

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/32924635>

Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz.

Article

Source: OAI

CITATIONS

0

READS

3,833

1 author:



Bernal E. Valverde

Research and Development in Tropical Agriculture / Investigación y Desarrollo en Agricultura Tropical

46 PUBLICATIONS 803 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



crop and weed adapt the agriculture ecosystem [View project](#)

Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*

Bernal E. Valverde¹

The Royal Veterinary and Agricultural University
Department of Agricultural Sciences (Weed Science)
Thorvaldsensvej 40, DK-1871 Frederiksberg C, Denmark

Charles R. Riches

Natural Resources Institute
University of Greenwich
Chatham Maritime, Chatham, Kent ME4 4TB, UK

John C. Caseley

Department of Agricultural Sciences, University of Bristol
Institute of Arable Crops Research, Long Ashton Research Station
Bristol BS41 9AF, UK

2000

¹La investigación que permitió escribir este libro se realizó cuando el autor era malherbólogo en la Unidad de Fitoprotección del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 07170, Costa Rica

632.95

V135h Valverde, Bernal E.

Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en Centro América con *Echinochloa colona* / Bernal E. Valverde; Charles R. Riches y John C. Caseley; traducción del inglés por Bernal E. Valverde. – 1a. ed. – San José, C. R. : Cámara de Insumos Agropecuarios, 2000.

xx , 136 p. : il. : 21 cm.

Incluye índice.

ISBN: 9968-9951-1-8

1. HERBICIDAS - RESISTENCIA. 2. HERBICIDAS - ARROZ. I. Riches, Charles R. II. Caseley, John C. III. Título.

© Cámara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica.

Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos –u otros de índole no comercial– siempre que se cite la fuente. Se prohíbe expresamente la reproducción total o parcial para distribución general o promoción, para la creación de nuevas obras o para reventa, sin la debida autorización escrita de la Cámara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica. Los derechos para la distribución electrónica del libro pertenecen a los autores.

Diseño de portada y diagramación: Aída E. Cascante, San José, Costa Rica.

Coordinación y supervisión de traducción al español: Bernal E. Valverde, co-autor.

Asesoría editorial y lingüística: Teresa Oñoro, San José, Costa Rica.

Impreso y empastado por Grafos S. A., Cartago, Costa Rica.

Contenido

Preámbulo

(Pedro Ferreira) vii

Prefacio

(Bernal E. Valverde, Charles R. Riches y John C. Caseley) xi

Introducción

(Albert J. Fischer) xvii

Capítulo 1

Resistencia a herbicidas en las plantas	1
Casos de resistencia a herbicidas	2
Por qué evoluciona la resistencia	6
Diseminación de la resistencia	7
Mecanismos de resistencia	8
Modo de acción de los herbicidas utilizados en el control de especies de <i>Echinochloa</i> en arroz y sus mecanismos de resistencia	12

Capítulo 2

Biología y ecología de <i>Echinochloa colona</i>	21
Distribución	23
Hábitat	24
Crecimiento, desarrollo y reproducción	25

Capítulo 3

Resistencia a herbicidas en *Echinochloa colona*:

recuento, distribución e importancia	27
Malezas resistentes a herbicidas en arroz	27
Distribución e importancia de <i>E.colona</i> resistente a herbicidas en América Central	33
Resistencia a herbicidas en otras especies de <i>Echinochloa</i>	38
Cómo diagnosticar la resistencia a herbicidas en <i>E.colona</i>	40
Determinación de la RC_{50} con base en la curva de respuesta a dosis crecientes	44

Capítulo 4

Detección de resistencia a herbicidas

en poblaciones de <i>E. colona</i>	47
Importancia del diagnóstico apropiado	47
El análisis de la planta entera	48
Pruebas rápidas	53
Resultados típicos	57
Equipo requerido	58
Información importante sobre seguridad	59

Capítulo 5

Manejo de resistencia a herbicidas en <i>Echinochloa colona</i>	61
Prevención de la evolución de resistencia a herbicidas	61
Manejo de poblaciones resistentes	64

Capítulo 6

E. colona resistente a propanil: la perspectiva

de dos productores costarricenses	87
<i>E. colona</i> como maleza problemática en arroz de secano	87
<i>E. colona</i> como maleza problemática en arroz de riego	92

Capítulo 7

El papel de la industria de los agroquímicos en la prevención y manejo

de la resistencia a herbicidas	99
El Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas	100
La perspectiva de la industria	102
Manejo de la resistencia a herbicidas	104
Proyectos apoyados por HRAC	106
El futuro de HRAC	108
Conclusiones	110

Epílogo

Pasos claves para el manejo sostenible de la resistencia	111
---	-----

Literatura citada	115
--------------------------	-----

Índice de materias	129
---------------------------	-----

Preámbulo

El arroz es el principal cultivo de valor alimenticio en el mundo, así como un cereal de mucha importancia en América Latina. Para satisfacer las necesidades de una población en constante crecimiento, la producción de este grano deberá incrementarse alrededor de un 30% durante los próximos 25 años.

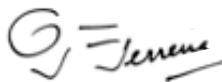
Las malezas constituyen una de las principales limitantes para el cultivo, especialmente en el arroz de secano y de riego en América Central y el Caribe. Entre las malezas más importantes asociadas con el arroz, *Echinochloa colona* se considera como la principal maleza gramínea, por su amplia distribución, habilidad competitiva y, más recientemente, por el desarrollo de resistencia a varios herbicidas.

La misión del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es apoyar y promover la investigación, la educación y la transferencia de tecnología conducentes a la producción sostenible de cultivos y al empleo racional de insumos agrícolas en la América tropical. El CATIE tiene una amplia tradición en el desarrollo del manejo integrado de plagas, estrategia que permite la producción de cultivos con un mínimo impacto negativo sobre el ambiente.

Durante seis años, el CATIE coordinó el proyecto de investigación en *Manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz*, financiado por el *Department for International Development's (DFID) Crop Protection Programme* del Reino Unido, bajo el liderazgo de nuestro malherbólogo, Dr. Bernal E. Valverde. El éxito del Proyecto se tradujo en logros significativos de investigación presentados a la comunidad científica mediante artículos en revistas de prestigio,

ponencias en congresos y cursos cortos, así como en el fortalecimiento de la colaboración internacional entre el CATIE, instituciones nacionales en México y Bolivia y donantes internacionales. Pero aún más importante es el hecho de que los resultados de investigación y los nuevos conocimientos generados por el Proyecto se hayan plasmado en opciones viables para que los productores de arroz de América Latina puedan manejar mejor a *E. colona* para prevenir la diseminación y el desarrollo de resistencia a los herbicidas. Gracias a la realización de seminarios, la producción de materiales impresos, las visitas de campo y la realización de un taller regional, se ha acrecentado el grado de conciencia entre productores y técnicos en relación con la resistencia de malezas a herbicidas en arroz.

Por tanto, para el CATIE es muy satisfactorio entregar a los agentes de extensión y asesores de campo, estudiantes, investigadores y, especialmente, a los productores de arroz, este libro, que representa una síntesis de los resultados de la investigación y experiencia derivadas de la fértil interacción entre nuestros investigadores y los de dos prestigiosas instituciones británicas, *Long Ashton Research Station* y *Natural Resources Institute*.



Pedro Ferreira
Director General
CATIE
Turrialba, Costa Rica

*A la memoria de Erick Vargas,
estudiante, colega
y amigo entrañable.*

Prefacio

En la mayor parte de América Central, el arroz se produce bajo sistemas mecanizados y los arroceros, cualquiera sea el tamaño de sus fincas, se han vuelto dependientes de los herbicidas para el control de malezas. La graminea anual *Echinochloa colona* (L.) Link es una maleza dominante y casi omnipresente, en especial en los sistemas de siembra directa con preparación del suelo en seco, utilizados en la mayoría de las zonas arroceras de México, Nicaragua, Costa Rica y Panamá. La introducción y adopción casi universal del propanil, herbicida selectivo post-emergente, a principios de la década de los 60, proveyó a los agricultores de una herramienta relativamente barata y confiable para el control de *E. colona* y otras malezas importantes. Dependiendo de la localidad, la frecuencia de siembra del cultivo y el uso de otros herbicidas, con el propanil los arroceros mantuvieron un control de malezas exitoso durante 10 a 15 años, sin verse en la necesidad de cambiar el sistema. Sin embargo, paulatinamente comenzaron a notar que *E. colona* no respondía al herbicida en la forma que ellos esperaban. Con base en lo que se conoce sobre los sistemas de control de malezas en otras partes del mundo, sabemos que los agricultores estaban experimentando la evolución de resistencia a propanil debido a la intensa presión de selección impuesta por el uso regular del herbicida en la producción continua o casi continua de arroz. Pero por lo general, este tipo de información no ha estado a disposición de los arroceros de la región y las fallas en el control de la maleza se han atribuido más bien a cambios en las condiciones climatológicas, a formulaciones inconsistentes o poco confiables del producto y a otros factores locales.

