rizomas superficiales y limitados. Las perennes rizomatosas o estoloníferas se pueden diseminar debido a la labranza, y se necesita un programa constante para que evite el nuevo crecimiento después de cada escarda.

El número y frecuencia de escardas que se necesitan para combatir las plantas nocivas perennes varían con cada especie determinada y dependen, en parte, de las condiciones de suelo y clima que imperen. Por ejemplo, en experimentos hechos desde 1935 a 1940 en Hays, Kansas, la escarda practicada 12 días después del brote eliminó *Convolvulus arvensis* en unas 16 operaciones, más o menos, en comparación con 33 labores de escarda hechas inmediatamente después del brote. En condiciones diferentes, el número de días que evite entre dos labores de escarda varía de una especie a otra, pero el objetivo es

evitar el crecimiento aéreo en el momento preciso en que las reservas alimenticias de las raíces abundan y comienzan a renovarse gracias a los nuevos brotes.

CAPÍTULO VI

6 CONTROL BIOLÓGICO DE PLANTAS NOCIVAS

Inmensas extensiones de tierra están cubiertas de plantas nocivas que no ceden a la aplicación de agentes químicos, o para las cuales el control mediante agentes químicos es demasiado costoso o poco práctico. Sin embargo, el empleo de insectos ha tenido un éxito impresionante en el control de algunas de las peores plantas nocivas del mundo, tales como *Opuntia*, spp., e *Hypericum perforatum*. La función de los enemigos naturales (parásitos, depredadores y patógenos) en la disminución de una especie vegetal o animal se conoce con el nombre de control biológico. Cuando existen sustancias químicas adecuadas, este procedimiento es barato y permanente, y no implica tratamientos repetidos ni medidas de control año tras año.

6.1 Base ecológica y principios del control biológico de plantas nocivas

El objetivo del control biológico jamás es la erradicación, sino la reducción a niveles económicos de la densidad de la población de una planta nociva. Esto se puede lograr por medio de la acción directa o indirecta de los organismos que se utilicen.

El control biológico de las plantas nocivas se ha considerado conservadoramente debido a dos razones: la posibilidad de que los riesgos sean demasiado grandes en comparación con las posibilidades de que se obtenga un grado adecuado de contención de la planta nociva y oposición al reconocimiento de una planta dada como nociva y, sobre

todo, a que los agentes introducidos se pueden desplazar con facilidad de zonas en las que se considera que la planta es nociva a otras zonas en las que se considera como una planta de valor.

El control biológico se basa en el hecho de que hay organismos enemigos que pueden combatir determinadas plantas nocivas. En general, este método se ha aplicado contra plantas nocivas forasteras; en verdad, la abundancia de especies forasteras se debe, a menudo, a que en su medio ambiente natal se han librado de enemigos. A menudo la introducción de estos enemigos ha producido una gran disminución de la población de plagas forasteras. Sin embargo, el método no sólo se puede aplicar a plantas nocivas forasteras. Contra plantas tanto extranjeras como nativas se pueden emplear con eficacia enemigos de especies emparentadas que, por lo común, no son huéspedes de dichos enemigos.

Un enemigo natural de un tipo que no guarde una relación de densidad recíproca con su planta huésped será ineficaz o peligroso de introducir debido al riesgo que representará para otras plantas. Por este motivo, en el control biológico no se emplean enemigos de alimentación no especializada. Así pues, en este punto, se tiene una interacción huésped-parásito en la que existe una relación en la cual el enemigo tiene limitado su alimento y la planta nociva huésped tiene enemigos limitados.

Debido a la propia naturaleza del mecanismo regulador, los efectos absolutos de la acción de un enemigo disminuyen automáticamente a medida que baja la densidad del huésped. Otros factores que originan mortalidad o disminuyen la reproducción también pueden tener un

efecto que, en relación con el que surte un enemigo, sea mayor que el que surtieron cuando estaban en su punto más alto. Sin embargo, los efectos de la acción del enemigo, incluso cuando impera en baja densidad, sigue siendo vital y tan importante como en cualquier momento. Entre las fuerzas que están activas en el régimen existente, su sola acción puede impedir la reaparición de la planta nociva en su anterior abundancia.

Se ha demostrado mediante experimentación que la plena regulación se puede lograr aun de que una acción reguladora sólo aporte una pequeña cantidad de “stress”, siempre que las fuerzas no reguladoras e independientes de la densidad produzcan “stress” constante y bien marcado, y que la escasez de alimento sea el factor que regula un organismo fitófago dado, y aun a pesar de que, en realidad, sólo se destruya una pequeña parte del abastecimiento de alimento.

La decisión de introducir un insecto dado para combatir a una planta nociva no puede ser objetiva por completo. La urgencia del problema influirá en la cantidad aceptable de riesgo. Así pues, se tiene un riesgo aceptable calculado contra la preponderancia de un interés. No es razonable suponer que un insecto introducido no se entregará a una alimentación abortiva en alguna planta cultivada sometida a “stress”. En realidad, la capacidad de cría en una planta dada, por lo general, es un criterio de selección mejor que el de los hábitos de alimentación del insecto.

El control biológico jamás puede ser la solución a todo problema causado por plantas nocivas ya que no existen agentes efectivos para

cada problema. Este método resulta inadecuado si una planta nociva es tóxica para el ganado y es necesario extirparla. También hay muchas plantas nocivas que son erráticas en su aparición en el tiempo y el espacio, y puede ser apremiante la necesidad de combatir las. Aunque estos factores disminuyen las probabilidades de eficacia del control biológico, no excluyen la posibilidad de que un buen enemigo pueda disminuir la necesidad subsiguiente de otras medidas de control, el haber reducido en forma notable la reserva de semillas. El mayor inconveniente es que, por su propia naturaleza, el control biológico es una forma selectiva de combatir plantas nocivas. No es posible utilizarlo para combatir un complejo diverso de muchas plantas nocivas; tiene una utilidad impresionante cuando una sola planta agresiva es devastadoramente nociva.

A menudo se formulan censuras inmerecidas al control biológico de plantas nocivas, censuras que pueden afectar las decisiones de poner en marcha estos programas. Una consideración consiste en que debido a que el método no requiere esfuerzo alguno del agricultor, fomenta el olvido de los cuidados adecuados. Otra consideración negativa es que, después de haber tenido éxito con el control biológico, otra planta nociva puede sustituir a la que antes fuera un problema. Este argumento se puede emplear contra cualquier medida selectiva de control de cualquier planta nociva.

Es alentador el hecho de que las peores de entre las plantas nocivas de Estados Unidos, en general son forasteras, puesto que, a menudo, su agresividad en un país nuevo se debe a que no se encuentran presentes enemigos naturales. Cualesquiera que sean los motivos de la fenomenal

agresividad de una planta nociva en un medio ambiente nuevo para ella, la posibilidad de disminuir una plaga abundante sirviéndose del control biológico es mayor que la de disminuir una plaga de muy poca o ninguna consecuencia.

Un último punto de importancia es el que se refiere a la estrecha dependencia que tienen los esfuerzos del control biológico con una buena taxonomía. La presencia de especies hermanas que presentan fijaciones diferentes en cuanto a huéspedes y respecto a las cuales se desconocen los caracteres morfológicos diferenciadores, puede muy bien ocultar la verdadera especificidad del huésped de una especie enemiga importante.

Las plantas huéspedes también pueden presentar complicaciones parecidas. Se ha informado que en Queensland, Australia, se dan especies hermanas, o al menos segregados genéticos, que se confunden con *Lantana camara* L. La chinche de encaje (*Teleonemia scrupulosa* Stal) causa graves daños sólo a algunas de las formas de flor coloreada de Queensland.

6.2 Influencia de los enemigos

6.2.1 Clases de enemigos naturales

Los enemigos naturales de las plantas nocivas incluyen una gran diversidad de organismos, pero los que se les han dado mayor atención han sido los insectos, y bien pueden seguir siéndolo aquéllos en los que se concentre el interés. Esto se debe a su gran diversidad, a su alto grado de especialización en cuanto a huéspedes, a sus estrechas adaptaciones

a estos últimos y al hecho de que pueden regular la densidad de sus huéspedes de un modo muy estable aun siendo dinámico. Respecto a muchas plantas nocivas, los insectos tienden a proporcionar una gran diversidad de enemigos naturales adecuados a situaciones ecológicas particulares.

Entre los insectos que han demostrado su eficacia en el control biológico figuran especies de lepidópteros, hemípteros, coleópteros, dípteros y tisanópteros. Los ácaros también pueden resultar útiles. *Tetranychus opuntiae* se estableció por accidente en *Opuntia inermis* de Australia, y tuvo un efecto considerable en esta planta nociva, hasta que se estableció la oruga minadora *Cactoblastis cactorum* (Berg) y sofocó su potencial.

Vertebrados tales como las ovejas y cabras se han utilizado desde hace mucho tiempo para la disminución de las poblaciones de plantas nocivas, y los gansos han resultado útiles para combatir las plantas nocivas de algodones y otros cultivos en hileras de California. Sin embargo, el control mediante animales domésticos difiere, en su modo de operación, de la que es propia de los organismos introducidos, tales como insectos, cuyo número lo regula recíprocamente la abundancia de las plantas nocivas que son sus huéspedes. Para el control de plantas nocivas acuáticas se han empleado peces, caracoles, patos y manatíes.

Las plantas nocivas también pueden recibir daños de una gran diversidad de organismos patógenos microbianos y de plantas parásitas superiores. Estas últimas incluyen: parásitos obligados que sólo se propagan en huéspedes vivos (virus, plantas superiores, y muchos

hongos); parásitos preferentes que por lo general, aunque no por fuerza, se propagan en huéspedes vivos (muchos hongos y bacterias), y saprofitas que, por lo general, se propagan en organismos muertos, pero que pueden atacar a plantas vivas (otros hongos y bacterias).

La facilidad de diseminación de un organismo patógeno afecta su eficiencia u utilidad como agente en el control biológico. Los organismos patógenos son diseminados por diversos medios que incluyen: viento; lluvia salpicadora; insectos y animales; contacto con partes de la planta huésped, tal como con injertos de raíces; crecimiento vegetativo directo; y descarga explosiva de esporas (en ciertas plantas tales como *Lorantacaus enanus*). Algunos también son portados dentro o encima de las semillas de la planta huésped. La infección se puede producir en forma directa en la superficie de la planta huésped, a través de aberturas naturales (v. gr., estomas y lenticelas) o a través de lesiones producidas por insectos, animales (inclusive el hombre) o estados desfavorables del tiempo.