Después de que se informaron fallas en el control de *E. colona*, la resistencia a propanil en poblaciones de esta especie fue confirmada por primera

vez en Costa Rica en 1988-89, por el estudiante Jorge Garro y su tutor, Ramiro de la Cruz, quien percibió que podría tratarse de un problema más extendido. Bajo su iniciativa, en 1992 se inició un trabajo de investigación conjunta con centros de investigación del Reino Unido para definir la importancia del problema y desarrollar estrategias de manejo. La investigación de campo en América Central fue coordinada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica, bajo el liderazgo de Bernal E. Valverde, coautor de este libro. En *IACR-Long Ashton Research Station* (LARS), Reino Unido, se llevaron a cabo estudios de apoyo de invernadero y laboratorio sobre los mecanismos de resistencia y posibles métodos mejorados de control químico en colaboración con los otros coautores, John C. Caseley (LARS) y Charles R. Riches del *Natural Resources Institute* (NRI). El trabajo coordinado de investigación realizado entre el CATIE y LARS fue financiado por el *United Kingdom Department for International Development's (DFID) Crop Protection Programme*; sin embargo, el DFID no asume responsabilidad por la información provista o los puntos de vista expresados. El *DFID Crop Protection Programme* también financió generosamente la preparación del libro y su publicación simultánea en inglés y en español.

El contacto regular con agricultores, agentes de extensión, proveedores de agroquímicos y otros investigadores nos ha confirmado reiteradamente que el uso continuo de propanil a dosis cada vez mayores, a pesar de las fallas en el control, se ha debido a la falta de conocimiento del sector arrocero acerca del desarrollo y manejo de la resistencia. Por lo tanto, esperamos que este libro ayude a solventar esa deficiencia y a satisfacer la necesidad regional de información actualizada en español y en inglés. Nuestro principal interés es ofrecer a la comunidad agrícola suficientes antecedentes técnicos acerca de por qué la resistencia constituye una amenaza y esbozar algunas medidas prácticas que pueden adoptarse para controlar con éxito las poblaciones de malezas resistentes a herbicidas. Estas medidas se basan en los resultados de nuestra propia investigación de invernadero y en los campos de agricultores de arroz de secano y de riego. A medida que los agricultores han tenido que usar dosis más altas y aplicar el propanil con más frecuencia y conforme *E. colona* se ha vuelto más difícil de eliminar,

los costos de control de malezas también han aumentado. Si aspiramos a que la producción de arroz en América Central siga siendo competitiva con respecto a las importaciones, es indispensable que los agricultores sean cada vez más eficientes, por lo que el manejo de la resistencia a herbicidas tendrá que ocupar un lugar prominente en las decisiones sobre control de malezas. Creemos que las herramientas químicas y culturales necesarias para el control exitoso y económico de *E. colona* están a nuestra disposición. Por otra parte, es imprescindible que la industria se mantenga vigilante sobre el desarrollo de resistencia en otras malezas, aunque consideramos que si se adopta un enfoque integrado de control, basado en sólidos principios de manejo de resistencia, será posible evitar el aumento de los casos.

Muchas personas participaron en los estudios que hicieron posible la preparación de este libro. En particular, agradecemos la contribución del *equipo Echinochloa* del grupo de Malherbología del CATIE, por su dedicación y su sobresaliente contribución en la investigación, diseminación de información y alerta de agricultores sobre la resistencia a herbicidas: Israel Garita, Lilliana Chaves (quien elaboró la mayor parte del Capítulo 2 de este libro), Luis Alfonso Chacón, Erick Vargas (q.e.p.d.), Fernando Ramírez, Jesús Carmiol, Manuel Zamora, Seidy Salas, Theresa White, Luis Jiménez y Guido Sanabria. En distintas oportunidades, el resto del grupo de Malherbología, dedicado principalmente a la investigación sobre el manejo integrado de la caminadora (*Rottboellia cochinchinensis*), nos apoyó cuando el volumen de trabajo rebasaba nuestras capacidades; agradecemos por ello a Carlos Enrique Rojas, Arnoldo Merayo, José Francisco Fonseca y Tom Alvarez. Nuestro colega Philip Shannon hizo aportes sustanciales a las discusiones que nos condujeron a un mejor entendimiento de los problemas de resistencia, manejó los aspectos financieros y administrativos de los proyectos de investigación y sirvió de enlace con el NRI. También deseamos agradecer a nuestra secretaria, Ghiselle Alvarado, por su apoyo en el manejo diario de los aspectos logísticos de la investigación en el CATIE, y a otros compañeros y amigos por su valiosa ayuda, en especial Ricardo Campos, Antonio Salas y Miguel Sanabria.

En LARS agradecemos el importante aporte de John Leah, quien caracterizó el mecanismo responsable de la resistencia a propanil en *E. colona*. Vivian Down, Eva Haas, Do-Soon Kim, Cathy Palgrave, Jacky Summers y Barbara Walton llevaron a cabo muchos experimentos con herbicidas y desarrollaron pruebas rápidas de resistencia. También agradecemos la labor del personal de los invernaderos de LARS, liderado por Bob Hughes, que propagó miles de macetas de *E. colona* sin las cuales habría sido imposible ejecutar nuestra investigación.

En nuestros viajes y en la ejecución de los trabajos de investigación en la región tuvimos la fortuna de contar con excelentes colaboradores, como Andrés Bolaños, en México. En Bolivia contamos con el apoyo de Antonio Claros, Magaly Bustamante y Pablo Franco. Muchos colegas, amigos y agricultores nos ayudaron a realizar arreglos de viaje, ubicar agricultores y arrozales y obtener información. Aunque el grupo es muy numeroso, nos gustaría mencionar en particular el apoyo de Gustavo Torres en México, Miguel Bolaños y Denis Hernández en Nicaragua, y Octavio Almario y Guillermo Torrado en Colombia. Albert Fischer, en aquel momento especialista en malherbología del CIAT, Colombia, compartió generosamente con nosotros muestras de semillas y su valiosa experiencia de campo.

El contacto con los agricultores ha sido una de las mayores satisfacciones de nuestro trabajo, por su disposición a ayudarnos y, en especial, por su apertura para discutir los problemas agronómicos y de manejo de malezas y para enseñarnos acerca de ellos. Agradecemos muy sinceramente la colaboración de los señores Miguel Guadamuz (q.e.p.d.), Randolph Lutz, Rodolfo Kopper, Tranquilino Valverde, Mario Valverde, Néstor Zúñiga y Hernán Rodríguez, arroceros en cuyas fincas se hizo la investigación. Los dos últimos contribuyeron a la elaboración del Capítulo 6 de este libro; otro arrocero, el Sr. Antonio Sibaja, en muchas ocasiones proporcionó equipo agrícola. El Sr. Manuel Carrera, consultor privado, colaboró con información histórica sobre las prácticas de producción de arroz y de manejo de malezas en arroz irrigado para el Capítulo 6.

Nuestro trabajo también se benefició con el apoyo de varias compañías de agroquímicos. Rohm and Hass proporcionó propanil radioactivo, el cual fue indispensable para el trabajo sobre el mecanismo de resistencia. También agradecemos a las siguientes compañías por proveernos de productos herbicidas formulados y técnicos para nuestros trabajos de laboratorio y campo: AgroPro (distribuidor de productos de Rohm and Haas en América Central), AgrEvo (ahora Aventis), Bayer, CAFESA, Distribuidora Agrocomercial de Grecia (Costa Rica), Dow AgroSciences, DuWest, Kumiai, LG Chem, Novartis, y Zeneca. La Cámara de Insumos Agropecuarios de Costa Rica asumió la distribución de este libro y su posible reimpresión. Peter Boutsalis (Novartis Crop Protection, Basilea, Suiza) y Helmut Walter (BASF AG, Agricultural Center, Limburgerhof, Alemania) contribuyeron con el Capítulo 7 en nombre del Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas (HRAC).