Son dos los tipos comunes de especialización entre los organismos patógenos: especialización de huésped, y especialización de tejidos. Muchos organismos patógenos, o razas de los mismos, no atacan más que una o unas pocas especies huéspedes. Otros están menos especializados y pueden atacar una gran diversidad de huéspedes. El ataque puede estar limitado a una parte o a unos tejidos especiales de la planta, o bien puede ser un ataque generalizado en toda la planta. El grado de especialización de planta huésped propio de un organismo patógeno es crítico para el control biológico, puesto que es probable que

los organismos patógenos con gran variedad de huéspedes dañen a plantas tanto deseables como indeseables.

6.3 Naturaleza del método de control

Examinando, en primer lugar, los organismos patógenos, se puede ver que los daños a la planta huésped se producen debido a: degradación enzimática de los elementos constitutivos de las células, producción de toxinas, alteración de los sistemas hormonales, obstrucción de la circulación vascular, desorientación de procesos fisiológicos (tal como es común en los virus) y a otros modos aún no estudiados. Puede morir toda la planta o parte de ella. También su vigor puede quedar tan disminuido que la planta ya no pueda competir con éxito con otras plantas, o la producción de semillas puede ser tan baja que la planta ya no se puede reproducir con éxito. Cuando las condiciones son favorables, el resultado neto es una disminución paulatina, o incluso brusca, de las poblaciones de la planta huésped.

Los insectos pueden destruir las plantas a las que atacan, agotando sus reservas de alimento, algunas veces debido a la total destrucción de las partes fotosintetizadores. Sin embargo, el daño producido depende de la intensidad del ataque, del tamaño y estado de la planta y del medio ambiente. El efecto de *Agrilus hyperici*, un barrenador de la raíz, en *Hypericum perforatum* se puede limitar a reducir el tamaño y el vigor si la precipitación pluvial del verano es abundante, pero, si no hay lluvia estival, a menudo las plantas atacadas mueren en el verano siguiente.

Aunque la mortalidad o las restricciones de los procesos vitales se pueden tomar, por lo común, como efectos directos del ataque por el

insecto, estos efectos no se pueden separar con facilidad de los que producen otros factores del medio ambiente que actúan en conjunto con aquél. Las condiciones climatológicas y del suelo, y la función de las plantas competidoras determinan, en gran medida, si la planta podrá o no sobrevivir al ataque por el insecto. La planta nociva suele competir con las plantas vecinas por los requerimientos esenciales y los insectos atacantes reducen y pueden invertir la ventaja competitiva. De esta manera se logró el control de *Clidemia kesteri*, un arbusto de las islas Fiji, por los tripidos *Liothrips urichi*, Karney. Este tipo de efecto indirecto es fundamental en el control biológico de plantas nocivas; no le resta importancia al organismo enemigo que se emplee.

El ataque por insectos también puede provocar otros efectos deletéreos en la planta huésped. Los insectos pueden transmitir algún organismo patógeno que acelere la destrucción de la planta, tal como ocurre con la introducción de algunas pudriciones bacterianas en *Opuntia spp.* por *Cactoblastis cactorum*.

En el complejo medio ambiente de la planta huésped, el ataque del insecto puede afectar en forma desfavorable a la planta huésped, mediante distintas formas sutiles. *Chrysolina quadrigemina* (Suffr.) no mata directamente a *Hypericum perforatum*, por defoliación de esta planta (lo que afecta su competencia para captar luz solar), sino que al disminuir su follaje queda incapacitada para sostener un sistema radical suficiente para la obtención de agua.

La cantidad de insectos que se necesita para que muera una planta también está en función de la totalidad de la situación competitiva. Una

planta agresiva, situada en un medio ambiente favorable, puede soportar un número grande de insectos. Cuando se enfrenta a una fuerte competencia en un medio ambiente desfavorable, la planta nociva puede sucumbir a un ataque de bajo nivel. La cantidad de insectos que se necesita para el control también está influida por otros factores, como tamaño del insecto, su modo de ataque y si transmite o no organismos patógenos. El modo de ataque tiene importancia si el resultado daña sólo a los productos vegetales que se producen en exceso, como semillas o polen, o si no disminuye la capacidad competidora o reproductora de la planta, como quizá sucede con especies que se alimentan de la médula.

6.4 Competencia en la soya

La producción de soya en la parte norcentral de Estados Unidos se lleva a cabo en las mismas condiciones que el cultivo del maíz, incluyendo el uso de iguales aperos para las labores de siembra y de escarda. La preparación para la siembra y la labranza siguen una pauta casi idéntica a la de la producción del maíz. En las plantas de soya el problema de las plantas nocivas es diferente que, en el maíz, debido a que aquéllas dan sombra a la soya y que los herbicidas disponibles son menos eficaces.

durante los tres primeros meses de la temporada produce plantas de maíz vigorosas que compiten con eficacia con *Setaria* durante los periodos secos de julio y agosto. Si los niveles de disponibilidad de nitrógeno son más bajos, disminuye el crecimiento tanto del maíz como de la planta nociva, y las plantas menos vigorosas de maíz pasan a ser competidoras menos eficaces respecto a la humedad del suelo durante los periodos secos. Los efectos que tienen los altos niveles de nitrógeno disponible

al disminuir la competencia de *Setaria* por la humedad varían dentro de la población de plantas de maíz que, a su vez y debido a sus efectos sombreadores, determinan el crecimiento de las infestaciones de *Setaria*. En general, en cada temporada y en cada hábitat los efectos máximos de la competencia de *Setaria* se dan en la población determinada de plantas de maíz que produce el rendimiento máximo en la temporada. Esto sugiere que, en determinadas condiciones, se pueden despreciar los efectos de la competencia de muchas pequeñas infestaciones típicas de *Setaria*. La planta nociva no hace más que compartir con el cultivo de maíz el abundante abastecimiento de humedad y elementos nutritivos que, de todos modos, tampoco los utilizaría una población subóptima de plantas de maíz.

Persisten en los campos de soya debido a que las labores de escarda no las erradican, ya que son muy resistentes a los herbicidas, debido también a su similitud con la planta de soya, se libran con frecuencia del corte manual que ponen en práctica muchos agricultores modernos.

Las investigaciones hechas en Iowa e Illinois, los dos principales Estados productores de soya, demuestran que los efectos de la competencia de las plantas nocivas dependen de los hábitos de crecimiento de tales especies, del número y densidad de las mismas, de la población y del espaciamiento del cultivo de soya, de factores climatológicos y de la competencia respecto a elementos nutritivos y humedad del suelo, así como de la sombra que se proyectan mutuamente las plantas de cultivo y las nocivas.

Están bien demostrados los efectos que la sombra de las plantas de soya tiene sobre las plantas nocivas; antaño, la soya figuraba en los primeros lugares como cultivo sofocador de plantas nocivas perennes. Con las infestaciones de plantas nocivas anuales, esta sombra se manifiesta tempranamente y, cuando surte efecto, disminuye las infestaciones en la hilera. De 50 a 59 plantas en cada metro de hilera sofocan con eficacia las infestaciones de plantas nocivas cuando las plantas de soya se han sembrado en hileras con separación de un metro, y después de que las plantas nocivas entre las hileras han sido eliminadas por escarda. Sin embargo, el efecto que tiene la sombra de la soya en las plantas nocivas no es tan manifiesto cuando las plantas de soya están sembradas con una distancia de 18 centímetros entre hileras. En estas condiciones, si las plantas nocivas no se combaten con herbicidas, el resultado siempre es una grave infestación.

Aunque los efectos de la sombra de las plantas nocivas sobre las plantas de soya son más aparentes cuando las nocivas superan en altura al cultivo, estudios recientes demostraron que plantas de *Abutilon theophrasti*, crecidas en macetas, colocadas en el lado sur de hileras de plantas de soya, disminuían en forma notable el crecimiento y el rendimiento de la soya, aunque jamás llegaran a crecer más altas que las plantas de soya. Otros estudios con plantas nocivas sembradas a diversos lados de las hileras demostraron que la sombra proyectada lateralmente es un factor apreciable para la disminución del rendimiento.

Una investigación limitada demostró que las aplicaciones de fertilizante favorecen un crecimiento más denso e intenso de plantas nocivas en los campos de soya. Como resultado de los mayores efectos de su sombra,

a su vez, las plantas nocivas tienen un mayor efecto competidor en las plantas de soya cuando las condiciones de humedad del suelo son limitadas. La respuesta de las plantas de soya al fertilizante no es suficiente para que sitúen dichas plantas en una posición competitiva ventajosa, como sucede con el maíz fertilizado.

El efecto principal de las plantas nocivas residuales sobre el crecimiento y el rendimiento de la soya son resultado de la competencia por la humedad a mediados de verano. Sin embargo, la humedad del suelo es un factor de mayor importancia a medida que, en el verano, se vuelve limitadora. La lluvia a comienzos de temporada aumenta el establecimiento de las plantas nocivas y entorpece su control, aumentando la densidad de las infestaciones residuales que llegan al periodo seco del verano. Los efectos competidores de las plantas nocivas sobre la soya siempre son menores en las temporadas, en que, a mediados de verano.

Las condiciones muy húmedas o cuando, durante toda la temporada, prevalecen condiciones relativamente secas. Los máximos efectos de la competencia sobre el crecimiento y rendimiento de la soya van asociados a condiciones óptimas de humedad del suelo a comienzos de la temporada, seguidas de sequía estival. Los efectos de la competencia de las plantas nocivas durante este periodo no se manifiestan tanto en la disminución de la altura de la planta de soya como en el tamaño y número de semillas por vaina al llegar a la madurez. A menudo la caída de lluvias en agosto enmascara los efectos de la competencia más temprana, ya que el tamaño de la semilla de soya aumenta y compensa, en parte, la pérdida en el número de semillas.

En condiciones de humedad limitada del suelo en los meses de julio y agosto, la producción total de materia seca de la soya y las infecciones residuales de plantas nocivas que la acompañan, vienen siendo más o menos las mismas que el total de producción de materia seca de la soya libre de plantas nocivas. Los efectos de la sombra de la soya sobre las plantas nocivas, y la de las plantas nocivas en la soya, así como la competencia por la humedad y los elementos nutritivos del suelo pueden producirse en forma simultánea o en rápida sucesión.

Las diferencias de los efectos competidores de las especies de plantas nocivas se manifiestan en las condiciones más extremas de sombra, pero son más difíciles de discernir cuando se examinan los efectos de la humedad y la sombra lateral.

En general, las variaciones de poca monta en el número de plantas nocivas de hoja ancha y las gramíneas de una infestación residual no se reflejan en las diferentes que se han observado en los efectos competidores. Una evaluación cuidadosa de los efectos competidores de *Setaria viridis*, *S. lutea* y *S. faberii*, con infestaciones residuales superiores a lo normal, durante un periodo de tres años, sugirió que ninguna de dichas especies tenía capacidad competidora superior. *Setaria faberii* creció más grande y con mayor vigor que las otras especies y tuvo un mayor efecto competidor cuando se compararon infestaciones de igual densidad (igual número de plantas por unidad de longitud de la hilera). Sin embargo, cuando se apreciaron los efectos competidores que tuvieron las tres especies en el rendimiento de la soya (a base de la disminución en fanegas de soya por 100 libras de

infestación de *Setaria spp.* Ya madura) no se encontraron diferencias entre las tres especies de dicha planta nociva.

La importancia de los herbicidas respecto a la modificación de los efectos competidores de las plantas nocivas anuales sobre las plantas de soya es menos notable que respecto al maíz puesto que no hay herbicidas selectivos para aplicación posterior al brote para la mayoría de las plantas nocivas que infestan los campos de soya. En condiciones óptimas de precipitación pluvial después de la siembra, los herbicidas selectivos para aplicar antes del brote proporcionan buenos resultados al combatir un espectro cada vez más amplio de especies de plantas nocivas en los campos de soya y pueden eliminar gran parte la labranza superficial temprana y algo de las labores profundas de escarda posteriores. En la actualidad, el fracaso de estos herbicidas en tiempo seco y el gran número de especies de plantas nocivas resistentes limitan la función de los herbicidas y hacen que el cultivo de la soya en hileras muy cercanas sea azaroso, a pesar de los aumentos de rendimiento comprobados que se deben a esta superior disposición del espaciamiento.

6.5 Maquinaria para labranza

Son muchos los aperos de que se dispones para el control de plantas nocivas pero el principal apero de labranza es el arado (figura1) el arado ha cambiado de forma, desde que era un trozo de madera curvado hasta los arados de vertedera y de discos. Aperos especializados de labranzas, tales como el azadón giratorio y la grada, están destinados a controlar plantas nocivas en cultivos que brotan, pero ya establecidos.

El azadón giratorio es un apero muy popular para el control de plantas nocivas muy pocas después de la siembra. En algunos lugares se emplea en aproximación tres cuartas partes de extensión dedicada a cultivos en surco o hilera. En general, se emplea una vez como procedimiento rápido y económico para combatir las plántulas antes de que comience la escarda en los surcos. El azadón giratorio es muy eficaz contra las plántulas nocivas antes o muy poco después de que brotan. Algunas veces se emplea para romper la costra del suelo y para que ayude al brote del cultivo. (figura2) los mejores resultados se obtienen si la superficie del suelo esta ligeramente encostrada. El azadón giratorio debe tener peso suficiente y debe funcionar con suficiente rapidez para que se obtenga el movimiento adecuado del suelo, para que desaloje a las plantas nocivas, por lo general, el momento de esta labor lo determina el tamaño de las plantas nocivas más bien que el de por la planta cultivada. A menudo resulta ventajoso escardar durante la hora más cálida del día, cuando la planta cultivada esta menos turgente. Se debe evitar dañar el cultivo cuando las plantas de este

Se encuentra en la fase curvada o en la de la púa del brote del coleóptilo la grada es de acción similar a la del azadón giratorio pero los dientes o púas permanecen estacionarios y no giran. La resistencia de las púas rígidas, mientras que la de los dientes flexible (o uñas) tiene púas flexibles. Se emplean diversas gradas para los distintos casos.

Cuando es necesario destruir plantas nocivas con un mínimo de movimiento de la tierra, se usan aperos de hoja o escardillo su filo cortante se halla a unos cuantos centímetros debajo de la superficie del suelo y cortan su planta de la raíz.

El control de plantas nocivas mediante labranza es económico y es una operación que el agricultor domina con facilidad. Los principales inconvenientes de la labranza son los posibles daños a las raíces de las plantas cultivadas su limitada efectividad contra las plantas nocivas con la consiguiente conservación de estas, los efectos nocivos en las propiedades físicas del suelo, la imposibilidad de labores de escarda en suelo relativamente mojado y la mayor erosión del suelo

6.5.1 Siega y corte

Los primeros aperos para cortes fueron piedras afiladas y su uso se remonta a miles de años atrás. Al fin estos dejaron el lugar a máquinas más complejas de metal afilado. Los aperos manuales para corte se siguen usando mucho en todo el mundo entre ellos figura el machete la guadaña la azada y toda una gran variedad de otras herramientas.

Los aperos manuales se emplean en lugares inaccesibles al equipo mecánico movido por motor donde este último no existe. Por ejemplo, la guadaña se sigue usando mucho para combatir la vegetación de las orillas de zanjas y acequias. A menudo complementa aperos mecánicos movidos por motor, tales como la guadañadora y la segadora giratoria. Las hachas y otras herramientas manuales pesadas para corte de la madera se pueden utilizar para eliminar la maleza de las zonas boscosas. Sin embargo, estas herramientas también se están sustituyendo por equipo mecanizado

Las cortadoras movidas a máquina se están usando mucho. Las plantas que se han de cortar pueden ser herbáceas, como se dan en los campos de heno, o leñosas, como en tierras de pastura (o dehesas), corte

o siegas a máquina es un todo que por lo común se utiliza en las márgenes de las carreteras, donde no se debe tocar el borde, a lo largo de las orillas de acequias y zanjas y en prados. Los dos tipos primarios de cortadoras son la guadañados con hojas oscilantes y la segadora giratoria.

El corte o siega combate de dos modos las plantas nocivas. Si se hace en el momento oportuno, impide que les plantas produzcan semillas. Los cortes repetidos también ayudan a combatir algunas de las plantas perennes, al agotar abastecimiento subterráneo de alimento

El corte resulta ineficaz contra las plantas nocivas rastreras o cortas que crecen junto al suelo. A menudo las rastreras o de crecimiento bajo son invasoras de regiones en las que hacen cortes muy a menudo. El corte de la parte alta de algunas plantas destruye la dominancia apical, y las yemas latentes pueden comenzar a crecer, haciendo que la planta tenga tallos en mayor número que los que estaban presentes antes del corte

La mayoría de las plantas nocivas se debe cortar en su fase de yema o más temprano, puesto que pueden producir semillas viables, incluso si las caberlas se cortan durante la floración. La mayoría de las perennes se deben cortar en la primera fase de floración, ya que un general éste es el periodo en que la planta tiene la menor cantidad de reservas alimenticias en sus raíces. Por desdicha, el corte es una labor que a menudo se lleva a cabo cuando es más cómodo hacerlo, más bien que cuando resulta más eficaz

El corte puede ser un método deseable para combatir plantas nocivas en los lugares en que el suelo desnudo está sujeto a erosión y ay se necesita

del sistema radical de las plantas para que retenga el suelo en su lugar. El corte y la siga son también eficaces en cultivos que tienen un lento periodo inicial de crecimiento seguido de un ritmo acelerado de crecimiento. En estos casos, las plantas nocivas de crecimiento rígido pueden quedar muy retrasadas con el corte o siega, lo que permite que el cultivo se desarrolle.

6.5.2 Anegamiento, dragado, drenado y rastrillado con cadenas

El anegamiento se emplea para combatir plantas nocivas en cultivos tales como los de arroz y taro, que crecen en condiciones de anegamiento. Por ejemplo, los esquejes de taro se plantan en terreno inundado con 7.5 a 10 cm de agua, y el campo se mantiene anegado durante toda la vida del cultivo, salvo durante las aplicaciones periódicas de fertilizante. Sin embargo, el anegamiento tiene algunas fallas cuando se le emplea para combatir plantas nocivas; aunque elimina muchas plantas nocivas, casi siempre las plantas acuáticas constituyen un problema.

Algunas veces se emplea el anegamiento para combatir plantas nocivas perennes. La popularidad de este procedimiento aumentó un poco después de que se observó que eliminaba muchas plantas nocivas perennes en campos anegados para la producción de arroz. La eficacia del control de plantas nocivas mediante anegamiento depende de que aquéllas queden sumergidas por completo durante un periodo de uno a dos meses. Es importante que no haya ningún nuevo crecimiento por encima del agua. Ha habido muchos fracasos en lugares en los que se dejó que las plantas crecieran por encima del nivel del agua y que, de

este modo, sobreviviesen. La susceptibilidad de las plantas nocivas perennes al anegamiento varía con las diferentes especies. Con este procedimiento se han combatido con mucho éxito.

6.5.3 *Centaurea repens* y *cardaria draba*

Cuando las plantas nocivas son susceptibles al ataque mediante anegamiento y el terreno es adecuado para ello, este procedimiento puede ser más eficaz que el uso de herbicidas que se aplican al suelo. El anegamiento no deja en el suelo residuo alguno de herbicida, y el campo se puede destinar de inmediato a la producción. Los inconvenientes del anegamiento son: el elevado gasto en la construcción y mantenimiento de diques, la falta de agua disponible en algunos lugares, y las grandes diferencias de la susceptibilidad al anegamiento de las distintas especies de plantas nocivas.

El dragado, el drenado y el rastrillado con cadenas son procedimientos que se emplean para combatir plantas nocivas acuáticas que crecen en pantanos, zanjas de drenaje y canales y acequias de riego. El dragado es un procedimiento costoso de control de plantas nocivas. Varios distritos de riego han demostrado que, con el empleo de agentes químicos, el dragado se puede reducir al mínimo o eliminar. Gran cantidad de deposición de limo se debe al lento desplazamiento de los caudales de agua, lo que da por resultado el crecimiento de plantas nocivas acuáticas. Como procedimiento de control en general, el dragado se emplea, como último recurso; elimina materialmente el crecimiento de plantas nocivas en lugares en que hay limo excesivo o en las orillas de agua embalsada. Este procedimiento casi nunca se utiliza antes de que el crecimiento de

plantas nocivas haya llegado a constituir un problema grave. El éxito final de la operación de dragado depende de los órganos de las plantas que se hayan removido. Si se eliminan los rizomas, tubérculos y otros órganos de propagación, la contención de las plantas nocivas es sólo temporal. A menudo, estos órganos están situados a profundidad.