Por último, los autores desean expresar su gratitud a quienes proporcionaron datos sin publicar o *en prensa* sobre la resistencia de malezas a herbicidas en arroz y otra información pertinente: Octavio Almario (AgrEvo, S. A., Colombia), Michael Carriere (University of California at Davis, EE.UU.), Isabel M. Calha (Direcção-Geral de Protecção das Culturas, Portugal), Jean-Pierre Claude (DuPont de Nemours, Francia), Gustavo Cobo (Compañía Molinera San Cristóbal, Chile), Diego Gómez de Barreda (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España), Klaus Grossmann (BASF, Alemania), Bob Harris (Aventis, Australia), James E. Hill (International Rice Research Institute, Filipinas), Itoh Kazuyuki (National Institute of Agro-Environmental Sciences - NIAES, Japón), Chanya Maneechote (Department of Agriculture, Tailandia), Buddhi Marambe (University of Peradeniya, Sri Lanka), Valmir Menezes (Instituto Riograndense do Arroz - IRGA, Brasil), Jose Alberto Noldin (Epagri-Estação Experimental de Itajai, Brasil), Aida Ortiz (Universidad Central de Venezuela, Venezuela), Arturo Rangel Muñoz (Agropecuaria Internacional, S. A. de C. V., México), Dearl Sanders (Louisiana State University, EE.UU.), Maurizio Sattin (Centro Biologia e Controllo Pianta Infestanti - CNR, Italia), Oskar Schmidt (BASF, Alemania), Joe Street (Mississippi State University, EE.UU.) y Helmut Walter (BASF, Alemania).

Bernal Valverde agradece a J. C. Streibig (The Royal Veterinary and Agricultural University, Dinamarca) el haberle proporcionado un ambiente de trabajo muy favorable para completar este libro.

Bernal E. Valverde, Charles R. Riches y John C. Caseley

Enero del 2000

La mención de nombres comerciales de herbicidas no implica recomendación de uso o preferencia por un producto en particular por parte de los autores, en detrimento de otros que contengan el mismo ingrediente activo. El nombre comercial de los productos se usó únicamente con propósitos ilustrativos cuando los autores lo consideraron apropiado y sólo con el fin de facilitar la comprensión por parte del lector.

Introducción

El arroz es uno de los principales cultivos en el mundo, pues alimenta a un tercio de la población mundial, a la que le proporciona casi las dos terceras partes de sus requerimientos alimenticios. En gran medida, el incremento en la producción del grano ha permitido sustentar un número cada vez mayor de habitantes del planeta, pero dado que hay muy pocas posibilidades de ampliar las áreas de siembra, sólo con un aumento en la productividad se podrá satisfacer la demanda futura (Labrada 1996)¹. En los sistemas intensivos de cultivo que utiliza la agricultura actual, las malezas se han convertido en una de las principales plagas del arroz y, posiblemente, en la mayor limitante de la producción.

En el arroz de transplante, la inundación ha sido una herramienta muy poderosa para suprimir las malezas. Sin embargo, la proliferación de muchas especies acuáticas de malezas adaptadas a este sistema y la tendencia actual hacia la producción mediante siembra directa, han incrementado la demanda de insumos adicionales para el control de malezas en arroz de riego. En América Latina, la mayor parte del arroz de riego es de siembra directa, ya sea sobre terreno preparado en seco o en suelos fangueados en los que se emplea semilla pregerminada. En las etapas iniciales de crecimiento del cultivo, antes de que se pueda inundar para controlar las malezas, los agricultores deben lidiar con el prolífico crecimiento de estas especies. El uso exitoso de la inundación para suprimir las malezas se basa en la nivelación precisa de los terrenos y en el control del agua, dos requisitos difíciles de satisfacer en las áreas irrigadas de arroz de América Latina.

¹ Labrada, R. 1996. Weed control in rice. Pages 3-5 *in* B.A. Auld and K.-U. Kim, eds. *Weed Management in Rice*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

El arroz con riego pero sin inundación permanente constituye un ambiente ideal para el crecimiento agresivo de malezas. Esta situación también es común en el arroz de secano favorecido, el que se siembra en forma extensiva en América Central y en ciertas áreas de América del Sur. El arroz de riego y de secano favorecido se cultiva sobre todo en suelos pobremente drenados, que por lo general no son aptos para la siembra de cultivos en rotación. Por lo tanto, el arroz se siembra con frecuencia en forma continua en las mismas tierras, práctica que exagera aún más los problemas de malezas. En el arroz de secano, que ocupa las áreas de producción más extensas en América Latina, el agua es escasa y los arroceros tienen que luchar con las malezas que consumen la poca humedad disponible en el suelo en etapas críticas del crecimiento del cultivo.

Los productores de arroz, en particular los que realizan siembra directa, dependen mucho de los herbicidas. La intensificación del cultivo, la práctica del monocultivo y el fuerte uso de herbicidas han conducido a la situación actual, en la que la resistencia a herbicidas se está convirtiendo en una seria amenaza para la producción convencional del grano en el mundo. La resistencia a un amplio grupo de herbicidas ha aparecido en muchas de las malezas principales del arroz. La resistencia cruzada y la existencia de mecanismos de resistencia basados en la metabolización acelerada del herbicida indican con claridad que el uso de herbicidas selectivos alternativos como única herramienta para el control de malezas resistentes, difícilmente será exitoso. La resistencia está provocando que los agricultores pierdan sus herbicidas. Si no se implementan estrategias sostenibles de manejo integrado de malezas, la utilidad futura de los mismos está seriamente amenazada. Desafortunadamente, hasta ahora, la adopción del manejo integrado de malezas ha sido limitada.

Este libro refleja el amplio trabajo realizado por los autores en años recientes y trata varios aspectos relevantes. Provee una sólida base científica y conceptual sobre resistencia a herbicidas y sobre los mecanismos de resistencia en relación con la acción de estos productos. Se discuten en detalle metodologías útiles para la detección y caracterización de la resistencia a herbicidas y, lo que es más importante, se presentan opciones prácticas de

manejo integrado de malezas resistentes en arroz, incluyendo algunos casos exitosos de América Central. Por lo tanto, los autores hacen una contribución clave a la comprensión, el conocimiento y el manejo de la resistencia a herbicidas en arroz.

Albert J. Fischer
University of California-Davis, USA

Resistencia a herbicidas en las plantas

En 1946, la introducción del 2,4-D y el MCPA mostró a los agricultores europeos y norteamericanos el potencial de los herbicidas para controlar eficaz y económicamente las malezas de hoja ancha en cereales. La aceptación entusiasta de estas auxinas sintéticas por parte de los agricultores estimuló a las compañías de agroquímicos, que invirtieron sumas cuantiosas en investigación para producir nuevos herbicidas para distintos cultivos y malezas. En la actualidad, el mercado mundial ofrece alrededor de 250 ingredientes activos que permiten el control de prácticamente todas las malezas en cultivos principales y secundarios. La comprobada eficacia de los herbicidas modernos les permite a los agricultores producir sus cultivos en forma reiterada y rentable en los mismos terrenos y optimizar sus ingresos. Sin embargo, una de las desventajas del uso de estos productos es la evolución de malezas resistentes a herbicidas.

Definiciones

Resistencia

Es la capacidad hereditaria natural de algunos biotipos dentro de una población para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida que, bajo condiciones normales de empleo, controla efectivamente esa población de maleza.

Tolerancia

Es la capacidad hereditaria natural que tienen todas las poblaciones de una maleza para sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida.

Resistencia cruzada

Es la resistencia de un biotipo de una maleza a uno o más herbicidas, debido a la presencia de un mecanismo individual de resistencia.

Resistencia múltiple

Describe aquellas situaciones en que los biotipos resistentes tienen dos o más mecanismos distintos de resistencia.

Resistencia cruzada negativa

Se refiere a aquellos casos en que un biotipo resistente a un herbicida exhibe un aumento en la susceptibilidad a otros herbicidas con distinto modo de acción o de degradación.

Cultivos resistentes a herbicidas por modificación genética

Son cultivos que poseen genes insertos que les confieren resistencia a cierto herbicida al que habían sido previamente susceptibles.

Casos de resistencia a herbicidas

Comparadas con los insectos y patógenos, las malezas tienen ciclos de reproducción relativamente largos, lo que ha contribuido a la –aparentemente– lenta evolución de la resistencia a herbicidas. El 2,4-D ha sido usado ampliamente desde 1947. Aunque Hilton (1957) informó del primer caso de resistencia en 1957, cuarenta años después, sólo se ha reportado resistencia a auxinas sintéticas para 14 especies en 11 países (Heap 1997). El glifosato es el herbicida más usado en el mundo, pero el primer caso de resistencia no se informó sino hasta 25 años después de su introducción (Pratley et al. 1999, Powles et al. 1998). Las auxinas sintéticas y el glifosato son ejemplos de productos considerados de “bajo riesgo” en la evolución de la resistencia a herbicidas.

Por el contrario, la primera maleza resistente a triazinas, *Senecio vulgaris*, se encontró en 1970 y en 1996 ya existían 43 malezas dicotiledóneas y 18 monocotiledóneas resistentes a triazinas, sobre todo en campos de maíz y

viveros en Europa y Norteamérica (Heap 1997). En el mundo hay más de tres millones de hectáreas infestadas con malezas resistentes a triazinas, las que se pueden controlar con otros herbicidas alternos. De todas formas, las ventas de triazinas han disminuido, principalmente debido a restricciones de uso.

Un problema mucho más serio es el del rápido desarrollo de malezas resistentes a herbicidas inhibidores de las enzimas acetolactato sintetasa (ALS) y acetil coenzima-A carboxilasa (ACCase) (Cuadro 1). Estos herbicidas son considerados de “alto riesgo” en la evolución de la resistencia.

El clorsulfurón, primer herbicida inhibidor de la ALS, se comercializó en 1982 y el primer caso de resistencia, en la especie *Lactuca serriola*, se confirmó en 1987 (Mallory-Smith et al. 1990). Debido a las bajas dosis de empleo, los perfiles toxicológicos y ambientales favorables y su rentabilidad, muchas compañías han introducido al mercado herbicidas inhibidores de la ALS para eliminar malezas de hoja ancha, ciperáceas y gramíneas en la mayoría de los cultivos importantes.

Los grupos químicos de herbicidas que inhiben la ALS son las sulfonilúreas (ej. bensulfurón-metilo), las imidazolinonas (ej. imazapir), las triazolopirimidinas (ej. flumetsulam) y los pirimidinil benzoatos (ej. bispiribac-sodio). Los inhibidores de la ALS representaron el 13% de las ventas mundiales de herbicidas en 1996 (Saari 1999). Los primeros casos de resistencia se presentaron en Norteamérica, en condiciones de monocultivo. Actualmente es común encontrar malezas resistentes en cultivos de rotación, en especial si los inhibidores de la ALS se aplican en cultivos sucesivos bajo ese sistema. La resistencia a este grupo de herbicidas es la que aumenta más rápidamente en la actualidad (Heap 1997).

Dos grupos químicos componen los inhibidores de la ACCase: los ariloxifenoxipropanoatos (AFP) y las ciclohexanodionas (CHD). Estos graminicidas son efectivos en cultivos de hoja ancha y en cereales y representan aproximadamente un 6% del mercado mundial de herbicidas (Saari 1999). De manera similar a lo que sucede con los inhibidores de la ALS, los graminicidas seleccionan rápidamente las poblaciones resistentes. Se ha informado de 21 gramíneas resistentes a inhibidores de la ACCase en 19 países (Cuadro 1), las que constituyen una seria amenaza en muchas situaciones, pues no se dispone de herbicidas alternativos con distinto modo de acción capaces de controlarlas.

Quadro 1
Recuento mundial de malezas resistentes a herbicidas para el año 2000¹.

Grupo de herbicidas	Ejemplo	Modo de acción	Biotipos de malezas resistentes		No. de países ²
			Dicots.	Monocots.	Total
Sulfonilúreas	Clorsulfurón	Inhibidor de ALS ³	43	20	63
Imidazolinonas y otros	Imazaquín y otros				
Triazinas y otros	Atrazina	Inhibidor de FS II	42	19	61
Bipiridilos	Paraquat	Aceptor electrones en FS I	18	7	25
					13
Axiloxi-feroxipropanoatos y Ciclohexanodionas	Fenoxaprop y Cloxixidim	Inhibidor de ACCasa	0	21	21
					19
Ácidos fenoxi-alcanoicos	2,4-D	Auxina sintética	15	3	18
Fenilúreas, Anilidas	Clorotolurón, Propaquil	Inhibidor de FS II	6	11	17
Dinitroanilinas	Trifluralina	Inhibidor de mitosis	2	7	9
Triazoles	Amtróle	Inhibidor de síntesis de carotenoides	1	3	4
Tiocarbamatos	Tri-allate	Inhibidor síntesis de lípidos	0	3	3
Cloroacetamidas	Metolaclor	Inhibidor división celular	0	3	3
					4

Cuadro 1
 Recuento mundial de malezas resistentes a herbicidas para el año 2000 (continuación)¹.

Grupo de herbicidas	Ejemplo	Modo de acción	Biotipos de malezas resistentes		No. de países ²
			Dicots.	Monocots.	Total
Clicinas	Clifosato	Inhibidor de EPSPS	0	2	2
Nitrilos	Bromoxinil	Inhibidor de FS II	1	0	1
Otros	MSMA, difenzoquat, etofumesato, flumprop-metil, dalapón	Varios	1	4	5
					4
TOTAL			129	103	232
					-

¹ Adaptado de Heap, 1999, 2000. Se puede obtener información actualizada del "International Survey of Herbicide Resistant Weeds" en: www.weedscience.com

² El número de países se adaptó de la información obtenida en la base de datos en línea (Heap 2000).

³ Abreviaturas: ACCasa, Acetil coenzima-A carboxilasa; ALS, Acetilactato sintetasa; EPSPS, 5-Eolpínurilshikimato 3-fosfato sintetasa; FS I, Fotosistema I; FS II, Fotosistema II.

Por qué evoluciona la resistencia

Las características de la maleza y del herbicida influyen en la tasa de evolución de la resistencia. En el caso de la maleza, las características más importantes son la frecuencia de genes, el tamaño y la viabilidad del banco de semillas del suelo y la adaptabilidad al medio. En el herbicida se deben considerar factores como eficacia, dosis, frecuencia de aplicación y persistencia en el suelo. La importancia relativa de estos factores se ha tratado de determinar mediante el uso de modelos (Gressel y Segel 1990, Morrison y Friesen 1996). Estos modelos y la experiencia práctica indican que el factor principal en la evolución de la resistencia es la presión de selección impuesta por el herbicida. En la práctica, la presión de selección depende de la dosis de herbicida utilizada, su eficacia y la frecuencia de aplicación. Por lo tanto, se puede disminuir la presión de selección mediante la aplicación de mezclas de herbicidas con diferentes mecanismos de acción y de degradación, que sean eficaces contra el mismo espectro de malezas (Wrubel y Gressel 1994). Las rotaciones de herbicidas basadas en estos mismos criterios también atenúan la presión de selección. Los herbicidas persistentes imponen una mayor presión de selección que los no persistentes. La disminución de las dosis de herbicida puede agravar en vez de disminuir los problemas de resistencia, porque puede propiciar la selección de resistencia poligénica, es decir, la resistencia que depende de más de un gene y se manifiesta como un incremento progresivo en el grado de resistencia de la planta de una generación a la siguiente (Cousens y Mortimer 1995).

Cada especie tiene una constitución genética particular, y se considera que los genes de resistencia están presentes en las poblaciones silvestres, aunque en una proporción muy baja. Si la presión de selección asociada a la frecuencia de uso es la misma para dos herbicidas, entonces la frecuencia inicial de genes influirá sobre el tiempo requerido para que se detecten individuos resistentes. Se estima que la frecuencia de genes de resistencia a las triazinas, que se hereda a través del genoma de los plastidios, es de aproximadamente 10^{-18} (Gressel 1991), mientras que la de las sulfonilúreas es de alrededor de 10^{-6} (Chaleff y Day 1984). Esta proporción se incrementa conforme la presión de selección aumenta por el uso continuo del mismo

herbicida o de compuestos que pertenecen a la misma familia química o que comparten el mismo modo de acción, o de herbicidas que son metabolizados de manera similar en la planta. A medida que aumenta la tasa de mortalidad obtenida con el herbicida, aumenta también la presión de selección. El tiempo requerido para que se reconociera la resistencia a clorsulfurón y simazina en el campo fue de 3-5 y 10 años, respectivamente, lo que refleja el estimado inicial de frecuencia de genes (Maxwell y Mortimer 1994).

La evolución de la resistencia esta íntimamente relacionada con la heredabilidad de los genes responsables de esa resistencia y con las características reproductivas y de polinización de cada especie de maleza, así como con la adaptabilidad al medio de las poblaciones resistentes. En algunos casos, los individuos resistentes están menos adaptados al medio en ausencia del herbicida que las plantas normales o susceptibles. Esta pérdida de adaptabilidad puede percibirse como un descenso en la eficiencia fisiológica de un proceso como la fotosíntesis, menor producción de semillas o disminución de la habilidad competitiva. La mayoría de las malezas resistentes, sin embargo, no son menos aptas que las normales, lo que dificulta aún más el manejo de la resistencia.

También es importante considerar el papel del reservorio o banco de semillas en el suelo en la evolución de la resistencia. Dado que históricamente el banco de semillas se ha enriquecido con la semilla producida por los individuos susceptibles, que son los predominantes, el reservorio cumple la función de retrasar la evolución de la resistencia en el campo. Powles y Holtum (1994) y Cousens y Mortimer (1995) discuten en detalle los aspectos biológicos y ecológicos de la resistencia a herbicidas.