A principios de este siglo, las soluciones sódico pasaron a ser los agentes químicos comunes en el comercio para distribuir plantas nocivas y se siguió utilizando en grandes cantidades hasta 1969 aproximadamente. Los primeros estudios demostraron que la forma trivalente del arsénico (As^{3+}) era la más efectiva para combatir plantas nocivas. El trióxido de arsénico, una forma casi insoluble es la que se emplea en la esterilización del suelo. Se necesitan proporciones altas que van de 448 a 896 kg por hectárea, debido al poder de aglutinación del suelo cuando se aplica arsénico. Los residuos del trióxido de arsénico permanecen durante muchos años en el suelo incluso a pesar del control de plantas nocivas quizás sea eficaz durante un año o más. El arsénico sodico es más eficaz que el trióxido de arsénico como destructor de plantas nocivas, debido hasta a que, hasta cierto punto, se transloca dentro de las plantas. Los compuestos de arsénico son inhibidores no específicos de las enzimas vegetales que contienen grupos sulfhídricos la precipitación proteínica dentro de la célula vegetal es consecuencia de altas concentraciones de compuestos de arsénicos.

Otro herbicida inorgánico es el sulfonato de amonio ($\text{NH}_4 \text{SO}_3 \text{NH}_2$), una invocación muy reciente entre los herbicidas inorgánicas, que no se patentó sino hasta 1942. Siendo un compuesto muy soluble en el agua, de baja toxicidad para los mamíferos se le están empleando mucho para

combatir la maleza leñosa. Se ha demostrado la capacidad de este agente químico para translocarse dentro de las plantas.

De una vez en cuando se han probado herbicidas diversas sales inorgánicas. Estas sales incluyen compuestos tales como: tiacinato de amonio, nitrato de amonio, sulfato de amonio, sulfato de hierro y sulfato de cobre. Estas sales son muy eficaces como rociados foliares, ni se aplican en dosificación elevadas. Sus mecanismos de acción puede ser plasmólisis y la desecación.

También ha tenido amplio uso como herbicida una familia de boratos inorgánicos. Los que más se usan de entre ellos son: 1) tetra borato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ en sus formas anhidras de 5- y 10-hidrato); 2) mataborato sódico ($\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_4$ en sus formas 4- y 8-hidrato); y 3) borato sódico amorfo (composición aproximada $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$). La efectividad de los boratos depende, de gran medida de la cantidad de boro o de ácido bórico presente en el herbicida. Aunque la toxicidad del boro (un elemento esencial para el crecimiento vegetal) se observó en 1876 todavía está en la tela de juicio cual sea el mecanismo fundamental de la toxicidad del boro para las plantas, al parecer el boro se acumula en las estructuras reproductivas vegetales y se ha postulado la formación de grandes moléculas inmóviles. Los boratos los absorben sobre todas las raíces de la planta y se transloca a las partes en crecimiento. Los boratos tienen una toxicidad de orden reducido para los mamíferos. En general se emplean para control a largo plazo y en forma no selectiva de plantas nocivas a menudo se emplean con otros herbicidas, como el 2,4-D, TBA, ureas sustituidas en peligro de incendio propio del clorato sódico, un poderoso oxidante que también es un notable herbicida no

selectivo. Aunque el clorato se empleó en Australia contra *Opuntia spp* en 1902, el clorato sódico fue algo que se utilizó en la época contemporánea junto con los boratos. El borato sódico sobre todo como estabilizador.

Del suelo; sus proporciones eficaces de aplicación son elevadas: de 224 a 1.120 kg por hectárea. La toxicidad del suelo desaparece por lixiviación y reacción con nitratos y materia orgánica. El clorato sódico es activo como rociado foliar. Su acción foliar se puede mejorar mucho haciendo más ácida la solución básica. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado en impedir que la solución sea demasiado ácida, puesto que el ácido clórico que se forma es un agente oxidante más peligroso que el clorato sódico por sí solo. El ácido sulfúrico, un ácido mineral muy corrosivo, se ha utilizado casi desde comienzos de este siglo para combatir las plantas nocivas anuales presentes en cultivos de cereales y cebollas. Cuando se le emplea en forma de rociado foliar, mata una variedad de especies de plantas nocivas. La utilidad del ácido sulfúrico está muy restringida debido a su corrosividad. Dentro de su campo de utilidad, el ácido sulfúrico ha sido sustituido, en gran proporción, por compuestos orgánicos selectivos.

a) Herbicidas orgánicos

Desde hace muchos años se han utilizado aceites de petróleo como herbicidas de contacto, pero la creación de agentes químicos orgánicos para combatir plantas nocivas comienza esencialmente con la introducción, en 1932, del 3,5-dinitro-o-cresol, que es mortal para las plantas nocivas. Su sal sódica fue profusamente utilizada bajo el nombre

de DNOC. Sin embargo, el acontecimiento más significativo de la historia de los herbicidas orgánicos sucedió unos pocos años después de la introducción del DNOC con el descubrimiento de las propiedades herbicidas del 2,4-D, que demostró que se podían emplear con eficacia herbicidas en pequeñas cantidades, sin que por ello dejaran de ser de acción muy selectiva y sistemática. Entonces comenzó la evaluación sistemática de gran número de agentes químicos orgánicos en busca de otros herbicidas que tuvieran las ventajas del 2,4-D.

6.6 Aceites de petróleo

Los aceites de petróleo son mezclas complejas de hidrocarburos con pequeñas cantidades de compuestos que contienen nitrógeno y azufre. Las mezclas las constituyen, representantes de la serie alcano de los hidrocarburos, compuestos de cadena no saturada, compuestos alicíclicos e hidrocarburos aromáticos. En una muestra de aceite pueden estar presentes numerosos representantes de cada una de las clases de estos compuestos, variando desde los de molécula pequeña hasta los de alto peso molecular. Las diversas clases de productos de petróleo, como gasolina, kerosén, aceite diésel y combustible para calderas se preparan por medio de destilación y otros procesos de refinación. La investigación ha demostrado que los hidrocarburos del petróleo son muy eficaces como herbicidas de contacto para combatir la vegetación total y que, en algunos casos, son selectivos. La toxicidad para las plantas crece al aumentar el peso molecular y la insaturación. Los aceites selectivos contra plantas nocivas los constituyen las fracciones de punto más bajo de ebullición, con proporciones relativamente bajas de compuestos insaturados e inaromáticos. Los aceites herbicidas generales

de contacto tienen una escala más elevada de punto de ebullición y están constituidos, en gran parte, por compuestos insaturados y aromáticos. Los aceites de petróleo pueden surtir su efecto letal impidiendo el intercambio gaseoso entre las hojas y el aire, o por penetración de los tejidos y disrupción de las membranas del plasma.

6.7 Herbicidas orgánicos arsenicales

Son dos los grupos de compuestos orgánicos arsenicales que más se emplean como herbicidas: el ácido arsónico y el ácido arsínico. Sus fórmulas estructurales son como sigue.

R y R' de las fórmulas anteriores se refieren a diversos grupos orgánicos. Aunque hay muchos derivados de estos dos ácidos, sólo el ácido cacodílico (ácido dimetilarsínico) y su sal sódica, así como el ácido metanoarsónico y sus sales, son los que más se utilizan como herbicidas. Estos herbicidas son el metanoarsonato disódico (DSMA), el metanoarsonato del ácido monosódico (MSMA), el metanoarsonato monoamónico (MAMA), el metanoarsonato amino (AMA) y el metanoarsonato del ácido cálcico (CMA).

El ácido metanoarsónico y el ácido cacodílico son ácidos relativamente fuertes, capaces de descomponer carbonatos. El ácido metancarsónico es un ácido dibásico que, con hidróxido de sodio, forman tanto una sal monosódica ácida como una sal disódica. El ácido cacodílico es monobásico, pero, en una solución fuerte de hidróxido de sodio, forma la sal disódica $(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2\text{Na}_2$, de un ácido tribásico. El ácido cacodílico es algo anfótero y, por reacción directa con cloruro de hidrógeno gaseoso forma un hidrocloreto $(\text{CH}_3)_2\text{AsO}_2\text{H-Cl}$.

Ambos ácidos contienen arsénico en su estado pentavalente plenamente oxidante, de modo que sólo se pueden oxidar más los grupos metilo. Esto requiere un poderoso agente oxidante tal como una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico. El producto final es el ácido ortoarsénico.

El ácido metanoarsónico y sus sales pueden reducirse con agentes levemente reductores, por ejemplo, hidrógeno en separación y bióxido de azufre, para formar metano arsenioso, CH_3AsO , un compuesto arsenical orgánico trivalente. No hay prueba alguna de esta reducción en el suelo ni en las plantas. El ácido cacodílico y sus sales también pueden reducirse para formar óxido cacodílico (CH_3AsO_2) AOA (CH_3AsO), otro compuesto arsenical orgánico trivalente, aunque requiere un agente reductor mucho más poderoso, tal como el ácido fosforoso,

En este caso tampoco hay pruebas de dicha reducción en el suelo o en las plantas.

El ácido metanoarsónico, el ácido cacodílico y sus sales son sólidos cristalinos. El ácido metanoarsónico cristaliza en alcohol en forma de agujas que funden a 106°C , y el ácido cacodílico cristaliza en forma de prismas que funden 200°C . El ácido metanoarsónico y varias de sus sales son relativamente solubles en agua (22 a 58 por ciento). El ácido cacodílico y varias de sus sales son solubles en agua hasta del 37 al 66%.

El poder de las formulaciones de metanoarsonato, para utilizarlas como herbicidas, se comparan en general a base del equivalente de su contenido de hexahidrato metanoarsonato disódico. El ácido metanoarsónico tiene un contenido de 53.5% de arsénico. La sal disódica tiene un contenido de 40.7% de arsénico. La sal disódica se

separa de la solución acuota en forma de un hexahidrato con peso molecular de 292, que contiene 63% de sal disódica. Este hidrato es la forma cristalina estable de la sal disódica. Puede prepararse la sal disódica anhidra, pero se hidrata muy rápido si coloca en aire húmedo.

El ácido cacodílico tiene un contenido de 54.3% de arsénico. El cacodilato sódico tiene un peso molecular de 160 y contenido de 46.9% de arménico. El ácido cacodílico se separa de las soluciones acuosas sin agua alguna de hidratación, y es casi no higroscópico. La fuerza de las formulaciones de cacodilato para utilizarlas como herbicidas está en función de su contenido equivalente de ácido cacodílico.