Diseminación de la resistencia

Las poblaciones de malezas resistentes se pueden diseminar a través de sus semillas, las que actúan como contaminantes de la semilla del cultivo o del equipo agrícola, como las cosechadoras. En muchos casos de resistencia debidamente documentados, incluidos el de *Alopecurus myosuroides* resistente

a clorotolurón en Inglaterra (Moss y Cussans 1991) y el de varias malezas resistentes a triazinas en Francia (Gasquez y Compoint 1981), aparentemente las poblaciones resistentes co-evolucionaron en forma simultánea en sitios diferentes. En trabajos recientes, Shibaike et al. (1999) utilizaron marcadores moleculares para confirmar que la resistencia a inhibidores de la ALS en *Lindernia micrantha* evolucionó independientemente en campos de arroz en distintas localidades del Japón. Con base en la experiencia de los autores, se podría pensar que la amplia evolución de la resistencia a propanil en América Central (Capítulo 3) debió originarse en forma independiente, y no por la diseminación de semilla de plantas resistentes entre regiones productoras de arroz o entre países.

Mecanismos de resistencia

La mayoría de las malezas se tornan resistentes a los herbicidas debido a cambios en su sitio de acción. El segundo mecanismo en orden de importancia es el que se basa en el metabolismo acelerado o la rápida degradación del herbicida en la planta, como es el caso de la tolerancia al propanil en arroz. Con menor frecuencia, la resistencia puede atribuirse a absorción y transporte limitados o al "secuestro" del herbicida. En algunos casos, es posible que intervenga más de un mecanismo, pero el resultado final es el mismo: el herbicida no está disponible en el sitio de acción en la maleza. La discusión detallada del modo de acción de los herbicidas y de los mecanismos de resistencia está fuera del alcance de este libro. Para los lectores interesados en el tema, al final del capítulo se presenta una síntesis sobre los herbicidas empleados en arroz para el combate de *Echinochloa* spp. Existe un amplio grupo de herbicidas disponibles para el control de varias especies de *Echinochloa* (Cuadro 2) junto con algunos herbicidas totales, no selectivos, que pueden emplearse especialmente antes de la siembra del arroz. Dentro de poco tiempo, cuando se introduzcan las variedades tolerantes que ya han sido desarrolladas, será posible emplear herbicidas no selectivos como glifosato, glufosinato de amonio e imidazolinonas (principalmente imazetapir). Se espera que las primeras variedades de arroz tolerantes a herbicidas (tolerantes a imidazolinonas o "IMI-arroz") se comercialicen en América Latina a partir del 2001.

Cuadro 2

Herbicidas utilizados para el control de *Echinochloa* spp. en arroz.

Nombre técnico ¹	Fabricante ²	Modo de acción (M de A) ³	Código de M de A ⁴ HRAC WSSA	Riesgo de resistencia ⁵
Herbicidas selectivos disponibles en América Latina				
Arilofos	Aventis, Charda	Inhibidor de división celular	K3	15
Bifenox	Aventis	Inhibidor de Prottox	E	14
Bispiribac-sodio	Kurriai, Bayer	Inhibidor de ALS	B	2
Butaclor	Monsanto y otros	Inhibidor de síntesis de proteínas	K3	15
Clefoxtidim	BASF	Inhibidor de ACCasa	A	1
Cloclinafop-propargil	Novartis	Inhibidor de ACCasa	A	1
Clomazone	FMC	Inhibidor de la síntesis de carotenoides	F3	11/13
Ciflutolop-butilo	Dow AgroSciences	Inhibidor de ACCasa	A	1
Fenoxaprop- <i>p</i> -etilo	Aventis	Inhibidor de ACCasa	A	1
Molinate	Zeneca	Inhibidor de síntesis de lípidos/mitosis	N	8
Oxadiazón	Aventis	Inhibidor de Prottox	E	14
Pendimetalina	American Cyanamid	Inhibidor de polimerización de tubulina	K1	3
Piperofos	Novartis, Rohm and Haas	Inhibidor de división celular	K3	15
Pretilaclor (+Fenclorim)	Novartis	Inhibidor de división celular (+Antídoto para arroz de siembra directa)	K3	15
Propanil	Rohm and Haas	Inhibidor de FS II	C2	7
Pinbencoxim	LG Chem	Inhibidor de ALS	B	2
Quinclorac	BASF	Actividad de tipo auxínica	O	4
Setoxidim	Nippon Soda, BASF	Inhibidor de ACCasa	A	1
Tribencarb	Kurriai	Inhibidor de síntesis de lípidos, pero no de ACCasa	N	8
Herbicidas selectivos en desarrollo o disponibles en otros lugares				
Azimsulfurón, DPX-A8947	DuPont	Inhibidor de ALS	B	2
Dimetipiperate	Rhône Poulenc (Aventis) + Mitsubishi	Inhibidor de síntesis de lípidos, pero no de ACCasa	N	8
Ditiopir	Rohm and Haas	Altera la formación de tubulina	K1	3
Espirocarb	Zeneca	Inhibidor de síntesis de lípidos, pero no de ACCasa	N	8

Cuadro 2
Herbicidas utilizados para el control de *Echinochloa* spp. en arroz (continuación).

Nombre técnico ¹	Fabricante ²	Modo de acción (M de A) ³	Código de HRAC	M de A ⁴ WSSA	Riesgo de resistencia ⁵
Fentrazamida, BAYVFC 2388	Bayer	Inhibidor de división celular	K3	15	Desconocido
Metenacet	Bayer/Nihon Tokusho Nohyaku Seizo KK	Inhibidor de división celular	K3	15	Desconocido
Oxaziclonafeone, MY100	Aventis	Inhibidor de crecimiento en sitio desconocido	Z	27	Desconocido
Piriflutid, CCA 279233	Novartis	Inhibidor de ALS	B	2	Alto
Priminoabac-metilo	Kumiai	Inhibidor de ALS	B	2	Alto
Herbicidas no selectivos usados antes de la siembra					
Clifosato	Monsanto	Inhibidor de EPSFS	C	9	Bajo
Oxifluorfen	Rohm and Haas	Inhibidor de Protop	E	14	Bajo
Paraquat	Zeneca	Interfiere con el PS I	D	22	Mediano
Herbicidas no selectivos para los cuales se desarrollan variedades de arroz tolerantes					
Clifosato	Monsanto	Inhibidor de EPSFS	G	9	Bajo
Clufosinato de amonio	Aventis	Inhibe la síntetasa de la glutamina	H	10	Bajo
Imidazolinonas	Cyanamid	Inhibidores de ALS	B	2	Alto

1 Los herbicidas solo se mencionan como ingredientes activos individuales, pero muchos de ellos se venden mezclados con otros.

2 Los fabricantes que se mencionan son los que introdujeron el herbicida respectivo; sin embargo, los compuestos cuya patente ha expirado pueden ser producidos por otras compañías. En algunos casos existen acuerdos regionales o municipales para que una compañía funja como el distribuidor exclusivo de un herbicida perteneciente a otro fabricante.

3 Abreviaturas: ACCasa, Acetil coenzima-A carboxilasa; ALS, Acetolactato sintetasa; EPSFS, 5-Enolpiruvilshikimato 3-fosfato sintetasa; PS I, Fotosistema I; PS II, Fotosistema II.

4 HRAC, "Herbicide Resistance Action Committee"; WSSA, "Weed Science Society of America". De acuerdo con Schmidt 1997 y Retzinger y Mallory-Smith 1997.

5 El riesgo de resistencia es subjetivo, basado en experiencias de campo y en información sobre el modo de acción y degradación.

En el Cuadro 2 se presenta un listado de los principales herbicidas para el control de *Echinochloa* spp. y su clasificación con base en el modo de acción, de acuerdo con el Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas (conocido por sus siglas en inglés como HRAC) y la Sociedad Estadounidense de Malherbología (conocida también por sus siglas en inglés como WSSA) (Schmidt 1997). Lamentablemente estos sistemas de clasificación no son homólogos, aunque ambos pretenden facilitarle al agricultor la selección de herbicidas, permitiéndole alternar o mezclar productos con diferentes modos de acción para prevenir y manejar la resistencia a herbicidas (Capítulo 5).

Modo de acción de los herbicidas utilizados en el control de especies de *Echinochloa* en arroz y sus mecanismos de resistencia

Inhibidores de la acetil coenzima-A carboxilasa (HRAC Grupo A, WSSA Grupo 1)

Dos familias de herbicidas, los AFP y los CHD, inhiben la enzima ACCasa. Esta enzima es muy importante en la biosíntesis de los ácidos grasos en las plantas. Los herbicidas de ambos grupos químicos se aplican en post-emergencia, son absorbidos con facilidad por las raíces y el follaje y se transportan a los meristemas (puntos de crecimiento) de las plantas, donde rápidamente inhiben el crecimiento. Los graminicidas AFP se formulan y aplican como ésteres, los que penetran fácilmente por la cutícula de la planta, que los convierte a su forma ácida. El ácido se transporta dentro de la planta y es el que realmente exhibe actividad como herbicida. La mayoría de los cereales tolerantes a estos graminicidas son capaces de metabolizarlos rápidamente y convertirlos en compuestos inactivos. Varios mecanismos contribuyen a la selectividad de los herbicidas AFP en arroz. Por ejemplo, en el caso del cihalofop-butilo, el arroz absorbe y transporta menos herbicida, tiene una tasa de conversión del éster al ácido más lenta y posee una ACCasa menos sensible que

Echinochloa crus-galli (Kim y Park 1997, Park et al. 1997). En forma similar, la selectividad del clefoxidim en arroz también se debe a una combinación de factores que incluyen la rápida degradación del herbicida original en compuestos no fitotóxicos y un transporte limitado hacia el sitio de acción (Finley et al. 1999).

Además del cihalofop-butilo, otros graminicidas sistémicos empleados en arroz son el fenoxaprop-*p*-etilo y clodinafop-propargil (AFP) y el butroxiidim y setoxidim (CHD). Existen poblaciones de *Echinochloa colona* resistentes a los herbicidas AFP y CHD (Capítulo 3). Aunque el mecanismo de resistencia no se conoce completamente, se sabe que no está asociado con un metabolismo elevado o una alteración del sitio de acción. En la mayoría de las gramíneas, la resistencia se atribuye a una modificación del sitio de acción (ACCase), aunque algunas malezas resistentes exhiben un metabolismo acelerado (Hall et al. 1994).

Inhibidores de la enzima acetolactato sintetasa (HRAC Grupo B, WSSA Grupo 2)

El mecanismo de acción de los herbicidas pertenecientes a los cuatro grupos importantes mencionados previamente (sulfonilúreas, imidazolinonas, triazolopirimidinas y pirimidinil benzoatos) consiste en inhibir la enzima ALS, conocida también como sintetasa del ácido hidroxiacético (AHAS). Los herbicidas inhibidores de la ALS son compuestos sistémicos que se acumulan en los puntos de crecimiento de las plantas. La inhibición de la ALS evita la síntesis de los aminoácidos valina, leucina e isoleucina, que son algunos de los componentes de las proteínas. En los cultivos, la selectividad de los inhibidores de la ALS se debe sobre todo a las diferencias entre plantas en la tasa de metabolización del herbicida. En las malezas, la resistencia se debe básicamente a una modificación en el sitio de acción, es decir, a una ALS insensible al inhibidor. En la actualidad hay varias sulfonilúreas para el control de malezas en arroz, en el mercado y en desarrollo, sobre todo para especies de hoja ancha y ciperáceas (bensulfurón-metilo, cinosulfurón, ciclosulfamurón,

etoxisulfurón, halosulfurón-metilo, imazosulfurón, iodosulfurón, met-sulfurón-metilo y pirazosulfurón-etilo).

Unas pocas sulfonilúreas también controlan gramíneas, incluyendo varias especies de *Echinochloa* (azimsulfurón, foramsulfurón). Tres pirimidinil benzoatos controlan eficazmente las especies de *Echinochloa* en arroz: bispiribac-sodio, piribenzoxim y piriminobac-metilo. Las imidazolinonas y triazolopirimidinas no son selectivas para el arroz; sin embargo, pronto se introducirán variedades tolerantes (arroz-IMI), para permitir el control selectivo de arroz rojo con imidazolinonas (Hackworth et al. 1998). Varias especies de hoja ancha, especialmente malezas acuáticas y algunas ciperáceas, han evolucionado resistencia a inhibidores de la ALS. En Brasil, se diagnosticó recientemente resistencia a bensulfurón-metilo y pirazolsulfurón-etilo en *Sagittaria montevidensis* (Noldin, 1999. Comunicación personal) y se sospecha que en Chile hay resistencia en tres especies: *Alisma plantago lanceolata*, *S. montevidensis* y *Scirpus mucronatus* (Cobo, G. 2000. Comunicación personal).

Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II (HRAC Grupos C1, C2, C3; WSSA Grupos 5, 6, 7)

Muchas familias de herbicidas inhiben la fotosíntesis mediante la interferencia del transporte de electrones en el Fotosistema II (FS II). En arroz se emplean muy pocos herbicidas con este modo de acción: dimetametrina (triazina, HRAC Grupo C1, WSSA Grupo 5), la que se formula en mezcla con piperofos (como Avirosan), propanil (amida, HRAC Grupo C2, WSSA Grupo 7), ioxinil (nitrilo, HRAC Grupo C3, WSSA Grupo 6) y bentazón (benzotiadiazinona, HRAC Grupo C3, WSSA Grupo 6). De éstos, sólo el propanil se usa para el control de *Echinochloa* spp.

El propanil se introdujo en 1960 y desde entonces se ha convertido en el compañero inseparable del arroz; es un herbicida post-emergente, de contacto, que se asperja con equipo aéreo o terrestre. Los inhibidores del Fotosistema II se acoplan a una proteína localizada en el cloroplasto

denominada D1, y previenen el flujo normal de los electrones, lo que provoca daños en la planta por excesiva acumulación de energía y por foto-oxidación. Una vez absorbido, el transporte del propanil dentro de la hoja o desde la hoja tratada hacia otras partes de la planta es muy limitado. En el campo, los síntomas de toxicidad por propanil por lo general se aprecian pocas horas después del tratamiento y las plántulas jóvenes susceptibles mueren rápidamente. El propanil es muy selectivo al arroz porque el cultivo lo metaboliza en compuestos no tóxicos (Figura 1). En las plantas de arroz, el propanil es hidrolizado en 3,4-dicloroanilina (DCA) y ácido propiónico por la enzima aril acilamidasa (AAA), protegiendo al cultivo del daño (Frear y Still 1968, Still y Kuzirian 1967, Yih et al. 1968).



Figura 1. Hidrólisis metabólica del propanil en arroz.

Los insecticidas carbamatos y organofosforados, especialmente las formas oxidadas de estos últimos, actúan como fuertes inhibidores de la AAA (Frear y Still 1968, Matsunaka 1968, Leah et al. 1994). La selectividad

del propanil al arroz se debe a que la mayoría de las malezas no tiene AAA, y cuando la hay, la enzima tiene una actividad muy inferior a la observada en el arroz (Hoagland y Graf 1972). Durante años los productores han aprovechado estas diferencias para controlar con propanil especies de *Echinochloa*, principalmente *E. crus-galli* y *E. colona*, y otras gramíneas (Smith 1961). Después de la hidrólisis inicial, el metabolismo del propanil continúa hasta que finalmente se conjuga con azúcares (Winkler y Sanderman 1989, Sanderman et al. 1991, Schmidt et al. 1994) o se incorpora en la lignina (Yih et al. 1968).

La resistencia a propanil en *E. colona* se debe a un incremento en la actividad de la AAA (Leah et al. 1994 y 1995). Los biotipos resistentes y susceptibles absorben cantidades similares de propanil cuando el producto se aplica sobre las hojas. Las plantas adultas absorben más propanil que las plántulas (Leah et al. 1995). Los biotipos resistentes metabolizan el propanil más rápido y en mayor proporción que los biotipos susceptibles debido a la mayor actividad de la enzima AAA (Leah et al. 1995). El metabolismo del herbicida también es responsable de la resistencia a propanil en *E. crus-galli* (Carey et al. 1997). La resistencia a propanil se mantiene e incluso se incrementa en las plantas adultas, a pesar de que la AAA y el metabolismo del propanil disminuyen con la edad de la planta (Leah et al. 1995). Posiblemente en las plantas más desarrolladas existen otros mecanismos, adicionales a la actividad de la AAA, que contribuyen a incrementar la resistencia. En contraste con el propanil, la resistencia a los inhibidores del transporte de electrones normalmente se asocia con una mutación en el sitio de acción (proteína D1). Otra excepción es la de la maleza *Abutilon theophrasti*, cuya resistencia a la atrazina también se debe a una destoxificación acelerada del herbicida en la planta (Plaisance y Gronwald 1999).

Inhibición de la oxidasa del protoporfirinógeno (HRAC Grupo E, WSSA Grupo 14)

Un grupo cada vez mayor de herbicidas pertenecientes a distintas familias químicas inhiben la enzima oxidasa del protoporfirinógeno (Protox).