En la actualidad no hay un solo procedimiento satisfactorio para la determinación de los residuos de metanoarsonato o cacodilatos presentes en productos para alimentación o forrajes. Los residuos se pueden determinar, junto con los de otros compuestos arsenicales, por: oxidación de toda la materia orgánica con una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico; reducción del ácido ortoaménico resultante, primero, a la forma arsenito con un cloruro estannoso y, después, con cinc y ácido clorhídrico a la forma arcina, y la detección de la arcina por medio de reactivos de azul de molibdeno y ditiocarbamato de dietilo.

Los compuestos ofnicos arsenicales pentavalentes, tales como el ácido meta masónico y el ácido cacodílico, en general son menos tóxicos para los animales que los compuestos orgánicos arsenicales trivalentes, tales como el metanoar-senioso (CH_3AsO_2 , A30), y mucho menos tóxicos que los compuestos arsenicales inorgánicos pentavalentes y trivalentes. Las LD₅₀ orales agudas de algunos compuestos arsenicales, para las ratas,

determinada a base de ingestión por sonda estomacal en miligramos de compuestos orgánicos arsenicales por kg de peso del cuerpo, son como sigue: ácido cacodílico, 830; MSNA, 700; y DSMA, 1800. Los compuestos arsenicales inorgánicos, arseniato sódico, y trióxido de arsénico tienen una LD₅₀ aguda de 75 y 15 mg por kg, respectivamente.

Los metanoarsonatos y cacodilatos son herbicidas de contacto. Son más eficaces a temperaturas por encima de 20,7°C y se deberán aplicar a comienzos de un día despejado, cuando las plantas están creciendo con vigor. Los metanoarsonatos son selectivos, mientras que los cacodilatos no lo son mucho. Los cacodilatos tienden a desecar las plantas, pero se translocan hasta un grado limitado, en proporciones inferiores a las que causan lesión por contacto.

Las soluciones acuosas de cacodilato sódico inyectadas en árboles se translocan con rapidez hacia arriba, causando defoliación y muerte en unas pocas semanas. Se necesitan de 4 a 8 mililitros de solución, que contengan el 30% de equivalente de ácido cacodílico, por cada 10 cm de diámetro del árbol a la altura del pecho. La aplicación foliar, a razón de 11.2 a 112 kg por hectárea de equivalente de ácido cacodílico, produce una rápida defoliación de los árboles.

En la mayoría de los casos, los metanoarsonatos y cacodilatos sólo destruyen las partes aéreas más altas de las plantas nocivas. En general se necesitan aplicaciones repetidas, a intervalos de dos a tres semanas, para que destruyan plantas perennes. Las aplicaciones se deberán hacer durante períodos de temperatura elevada y alta humedad del suelo.

Al estar en contacto con el suelo, los metanoarsonatos y cacodilatos se inactivan con rapidez por adsorción e intercambio iónico. No hay pruebas de metabolismo de estos herbicidas por microorganismos, ni de acumulación apreciable de residuos tóxicos en el suelo.

6.8 Ácidos fenoxialifáticos

Los ácidos fenoxialifáticos y sus derivados abarcan un grupo importante de herbicidas orgánicos muy interesantes debido a su selectividad y sobresaliente capacidad para translocarse dentro de las plantas. Este grupo de compuestos químicos, que incluye el 2,4-D, propició gran parte del impulso que hubo en los años cuarenta para la búsqueda de un huésped para herbicidas orgánicos. La estructura del 2,4-D es la que aparece a continuación.

El ácido 2,4-D y sus sales, ésteres y amidas son muy tóxicos para una gran diversidad de plantas. En general, las gramíneas son más tolerantes a estos herbicidas que las plantas dicotiledóneas. Los diversos derivados varían, en cuanto a solubilidad, de lipófilos a hidrófilos, y difieren en gran medida respecto a su solubilidad absoluta en aceite y en agua. Los herbicidas de ácidos fenoxialifáticos son relativamente no tóxicos para los animales. El grupo lo constituyen diversos derivados de anillo-benceno-sustituido. También son posibles variaciones de la porción de ácido alifático. Los halógenos y los hidrocarburos son sustitutos eficaces del anillo.

Los compuestos químicos fenoxialifáticos más eficaces son: ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T); ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D), ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA); ácido 2-(2-metil-4-

clorofenoxi) propiónico (mecoprop), ácido 4-(2,4-diclorofenoxi) butírico (2,4-DB); ácido 2-(2,4,5-triclorofenoxi) propiónico (silvex); ácido 2-(2,4-diclorofenoxi) propiónico (diclor-prop); ácido 4-(2-metil-4-clorofenoxi) butírico (MCPB), y ácido 4-(2,4,5-tricloropocenoxi) butírico (2,4,5-TB). El ácido 4-clorofenoxiacético (4-CPA), y el ácido 3,4-diclorofenoxiacético (3,4-DA) también ponen apreciable actividad herbicida.

Aún no se saben el modo de acción de los ácidos fenoxialifáticos y la mecánica por la que se producen respuestas herbicidas. El agotamiento respiratorio, la proliferación celular, la formación de materiales tóxicos y la activación del metabolismo de los fosfatos pueden contribuir a la acción letal. Además, estos herbicidas pueden surtir efectos en el nivel de la auxina endógena natural y, tal vez modifiquen el metabolismo del ácido nucleico.

Se ha demostrado que algunos ácidos fenoxialifáticos sustituidos, con un número par de átomos de carbono superior a 2 en su cadena alifática, pasan por -oxidación dentro de los tejidos de determinadas plantas, formando el derivado fitotóxico del ácido acético. Las plantas que no pueden hacer esta conversión son selectivamente resistentes.

Otras variaciones de los herbicidas de ácidos fenoxialifáticos son los fenoxietanoles sustituidos y sus derivados sulfato, fosfito o benzoato. Estos compuestos, activos sobre todo en aplicaciones en el suelo, dependen de los microorganismos del suelo para la hidrólisis de la derivación al fenoxietanol correspondiente, que luego se oxida para formar el ácido fenoxiacético activo.

6.9 Amidas sustituidas

Los herbicidas de amidas comprenden un grupo diverso de agentes químicos. Varían desde estructuras como las α -haloacetamidas N-sustituidas, y las acetamidas α,α -diarilo, pasando por las anilidas aromáticas de ácidos alifáticos sustituidas y ácidos ciclopropilcarboxílicos hasta llegar a ácidos N-naftalámicos. Sus propiedades biológicas varían muchísimo. A continuación, se exponen en breve algunos miembros representativos de las amidas sustituidas.

6.9.1 *A-haloacetamidas N-sustituidas*

CDAA (2-cloro-N, N-dialilacetamida) y CDEA (2-cloro-N, N-dietilacetamida) son los dos representantes más antiguos de esta clase de herbicidas para antes del brote, activos contra gramíneas. Son moléculas relativamente sencillas que tanto las plantas como el suelo degradan con facilidad. A continuación, se presenta la forma estructural del CDAA. CDAA puede hidrolizarse con facilidad para eliminar los átomos de cloro o romper el enlace amida. Se puede obtener provecho de estas reacciones al proceder a la determinación analítica. Por ejemplo, los ácidos glicólicos resultantes se pueden determinar mediante la colorimetría por reacción con ácido cromotrópico, o bien, la amina se puede determinar como complejo del bisulfuro de cobre-amina-carbono.

Uno de los posibles modos de acción del CDAA en las plantas es por alquilación de los grupos sulfhidrilo de las proteínas. Los estudios han demostrado que el CDAA alquilizará la glutatióna. Se ha sugerido que el CDAA y el CDEA se degradan a ácido glicólico, con el residuo amino

que sigue degradándose final-mente a constituyentes normales de la planta.

Las a-cloroacetamidas inhiben la germinación del primer crecimiento de plántulas de la mayoría de las gramíneas anuales. Proporciones subletales de aplicación estimulan el macollamiento y crecimiento de yemas secundarias de pastos.

El a-halógeno se elimina con rápidos de las plantas tolerantes, dando por resultado un material inactivo. Debido a su alta solubilidad en agua, su alta presión de vapor y su rápida hidrólisis, el CDAA no persiste en los suelos.

Contrariamente a la acción de muchos otros herbicidas, la actividad del CDAA no disminuye en suelos muy orgánicos. Al parecer, la adsorción reversible del CDAA en materia orgánica ayuda a su acción, impidiendo la pérdida del agente químico tal como se produce en suelos puramente minerales. Las rápidas pérdidas de CDAA en suelos arenosos puede impedir la lucha eficaz contra las plantas nocivas.

Una a-haloacetamida más reciente, 2-cloro-W-isopropilacetanilida es menos soluble en agua y menos volátil que el CDAA, pero es herbicidamente activa en suelos orgánicos. Alcanza su mayor eficacia en suelos arenosos y ligeros en condiciones de fuerte precipitación pluvial. Este agente químico inhibe la expansión celular que produce el ácido 2,4-D en el tejido hipocótilo del pepino. Las mismas concentraciones del herbicida que inhiben el crecimiento producido por la auxina inhibe también la síntesis de proteínas.

La inhibición del crecimiento de las raíces del pepino por 2-cloro-N-isopro-pilacetanilida está estrechamente correlacionada con la inhibición de la síntesis de proteínas en los extremos de la raíz. La síntesis de proteínas queda muy disminuida antes de que se produzca la inhibición. Varias horas después de la disminución de la síntesis de proteínas se presenta una ligera disminución de la síntesis del ácido ribonucleico.

6.9.2 N-Ndimetil-2,2-difenilacetamida

El nombre que se da a N-N, dimetil-2,2-difenilacetamida es difenamida. Se le emplea como tratamiento del suelo antes del brote de las plántulas y tiene muy poca o ninguna actividad de contacto. La difenamida se absorbe sobre todo por las raíces y las hojas no la absorben con facilidad. La fórmula estructural de la difenamida es la siguiente:

6.10 Direnamida

Casi todas las plantas establecidas son tolerantes a la difenamida, puesto que este herbicida afecta sólo a las plántulas. La difenamida se trasloca con rapidez después de la absorción por la raíz. Las cantidades más altas del herbicida se encuentran en la parte basal de las plantas y las cantidades más bajas se encuentran en los frutos y los puntos terminales de crecimiento. El metabolito más importante identificado en plantas y frutos de fresas es N-metil-2,2-difenilacetamida. También se han encontrado rastros minúsculos de ácido difenilacético. Los microorganismos degradan la difenamida a estos compuestos. Al parecer, estas formas también son fitotóxicas.

La difenamida no queda estrechamente absorbida a los coloides del suelo. Se lixivia con rapidez en suelos arenosos, y con más lentitud en suelos limosos o arcillosos. En condiciones cálidas y húmedas, la persistencia promedio a nivel herbicida es de 3 a 6 meses. En condiciones de baja precipitación pluvial, la difenamida es muy persistente en el suelo.

Cuando se administra a ratas por vía oral, la difenamida es rápidamente absorbida, metabolizada y excretada. La ruta principal del metabolismo es la N-desalquilación, seguida de conjugación y excreción en forma del N-glucuro nido. Un segundo metabolito que se encuentra en la orina es el O-glucoronido de N-metil-W-hidroximetil-difenilacetamida.

6.10.1 Dicloropropionanilida

Este herbicida, al que se conoce con el nombre de propanil (3',4'-dicloropro-pionanilida), es un herbicida selectivo para después del brote que combate una amplia variedad de plantas nocivas. Su uso más extenso ha sido en arrozales. La forma estructural del propanil es la que se indica a continuación:

6.11 Concepto de los sistemas para el manejo de plantas nocivas

durante unos treinta días antes de que brote del suelo. Después del brote, S.

Lútea produce su propio alimento, pero sigue dependiendo de la planta huésped en lo referente al agua y los minerales. Las flores aparecen tres o cuatro semanas después del brote, y las vainas de semilla maduran y estallan tres semanas más tarde, logrando con su explosión dispersar

parte de la semilla. En los estados de Carolina del Norte y del Sur, la germinación comienza a principios de mayo. La germinación y el parasitismo siguen durante toda la temporada, mientras haya plantas huésped.

Después de que se descubrió *Striga lutea*, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos determinó el grado de la infestación y evaluó la amenaza que representaba para la agricultura. Por primera vez en la historia del control de plantas nocivas en Estados Unidos, se impusieron cuarentenas federales y estatales sobre una amplia base nacional, con el fin de disminuir la diseminación de una planta nociva, y el Congreso asignó fondos para erradicar la plaga. También las leyes estatales de Carolina del Norte y del Sur la señalaron como planta nociva.

La contención de una plaga tal como *S. lutea* tiene tanta importancia como su erradicación. Las cuarentenas paralelas, estatales y Federales, ha regulado el transporte interestatal e intraestatal de cualquier artículo o mercancía básica que pueda propagar *S. lutea*. Los artículos que puedan albergar la plaga sólo se pueden sacar de una región con la debida autorización, y después de haberlos fumigado o tratado siguiendo métodos aprobados. La cuarentena tiene, de hecho, gran valor para impedir la diseminación de *S. lutea* desde las zonas infestadas.

En la zona primaria de infestación se construyó, para cooperación federal estatal, un laboratorio para estudiar *S. lutea*, y se le asignaron cuatro científicos para que investigaran métodos de erradicación. Los principales proyectos, todavía en marcha, se ocupan de: identificación

del estimulante natural de la germinación; métodos químicos y de cultivo de control; fumigación desde el aire y en el suelo de los cultivos, productos agrícolas y aperos de labranza; y métodos para eliminar la semilla de *S. lutea* de los productos y el equipo agrícolas.

La producción de semillas se evita mediante el tratamiento del follaje de *S. lutea* con 2, 4-D, antes de que la semilla se haya formado. Se necesitan de dos a cuatro aplicaciones por temporada. Esta técnica se ha convertido en norma en el programa de erradicación, y ha demostrado ser muy útil durante la producción de maíz y en áreas no cultivadas accesibles al rociado. El gobierno ha contratado servicios de rociado con 2, 4-D, sobre una base reiterativa y bien difundida. Los agricultores han colaborado sembrando la tierra infestada con plantas que toleran el 2, 4-D, y permitiendo el rociado de estas tierras. En las zonas infestadas, el rendimiento del maíz rara vez resulta afectado por *S. lutea* después de tres años consecutivos de empleo del 2, 4-D; sin embargo, en el suelo queda semilla suficiente de la planta para que ésta reinfeste con rapidez los campos si se abandonan las prácticas para combatirla.

Aunque *Striga lutea* no ataca, como parásito, cultivos tales como: algodón, soya, maní y camote, crece a expensas de plantas nocivas que infestan dichos cultivos. Puesto que no hay herbicidas disponibles para combatir directamente *S. lutea* en estos cultivos, el control más eficaz ha consistido en la prevención del establecimiento de plantas huésped, tales como *Digitaria* spp. Muchos cultivos no huéspedes (llamados cultivos trampa) producen el estimulante que se necesita para que germine la semilla de *S. lutea*. Como resultado de ello, dichas semillas

germinan el suelo, pero las plántulas mueren muy pronto debido a falta de una planta huésped.

Al parecer, una forma práctica de proceder a la erradicación de *S. lutea* sería la de combatirla por completo en toda la tierra de las zonas infestadas. Un programa como éste exige que se combata esta planta en las riberas de canales y acequias, campos en barbecho, a la vera de caminos, al final de los surcos, en cercas y setos vivos, y en todos los cultivos. Sin embargo, un programa de este alcance requiere la colaboración de todos los terratenientes.

El programa de erradicación de *S. lutea* ha incluido una campaña de adiestramiento, en cooperación con los organismos federales, estatales y locales, y en él se han utilizado todos los medios de comunicación conocidos. Inspectores que dedican todo su tiempo al control de la plaga, que han sido asignados a las zonas infestadas, mantienen informados a los agricultores acerca de los reglamentos de cuarentenas, les dan a conocer los métodos de control que se deben aplicar antes de transportar productos del campo, y disponen programas de control para cada una de las explotaciones agrícolas infestadas.

La efectividad del programa de erradicación de *S. lutea* se debió a los primeros estudios hechos en los Estados de Carolina del Norte y del Sur y de otros más. Aunque estos estudios prosiguen, para localizar nuevas infestaciones que se produzcan en la zona problema originalmente señalada, no se han encontrado infestaciones fuera de los estados de Carolina del Norte y del Sur.

6.11.1 *Convolvulus arvensis*

Convolvulus arvensis es una planta nociva perenne agresiva y de raíz profunda que se encuentra en zonas templadas en todo el mundo. Es una plaga grave en el centro y el oeste de Estados Unidos y un problema apreciable en algunas otras regiones. *C. arvensis* ha sido considerada planta nociva o prohibida por leyes estatales en materia de semillas, en mayor proporción que cualquier otra planta nociva, salvo *Cuscuta* ssp. Contribuyen a su nocividad la capacidad de esta planta para tolerar climas desfavorables, su persistencia en condiciones normales de cultivo y el hecho de que la semilla puede permanecer viable en el suelo por espacio de 30 ó más años.

La investigación para el control de *C. arvensis* se emprendió a principios de este siglo, y fue ampliándose hasta mediada la cuarta década del mismo. La legislación ha proporcionado medios que han alentado la lucha contra las poblaciones ya establecidas de *C. arvensis* y para disminuir su difusión. Una intensa investigación en los Estados de las Grandes Llanuras llevó al establecimiento de varios programas de control basados en prácticas de cultivo.

El sistema más utilizado consiste en alternar periodos de cultivo intensivo con el de cosechas de cereales pequeños densamente sembrados. La repetida eliminación de los brotes de *C. arvensis* por medio de labranza agota las reservas alimenticias de esta planta nociva y acaba por destruirla.

El costo de erradicar una infestación limitada se considera que es pequeña, si con esta acción se impide la propagación de la *C. arvensis* sobre campos enteros.

El empleo de agentes químicos esterilizadores del suelo comparativamente costosos se ha difundido muchísimo para este fin, sobre todo en las regiones más áridas.

El 2, 4-D controla con rapidez los brotes de *C. arvensis* y, en algunas explotaciones agrícolas de regiones húmedas, el uso persistente del herbicida ha logrado el casi completo exterminio de la planta nociva. Si se le combina con labores intensas de escarda y con el cultivo de plantas competidoras, el 2, 4-D es un instrumento maravilloso contra *C. arvensis*. Sin embargo, en regiones áridas este agente químico es menos eficaz.

El control de *C. arvensis* se complica debido al continuo brote de plántulas muchos años después de que se ha eliminado la primera población. Para librar de semillas un área infestada, se pueden requerir treinta o más años de seguir un programa efectivo de manejo de las tierras de cultivo.

Los cultivos anuales vigorosos densamente sembrados pueden competir con *Convolvulus arvensis* en germinación e impiden el establecimiento de esta última planta como perenne. Poblaciones ralas o surcos sin plantas entre la población de un cultivo permiten que las plántulas de *C. arvensis* se establezcan con rapidez.

Por lo tanto, para frenar el establecimiento de estas plántulas, se pueden requerir periodos de intensas labores de escarda y alguna temporada de barbecho estival entre cultivos anuales. Por fortuna, las plántulas son muy susceptibles a la acción de varios herbicidas, en especial a la del 2, 4-D. Algunas de las labores de escarda se pueden sustituir con el empleo de este agente químico, al que también se puede utilizar para combatir las plantas que brotan en una población rala o en un cultivo que tolere el herbicida.

6.11.2 *Alhagi camelorum*

Antes de la era de los herbicidas modernos, la agricultura de California se vio amenazada por la invasión de *Alhagi camelorum* una planta perenne con sistema radical que penetra profundamente y se esparce mucho lateralmente. Poco después de este descubrimiento, los diversos cultivadores reconocieron que estaban frente a una planta nociva muy tenaz.

El primer intento de control que se efectuó en California fue en el otoño de 1923, en el condado de Riverside. La inutilidad de la labranza profunda se manifestó cuando el Condado informó que los costos del programa de 1926 para una extensión de 32 hectáreas habían sumado un total de 16,000 dólares. Durante el mismo año, en el Condado Imperial se hicieron experimentos con la inundación de tierras, y en 1927 se logró eliminar parcialmente esta planta nociva en una extensión de prueba, utilizando como fumigante del suelo bisulfuro de carbono. Al año siguiente se ensayó el uso de compuestos de arsénico. El exorbitante del control se evidenció en 1929, cuando el condado de Riverside informó

haber gastado 27,624 dólares en cultivo y empleo de bisulfuro de carbono en un área pequeña. Como resultado de ello, en 1931 la legislatura estatal declaró que el *A. camelorum* era un daño público y promulgó una ley que proporcionaba ayuda económica, sobre la base de compartir gastos, a los condados que procurasen erradicar esta planta.