El grupo más antiguo de herbicidas con este tipo de acción es el de los difenil-éteres (bifenox, oxifluorfen). Otras familias de herbicidas ya registrados o en desarrollo para el control de *Echinochloa* spp. en arroz son los oxadiazoles (oxadiazón, oxadiargil) y oxazolidinedionas (pento-xazone). Todos estos herbicidas requieren luz para provocar daño en las plantas, las que desarrollan muy pronto síntomas de toxicidad, especialmente un bronceado del follaje y necrosis. Es posible obtener selectividad física evitando el contacto del herbicida con el cultivo, como se hace frecuentemente con el oxifluorfen cuando se emplea en presiembra para el control de arroz rojo. Algunos productos son selectivos porque el cultivo es capaz de metabolizarlos más rápidamente que las malezas. La inhibición de la Protox conduce a una acumulación incontrolable de protoporfirina IX (Proto IX), un compuesto intermedio en la síntesis de la clorofila, a través de un complejo sistema intracelular. La excesiva acumulación de Proto IX provoca un daño fotodinámico (Dayan y Duke 1997) con la correspondiente pérdida de integridad en las membranas celulares, lo que conduce a la muerte de la planta.

El mecanismo de selectividad de los inhibidores de la Protox en el arroz no está completamente dilucidado. Tampoco se han registrado casos de malezas resistentes a este grupo de herbicidas, por lo que los inhibidores de la Protox se consideran de bajo riesgo en la evolución de resistencia (Dayan y Duke 1997).

Inhibición de la biosíntesis de carotenoides
(HRAC Grupo F3, WSSA Grupo 13)

Varios herbicidas inhiben la síntesis de carotenoides en las plantas. La función principal de estos pigmentos es proteger el aparato fotosintético de reacciones fotoinducidas. El único inhibidor de la síntesis de carotenoides usado para controlar *Echinochloa* spp. en arroz es el clomazone (HRAC Grupo F3, WSSA Grupo 13), un herbicida de la familia de las isoxazolidinonas. El clomazone disminuye el contenido de carotenoides y clorofila en las plantas tratadas, pero su modo de acción y

selectividad no se conocen bien (Sandmann y Böger 1997). Este producto puede dañar al arroz, especialmente en suelos livianos y en los sitios donde se acumula el agua en terrenos mal nivelados. No se han documentado casos de resistencia al clomazone.

Inhibidores de la división celular

(HRAC Grupo K1, WSSA Grupo 3; HRAC Grupo K3, WSSA Grupo 15)

El principal grupo de inhibidores de la división celular es el de las dinitroanilinas (HRAC Grupo K1, WSSA Grupo 3), una de las cuales, la pendimetalina, es muy usada en arroz. Las dinitroanilinas inhiben la polimerización de una proteína llamada tubulina, evitando la formación de los microtúbulos, unas organelas muy importantes para la división celular. Las células de las plantas tratadas con dinitroanilinas no logran formar el huso acromático y la mitosis no puede completarse. La absorción, el transporte y el metabolismo de estos herbicidas son muy limitados, pero todos estos factores contribuyen a su selectividad (Appleby y Valverde 1989). Varias malezas han evolucionado resistencia a dinitroanilinas en el campo, pero en ningún caso en asocio con el cultivo de arroz. En *Eleusine indica* la resistencia a trifluralina y a otras dinitroanilinas se debe a una modificación en el sitio de acción, específicamente en la α -tubulina (Yamamoto et al. 1998). En California se documentaron recientemente poblaciones de *E. crus-galli* en campos de algodón resistentes a dinitroanilinas (Ritenour et al. 1999).

El ditiopir y el tiazopir, herbicidas del grupo de las piridinas, también interfieren con la división celular, pero posiblemente actúan en forma diferente a las dinitroanilinas. El ditiopir no se acopla con la tubulina (Lehnen y Vaughn 1991). Aparentemente, la respuesta diferenciada de algunas plantas al ditiopir está relacionada con diferencias en las tasas de metabolismo del herbicida; el tiazopir es degradado sobre todo vía monooxigenasas y *E. crus-galli* es muy susceptible al herbicida (Rao et al. 1995).

Las cloroacetamidas (HRAC Grupo K3, WSSA Grupo 15), que incluyen los herbicidas butaclor y pretilaclor, también se consideran inhibidores

mitóticos, aunque los mecanismos de acción no han sido completamente dilucidados. Se ha sugerido que las cloroacetamidas actúan mediante la inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (Matthes et al. 1998). El arroz tolera el pretilaclor porque es capaz de metabolizarlo más rápidamente que *Echinochloa* spp., especialmente en presencia del antidoto fenclorim, que se incluye en varias de las formulaciones del pretilaclor (Wu et al. 1996, Usui et al. 1999). *E. crus-galli* evolucionó resistencia a butaclor (y a tiobencarbo) en China (Huang y Lin 1993, Huang y Wang 1998) y a butaclor en Tailandia (Maneechote, C. 2000. Comunicación personal), pero se desconoce el mecanismo de resistencia.

Otros inhibidores de la mitosis usados en arroz son la tetrazolinona (también clasificada como carbamilúrea), fentrazamida (HRAC Grupo K3, WSSA Grupo 15) y los herbicidas organofosforados, anilofos y piperofos. Las plántulas tratadas con fentrazamida detienen su crecimiento y los tejidos se distorsionan rápidamente porque cesa la división celular en las raíces y en los meristemas caulares (Yasui et al. 1997). En Asia la fentrazamida, en combinación con sulfonilúreas y otros herbicidas, está en proceso de registro para arroz de transplante y se vende mezclada con propanil para arroz de siembra directa (Früsch 1999). Los dos herbicidas organofosforados se usan exitosamente en formulaciones comerciales o mezclas de tanque como sinergistas del propanil (Capítulo 5) para el manejo de la resistencia. Aparentemente el piperofos, después de ser absorbido por las raíces del cultivo, se transporta en el apoplasto (xylema y otros tejidos inertes) y también está sujeto a degradación metabólica (Mayer et al. 1981).

Inhibición de la síntesis de los lípidos (HRAC Grupo N, WSSA Grupo 16)

A este grupo pertenecen los herbicidas ditiocarbamatos molinate y tiobencarbo (HRAC Grupo N, WSSA Grupo 16), los que no son inhibidores de la ACCasa. El mecanismo de selectividad del molinate no está completamente dilucidado. Se ha demostrado que se absorbe y se transporta

en el arroz y que el cultivo puede transformarlo en metabolitos polares, pero sólo una cantidad limitada se conjuga con glucósidos (Hsieh et al. 1998). Como se mencionó previamente, en Asia hay poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a butaclor y tiobencarbo, pero el mecanismo de resistencia aún no ha sido determinado.

Auxinas sintéticas

(HRAC Grupo O, WSSA Grupo 4)

Aunque se utilizan varios herbicidas auxínicos sintéticos (2,4-D, MCPA, dicamba, fluroxipir, picloram, triclopir) para el combate de malezas de hoja ancha y ciperáceas en arroz, sólo uno se emplea específicamente para controlar *Echinochloa* spp.: el herbicida ácido quinolín-carboxílico, quinclorac. Las plantas absorben el quinclorac fácilmente y lo transportan tanto en forma basípeta como acrópeta. El efecto del quinclorac en malezas de hoja ancha es similar al de una sobredosis de auxina, pues estimula la síntesis de etileno y la acumulación de ácido abscísico. En *Echinochloa* spp., el quinclorac conduce a la acumulación de cianuro, que es muy tóxico. El cianuro no se acumula en el arroz, que es tolerante, ni en un biotipo resistente de *Echinochloa hispidula* (Grossman 1998). Seis especies de *Echinochloa* han evolucionado poblaciones resistentes a quinclorac (Capítulo 3).

Capítulo 2

Biología y ecología de *Echinochloa colona*¹

El género *Echinochloa* consta de unas 50 especies, incluyendo subespecies y variedades (Michael 1983); las plantas de este género varían mucho y su taxonomía es confusa (Yabuno 1983). Se han identificado especies anuales con 18, 27 y 54 pares de cromosomas y especies perennes con 18, 27 y 63 pares (Kim 1994). Las especies anuales *E. crus-galli* y *E. colona* son las malezas más importantes asociadas con el arroz en el mundo (Kim 1994); ambas especies son hexaploides ($2n=6x=54$).

Además de que su taxonomía también es confusa, hay formas de *E. colona* que varían en el hábito de crecimiento, longitud de la inflorescencia y tamaño de las espiguillas. Esta especie ha sido confundida con *E. crus-galli* var. *praticola* y *E. crus-galli* var. *austro-japonensis* (Michael 1983), lo que refleja la dificultad para establecer límites entre especies del género *Echinochloa*, debido a la gran variabilidad, que se asocia con la hibridación y la adaptación al ambiente (Strehl y Vianna 1977). Por ejemplo, Ramakrishnan (1960) identificó en California dos poblaciones de *E. colona* genéticamente distintas, basándose en caracteres vegetativos y reproductivos. *E. colona* difiere de otras especies de *Echinochloa* que se comportan como malezas porque sus cariopsides son más pequeños y redondeados y porque no posee aristas. *E. crus-galli* normalmente sí tiene aristas. En sus trabajos de diagnóstico de resistencia a propanil, los autores observaron variabilidad entre poblaciones de *E. colona* recolectadas en México, América Central, Colombia y Bolivia, pero no encontraron un patrón definido como para distinguir biotipos o ecotipos específicos, excepto por su respuesta al herbicida.