Especialistas en el control de plantas nocivas, del Departamento de Agricultura de California, idearon medidas eficaces de cuarentena y para combatir esta planta, con lo que se aceleró en gran manera el proceso de erradicación. El programa ha abarcado cuatro décadas, comprendiendo a otras muchas plantas nocivas que eran una grave amenaza, y al parecer su ritmo ha aumentado la producción de herbicidas modernas y la creación de procedimientos más eficaces de control. Hubo una época en que las infestaciones afectaban a doce condados y centenares de hectáreas de valiosa tierra de cultivo; hoy sólo afectan a cinco condados y a una extensión total de dos hectáreas y media.

6.12 Organización del control de plantas nocivas

Actualmente, la mayoría de los problemas que plantean las plantas nocivas ataca a base de cualquier acción que sea necesaria, destinada a que permita el uso económico de un área dada de tierra en un futuro inmediato. Salvo algunas notables excepciones, todavía están por lograrse las ventajas a largo plazo que han de derivarse de la adopción de sistemas globales en el control de plantas nocivas. El avance hacia la adopción de sistemas de control dependerá del reconocimiento de la oportunidad y la necesidad de estos sistemas por parte de los

profesionales de los organismos públicos y privados, y también por parte de los terratenientes progresistas. Su ejecución dependerá del grado en que dichos terratenientes, administradores y organizaciones interesadas diversas exijan y apoyen la divulgación de conocimientos, y muestren su buena disposición para aceptar las medidas que se necesitan para establecer y llevar a la práctica los sistemas de control.

En algunos casos está cerca la adopción de un sistema determinado de control de plantas nocivas: se tienen ya los conocimientos necesarios, se ha reconocido la necesidad, y se cuenta con la organización y los recursos para que tal labor se efectúe. En otros casos, una apreciable falta de comprensión de la necesidad, o la falta de recursos, de conocimientos o de una organización que coordine los esfuerzos impiden la aplicación de un programa sistemático para atacar un problema de plantas nocivas. Siempre que el éxito parezca improbable, se deberán evitar los intentos para iniciar un sistema de control, puesto que los fracasos sólo pueden dar resultado la desilusión, y disminuirán las posibilidades de futuros éxitos.

La decisión de iniciar un programa de control se toma con más rapidez cuando se descubre una plaga nueva e impresionante, como la de *Striga lutea*, o cuando una determinada planta nociva crea dificultades extremas. Cuando el sistema de control se aplica a una sola unidad agrícola, entonces sólo es posible que se comprometa a efectuarlo el director o jefe de la explotación agrícola. Sin embargo, está bien claro que tratándose de una gran área tiene que haber algún mecanismo de coordinación que inicie y ponga en práctica un sistema de control. Se puede requerir la participación de organismos tanto gubernamentales

como ajenos al gobierno. Puede haber necesidad de promulgar leyes y hacerlas cumplir. Cuando mayor es el ámbito de un problema, tanto más intrincadas son las interacciones entre cuerpos legislativos, organismos públicos y privados, administradores de explotaciones agrícolas y tecnólogos.

La labor se ha limitado forzosamente a los organismos que parecían prometedores; 6) Los insectos que se emplean contra plantas nocivas, por fuerza deben ser muy específicos, mientras que muchos de los que se introducen contra las plagas de insectos son más generalizados en su dieta y, por lo tanto, menos aptos para ser altamente eficaces.

En una región, la existencia de enemigos que pueden atacar de forma eficaz a un insecto que se alimenta de plantas nocivas, también a veces es un grave obstáculo para que tenga éxito. Las polillas *Catabena esula* Druce y *Syngamia haemorrhoidalis* Guen., introducidas en Queensland para combatir Lantana al parecer, han sido sustancialmente contrarrestadas por la acción de enemigos nativos. Un extenso trabajo desarrollado en Victoria, Australia, ha demostrado que una rapaz local, *Harpobittacus nigriceps*, puede impedir el establecimiento de la polilla cinabrio, *Tyria jacobaeae*, para combatir *Senecio jacobaeae*

En ese informe, se han examinado varios factores relacionados con las probabilidades del control biológico efectivo. Se han tratado las diversas clases de plantas nocivas nativas y forrajeras, plantas nocivas de regiones cultivadas y sin cultivar, y también se han examinado plantas nocivas parásitas. En esta sección se estudian de forma exclusiva cuestiones más específicas, tales como la elección de agentes enemigos,

la agresividad de las plantas nocivas, el clima y la sincronización de las relaciones vivas, y el complejo de plantas competidoras y prácticas de cultivo de la tierra.

6.13 Elección de agentes enemigos

El factor principal para la eficacia del control biológico es la introducción de un buen agente enemigo. Existe controversia acerca de si es posible o deseable apreciar las cualidades de los candidatos a enemigos e introducir solo la mejor especie. Solo se puede decir que parece improbable que, en general, se puedan hacer estudios que aseguren la selección de la mejor especie para un medio ambiente distinto a aquellos con los que se hacen los estudios, aunque sería deseable excluir a todas las especies salvo la mejor. La experiencia también respalda la hipótesis de que cabe esperar un mayor exterminio si se introduce cierta diversidad de enemigos, siendo cada uno de ellos el más eficaz dentro de la esfera de su propia superioridad competitiva. Esto presupone que la competencia entre estos enemigos no disminuirá el grado de exterminio que se alcanzaría si solo se introdujera la mejor especie. En el historial del control biológico de plantas nocivas no se encuentra indicio de que un conjunto de enemigos sea perjudicial. Al parecer, los efectos de la interacción siempre son de naturaleza considerable

La eficiencia de un enemigo, introducida para combatir una planta dada, también está inherentemente relacionada con el "estrés" de los demás que se enfrentan a la planta nociva, debido a sus competidores directos. El juicio acerca de cuál es el "mejor" enemigo en un complejo de

vegetación, tendrá, pues, un significado limitado en otro complejo de vegetación. Por los resultados obtenidos en estudios realizados en una región endémica, no se puede deducir que exista esperanza respecto al rendimiento del enemigo cuando se encuentra en un nuevo entorno ambiental, puesto que el éxito de una planta nociva está marcadamente en función de su capacidad para competir con otras clases de plantas que pueden ser distintas por completo a las plantas con las que compiten en la región endémica. Aun en el caso de que las especies competidoras sean las mismas, la condición competitiva relativa de la planta nociva será diferente debido a muchas otras variables, y los requisitos del enemigo habrán de ser, correspondientemente, distintos.

Sin embargo, aunque no se pueda prejuzgar con mucha fiabilidad el potencial de un candidato, es posible valerse de la información ecológica que indique cuál habrá de ser la especie que se ponga primero a prueba, y cuál especie habrá de ser la que se introduzca si no resulta factible un programa que las incluya todas

Las cualidades que el insecto debe poseer para que sea un agente eficaz de control de una planta nociva incluyen: 1) capacidad para destruir la planta o para que, de modo directo o indirecto, impida su reproducción; 2) alta capacidad para propagarse con éxito y para que localice su planta huésped; 3) buena adaptación a la planta nociva huésped y a las condiciones del medio ambiente, en una máxima extensión del terreno infestado; y 4) capacidad de reproducción suficiente para que, sin demasiado retraso, sobrepase el aumento de su planta huésped cuando, por cualquier motivo, el control se interrumpa, como en el caso de que sobrevenga un estado desfavorable del tiempo.

Respecto a estas cualidades, en relación con los enemigos entomófagos naturales, los especialistas en control biológico consideran que aún no es posible predecir con toda confianza que tan efectivo será una especie entomófaga después de establecerse en un nuevo lugar. En la actualidad, esto se determina en forma práctica en el campo. Ni el comportamiento de la especie en el laboratorio, ni su función confirmada en su lugar de origen hacen posible la predicción de su efectividad en un nuevo entorno. De todos modos, a menudo se manifiestan ciertos indicios antes de la introducción. Por ejemplo: se puede ver la distinción entre la extensión superficial del lugar de origen ocupada por los distintos enemigos que intrínsecamente son capaces de mantener la planta huésped en una baja densidad de población (es decir, enemigos con altas capacidades de búsqueda) y aquellos cuyas capacidades de búsqueda son tales que sólo pueden sobrevivir donde es muy elevada la densidad de la planta huésped. Así pues, el enemigo que se encuentra con más facilidad y que es más común no es, por fuerza, el mejor. Puede ser común debido a que la población de la planta huésped ha aumentado por algún motivo. En verdad, podría decir que el mejor enemigo es un enemigo escaso.

6.14 Agresividad de la planta nociva

Las especies que constituyen plagas, que logran entrar en regiones nuevas y favorables, a menudo pasan a ser mucho más nocivas que en sus lugares de origen. Esto puede ser resultado de los siguientes factores:

1. Condiciones climatológicas y edificantes más favorables (en extensión, cuando no en calidad).

2. Menor competencia por otras especies vegetales
3. Prácticas agrícolas o de utilización menos restrictivas
4. Quizá el más importante, ausencia de enemigos que la ataquen en su lugar de origen.

El apaciguamiento excesivo y la consiguiente reducción en la competencia de las especies forrajeras han sido razones apreciables para la extensa propagación de *Salsola kali* en el oeste de Estados Unidos. En general, la ventaja competitiva de una planta nociva, como lo expresa su agresividad, no está muy relacionada con la perspectiva de que se le pueda encontrar un agente enemigo eficaz. En cambio, tiene mayor importancia: 1) si la planta nociva puede habitar en un rango ambiental mucho más amplio que la especie que es candidata a enemigo suyo; 2) si el medio ambiente favorece a la planta nociva o a su enemigo; y 3) la resistencia inherente de la planta nociva al enemigo o, dicho en otras palabras, la capacidad del enemigo para la destrucción de la planta nociva o sus semillas

La resistencia, la tolerancia o la capacidad de resistir el ataque del enemigo pueden asumir diversas formas, que incluyen: 1) capacidad inherente para rehacerse de la destrucción de los tejidos causada por organismos patógenos o los insectos que se alimentan de hojas, frutos, tallos o raíces; 2) mayor capacidad para multiplicarse más rápidamente que el agente atacante, incluso bajo el ataque más severo por el agente, y 3) mayor capacidad para dispersarse que la de la especie enemiga. Sin embargo, solo se necesita que el ataque del enemigo sea suficiente para que disminuya la condición competitiva de la planta nociva en el medio ambiente. En zonas de fuertes lluvias estivales, *Hypericum perforatum*

puede rehacerse con rapidez de la pérdida de follaje sufrida en la primavera por ataques de *Chrysolina* spp., mientras que rara vez se rehace en California, donde el verano es seco

Un enemigo no necesita un índice intrínseco de aumento más rápido que el de su planta huésped. Además de las pérdidas debidas a una miríada de "estrés" directos e indirectos, o sea la competencia, la planta huésped sufre destrucción directa por el enemigo. De todos modos, tal como sucede con *Tribulus terrestris* y los gorgojos *Microtarius*, en algunas partes de California, una planta nociva anual puede producir semillas a finales de otoño, después de que el enemigo haya dejado de atacarla y de reproducirse, atenuando así los efectos de la lucha.

6.15 Clima y sincronización de las relaciones de vida

En los climas más uniformes, el crecimiento y la fructificación de las plantas son casi continuos. En cualquier momento, los enemigos tienen oportunidades de atacar a todas las partes de la planta en diferentes fases de su desarrollo; no hay necesidad alguna de sincronización en las relaciones de vida entre planta e insecto. En condiciones extremas, o cuando de una temporada o estación a otra prevalecen estados del tiempo tajantemente variables, los enemigos se deben adaptar primero a los extremos de estas condiciones y, en segundo lugar, al modo especial en que la propia planta se ha ajustado a estas condiciones. Así pues, las mayores necesidades adaptativas pueden servir para que disminuya la efectividad de una especie destinada a combatir una planta nociva. A menudo, la forma eficiente del enemigo ha evolucionado formando dos

o más especies, cada una de ellas con una adaptación a condiciones particulares.

La discontinuidad de una condición esencial de la planta huésped puede disminuir, durante períodos críticos, la capacidad de supervivencia de un enemigo, y hacer que este último no pueda recuperar pronto su condición combativa cuando reaparezcan las condiciones favorables. Esta discontinuidad puede aparecer por temporadas, como el secamiento de las partes aéreas, la defoliación de las plantas perennes deciduas o la muerte de las anuales. También se pueden presentar condiciones extremas que no sean de estación o temporada

Salvo en casos extremos, los insectos fitófagos se han adaptado para hacer frente a los problemas evolutivos que les ha planteado la discontinuidad; muchos están bien adaptados a las condiciones físicas y a las relaciones específicas de vida con sus plantas huéspedes. Se ha estudiado ya la discontinuidad que plantean las plantas nocivas anuales y las que crecen en condiciones irregulares y molestas por labores de escarda

Las condiciones que llevan a combatir una especie anual incluyen: clima uniforme, que haga probable la continuidad; o la posesión por la especie enemiga de un medio para sobrevivir al periodo de ausencia de la planta nociva huésped; o la capacidad de utilizar huéspedes alternativos. La capacidad para sobrevivir a condiciones extremas y para reaparecer en gran número antes de que la planta nociva recupere su vigor es una cualidad notable del agente enemigo. Puede constituir una ventaja la presencia de condiciones de "estrés" para la planta huésped. En

Queensland, Australia, el chinche de la hoja, *Teleonemia scrupulosa*, ejerce un apreciable efecto combativo en la lantana debilitada por la sequía, en contraste con sus efectos en plantas sanas.

6.15.1 Plantas competidoras y prácticas agrícolas

La capacidad respectiva de otras clases de plantas del medio ambiente, para suprimir una planta nociva debilitada por un enemigo, determinará el grado de exterminio biológico logrado y también la naturaleza de la vegetación de reem-plazo. Si bajo los cuidados agrícolas, otras plantas nocivas tienen superioridad competitiva sobre las especies forrajeras, el control biológico solo puede ocasionar la sustitución de una planta nociva por otra, que quizá sea peor. Esta posibilidad existe cualquiera que sea el tipo de control que se emplee. Tampoco hay motivo alguno para esperar que esto sea lo que siempre suceda, o habrá de suceder, en todo el terreno afectado.

La vegetación de reemplazo, que se puede esperar en un medio agostadero o pastizal, será pasto, a menos que las prácticas agrícolas alienten la aparición de otras plantas nocivas; en medios de arbusto o bosque, será arbusto o árboles, a menos que las prácticas agrícolas cambien esta tendencia a favor de las especies forrajeras. Así pues, la sustitución con especies herbáceas no es resultado de un programa eficaz de control biológico

Casi siempre, un entorno ambiental del que no se ha abusado y que posee plantas deseables competidoras se beneficiará con la supresión de una planta agresiva por medio de control biológico, mucho más de lo que se

beneficiaría un entorno del que se ha abusado y que ya no puede mantener especies forrajeras.

BIBLIOGRAFÍAS

- Auld, B. A. (1997). Criterios económicos para el desarrollo del manejo de malezas. En *Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Bombelli, E. C. (2011). *Modelado para la predicción de enfermedades en cultivos de alto valor comercial* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Nacional]. edUTecNe.
- Contreras Zanessi, O., & Calderón, F. (s.f.). *Monitoreo de cultivos mediante el uso de sensores remotos montados en drones*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Control biológico*. (s.f.). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 16 de julio de 2024, de https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Control_biológico&oldid=167285490
- Corteva Agriscience. (s.f.). *Mecanismos de Acción de los Herbicidas*.
- Cruz Román, J., Lema Palaquibay, L., Carrasco López, D., & Román Santamaría, E. (2023). Modelos de nicho ecológico aplicados a invasiones biológicas: el caso de *Cirsium vulgare* Savi Ten. a través de los continentes. *Sur Academia: Revista Académica Investigativa*, 10(20), 27-42. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/suracademia/index>

de la Cruz, R. (s.f.). *La alelopatía en el manejo de malezas* [Material didáctico, Curso de Malezas]. CATIE.

Deiss, F. (s.f.). *Control biológico de plagas: guía para principiantes*. CABI BioProtection Portal.

Flor Benítez, S. N., Santacruz Ramírez, B. G., & Almeida Delgado, C. D. (2024). *Diagnóstico de enfermedades en hojas de soja mediante redes neuronales convolucionales y visión artificial* [Trabajo Final de Grado no publicado]. Universidad Nacional del Este.

Labrada, R. (1997). Problemas relacionados con el desarrollo del manejo de malezas en el mundo en desarrollo. En *Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Méndez, V. (2010, febrero). La ecuación de las plantas invasoras. *UABDivulga*.

Mortimer, M. (1997). La necesidad de los estudios sobre ecología de malezas para mejorar el manejo de malezas. En *Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1997). *Consulta de Expertos en Ecología y Manejo de Malezas*.

- Salas V., M. (2023). *Optimización del uso de plaguicidas sintéticos* (Ficha 8). GIZ Costa Rica.
- Santiana Espín, C. G., Campoverde Santos, D. K., & Cabezas Oviedo, N. I. (2025). *Optimización de procesos agroindustriales*. Editorial InvestiGo.
- Sgargi, C. (2024, 19 de septiembre). *DSS – Sistemas de Soporte a la Decisión*. Agriculus.
- Shine, C., Williams, N., & Gündling, L. (2000). *Guía para la elaboración de marcos jurídicos e institucionales relativos a las especies exóticas invasoras* (UICN Serie de Política y Derecho Ambiental N°40). UICN.
- Siche, R., & Siche, N. (2023). El modelo de lenguaje basado en inteligencia artificial sensible - ChatGPT: Análisis bibliométrico y posibles usos en la agricultura y pecuaria. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 111-116.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.010>



Optimización y algoritmos para el combate sostenible de plantas nocivas teoría aplicaciones y simulaciones, se publicó en el mes de diciembre de 2025.

ISBN: 978-9907-0-0490-8

**Grupo Editorial BLR
Ecuador
Cel: +593 98 320 4362
<https://grupoblrl.com/>
publicaciones@grupoblrl.com**

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

Deysi Margoth Guanga Chunata CAMBIAR:

Paola Estefanía Albán Trujillo, graduada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo como Ingeniera en Marketing, Magister en Marketing y en Gestión de Proyectos. He realizado seminarios, cursos y talleres pertinentes y de trascendencia nacional e internacional. Docente investigadora en la Universidad Estatal De Bolívar.

Isidro Favian Bayas Morejón:

Ingeniero Agroindustrial y Magíster en Agroindustrias con mención en Seguridad Alimentaria. Se desempeña como técnico de laboratorio e investigadora en la Universidad Estatal de Bolívar, con experiencia en docencia, proyectos de investigación y publicaciones científicas en el área agroindustrial y microbiológica

Rosa Angélica Tigre León:

Ingeniera Agroindustrial y Magíster en Agroindustrias con mención en Seguridad Alimentaria. Se desempeña como técnico de laboratorio e investigadora en la Universidad Estatal de Bolívar, con experiencia en docencia, proyectos de investigación y publicaciones científicas en el área agroindustrial y microbiológica.

MÉTODO HIIT EN EL ÍNDICE DE MASA CORPORAL EN ADOLESCENTES

Estimado lector, el texto define las plantas nocivas o malezas desde un punto de vista económico como aquellas que disminuyen la rentabilidad agrícola. A nivel global, el control de malezas impulsa un uso masivo de herbicidas, que representan el 47.5% de los 4.6 millones de toneladas de pesticidas aplicados anualmente, lo que genera importantes daños ambientales y riesgos para la salud humana.

El impacto económico de estas plantas se traduce en costos de control, reducción de la producción y la propagación de plagas y enfermedades. La solución propuesta no es eliminar los químicos, sino optimizar su uso de manera selectiva y racional, migrando hacia la agricultura de precisión y el Manejo Integrado de Malezas (MIM). Este enfoque se apoya en tecnologías de monitoreo y modelos predictivos para desarrollar estrategias de control más eficientes y sostenibles, con ejemplos aplicados en Ecuador.

Aunque indeseables y perjudiciales al competir con cultivos o ser venenosas, el texto también señala que las plantas nocivas poseen beneficios atenuantes, como disminuir la erosión del suelo, enriquecer la materia orgánica y proporcionar refugio para la fauna, sirviendo como reservorio de plasma germinativo. Se concluye que el desafío radica en mejorar los métodos de control sin dejar de considerar los posibles beneficios que estas plantas aportan.

Agradecemos a todos los lectores que se acercan a esta obra con ánimo de aprender, aplicar y transformar.



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

ISBN: 978-9907-0-0490-8