1. Este capítulo fue preparado parcialmente por Lilliana Chaves, Área de Fitoprotección, CATIE, Turrialba 07170, Costa Rica. Dirección actual: Apartado 07-8000, San Isidro de Pérez Zeledón, San José, Costa Rica.

Las especies de *Echinochloa* tienen una notoria capacidad de adaptación a las diferentes condiciones de crecimiento asociadas con el cultivo de arroz. Estas adaptaciones o patrones fenológicos le permiten optimizar la sobrevivencia dentro del período más favorable, induciendo la formación de razas o individuos que se asemejen al cultivo (Barret 1983). Esta facultad de imitar el cultivo, conocida como mimetismo, dificulta la identificación de la maleza, así como su control sin causar daño al cultivo. Las plántulas de *Echinochloa* se asemejan mucho a las del arroz. En Japón, Yabuno (1983) documentó una forma de *E. crus-galli* var. *crus-galli* muy similar a las plantas de arroz, posiblemente como respuesta a la deshierba manual. Otra especie de amplia distribución, *Echinochloa oryzicola*, se ha adaptado para producir sus semillas al mismo tiempo que el cultivo, de manera que son cosechadas y sembradas con él. En California se encontró que *E. crus-galli* var. *oryzicola* (= *Echinochloa phyllopogon*, Michael 1983) remplazó a *E. crus-galli* var. *crus-galli* debido a un cambio en el régimen de inundación; esta preferencia por un hábitat específico es típica de las especies miméticas (Barret 1983). Otra manera de imitar el arroz es responder en forma similar a los herbicidas de empleo regular en el cultivo; por lo tanto, la resistencia a propanil podría considerarse como un caso muy especializado de mimetismo fisiológico.

E. colona es nativa de la India, pero ahora se distribuye como maleza en más de 60 países entre los 45° norte y los 40° sur (Holm et al. 1977). La planta es erecta o ligeramente postrada (Figura 2A), con culmos hasta de 70 cm de longitud; a menudo presenta pelos y raíces en la base de sus nudos. La lámina foliar es glabra o peluda en los nudos, frecuentemente teñida de rojo, sin lígula, con una longitud de entre 3 y 25 cm y de 3 a 13 mm de ancho, en ocasiones con bandas transversales de color púrpura. La inflorescencia es una panícula de 5 a 15 cm de longitud, erecta o ligeramente inclinada, verde o con tonalidades rojizas (Figura 2B). Las espiguillas, de 2 a 3.5 mm de longitud, sin aristas, por lo general están dispuestas en cuatro filas. La gluma inferior mide aproximadamente la mitad de la longitud de la espiguilla (Holm et al. 1997, Carretero 1981, Kim 1994). El sistema radicular está formado por una raíz seminal primaria y raíces adventicias permanentes; la raíz seminal desaparece cuando nacen las adventicias, las que

forman un sistema radicular fibroso, penetrante y muy ramificado. Las plantas que se acaman pueden desarrollar raíces en los nudos que entran en contacto con el suelo. Cuando crecen en suelo inundado, las raíces se ramifican poco (Strehl y Vianna 1977).



Foto por B. E. Valverde

Foto por B. E. Valverde



Figura 2. A. Campo de arroz infestado por *E. colona*. B. Panícula de *E. colona*.

Distribución

Echinochloa es el género de malezas más importante asociado al arroz debido a su adaptabilidad al ecosistema del cultivo. *E. colona* y *E. crus-galli* son las especies más importantes; la primera predomina en las regiones tropicales y subtropicales, mientras que la segunda es cosmopolita y problemática

en el arroz de zonas templadas y tropicales y se considera la principal maleza del cultivo (Kim 1994). *E. colona* es una maleza importante en cinco de los principales cultivos del mundo. En las zonas localizadas por debajo de los 30° N en Asia, en las partes cálidas de Australia y en las islas del Pacífico, es un serio problema en arroz, caña de azúcar, maíz y sorgo. En el norte de América del Sur y en el Caribe, prospera principalmente en arrozales. Desde América del Sur hasta México y California en Norteamérica, *E. colona* se asocia principalmente con arroz, caña de azúcar, maíz, sorgo y algodón (Holm et al. 1977). En América Central se encuentra en todas las zonas productoras de arroz, la mayoría de las cuales están infestadas con poblaciones resistentes a propanil. En México, *E. colona* se considera como la maleza más importante del arroz en Campeche y Veracruz (Tena 1981, Esqueda-Esquivel y Acosta-Núñez 1981); también se encuentra en Sinaloa (Kikushima 1976) y Tabasco (Miranda-Medrano 1984). En América del Sur está ampliamente distribuida, sobre todo en Colombia, Venezuela y Brasil.

Hábitat

Echinochloa spp. es capaz de germinar durante el ciclo de cultivo (Holm et al. 1977) y puede crecer en campos cultivados, praderas, márgenes de canales, acequias y charcos; prefiere las áreas expuestas y rara vez se encuentra en sitios sombreados (Ramakrishnan 1960). *E. colona* fue la maleza más frecuente encontrada en los canales de irrigación y arrozales aledaños en Guanacaste, Costa Rica (Rojas y Agüero 1996). Bajo condiciones de inundación (10 cm), las plántulas de *E. colona* cesan de crecer (Yabuno 1983). *E. crus-galli* se adapta a condiciones de anaerobiosis, pudiendo germinar en presencia de láminas de agua de hasta 10 cm de profundidad (Kim 1994). En estudios de invernadero, Sahid y Hossain (1995) determinaron que *E. colona*, una vez establecida, podía sobrevivir a la inundación, pero la mortalidad de plántulas aumentaba cuando se inundaba inmediatamente después del transplante. La emergencia de plántulas también disminuyó al aumentar la profundidad de siembra en suelo saturado y se redujo drásticamente en suelo inundado. *E. colona* no logró germinar cuando la semilla se

enterró a 2-5 cm en suelo saturado con agua hasta la superficie (Pons 1982). Si la germinación se inicia en condiciones aeróbicas, la transferencia a condiciones anaeróbicas no impide el crecimiento y el desarrollo de las plántulas (Mujer et al. 1993). *Echinochloa* spp. crece rápidamente durante el ciclo de cultivo o cuando las condiciones de humedad son adecuadas y muere durante la estación seca (Holm et al. 1977).

Las condiciones de humedad del suelo también influyen en la distribución de ecotipos de *E. colona*. Ramakrishnan (1960) encontró un ecotipo de porte alto en suelos muy húmedos o inundados y otro pequeño adaptado a suelos más secos en áreas sujetas a pastoreo. Strehl y Vianna (1977) mencionan que las condiciones ambientales, especialmente la humedad, tienen gran influencia en la variación de crecimiento, altura, diámetro y ramificación de la planta.

Crecimiento, desarrollo y reproducción

E. colona dispone de un mecanismo fotosintético C_4 (Strehl y Vianna 1977) que es más eficiente que el del arroz, por lo que presenta un crecimiento más acelerado que el del cultivo. En estudios comparativos de cuatro especies de *Echinochloa*, incluida *E. colona*, Krishnamurthy et al. (1989) encontraron altas tasas de crecimiento e intercepción lumínica con respecto a dos cultivares de arroz. Además, las especies de *Echinochloa* presentaron un bajo punto de compensación de CO_2 y una alta resistencia estomática, lo que les permitió competir más efectivamente con el arroz, que es C_3 .

Las especies de *Echinochloa* tienen la capacidad de producir una gran cantidad de semilla. Norris (1996) encontró que una planta de *E. crus-galli* puede producir hasta 20 264 semillas, las que germinan inmediatamente después de los primeros aguaceros. Por su parte Azmi et al. (1995) registraron una producción de hasta 48 000 semillas en plantas de esta especie bajo condiciones controladas. La floración y la fructificación comienzan unos 45 días después de la emergencia y se extienden hasta que las plantas completan su maduración; después de este período inician la senescencia con

el desprendimiento de las semillas (Ramakrishnan 1960). Por lo general la semilla madura y se desprende antes de la cosecha del cultivo. Las semillas de *E. colona* se dispersan a través de la maquinaria agrícola, los roedores, aves y animales mayores; también mediante los canales de irrigación en el campo (Holm et al. 1977). Las semillas de *Echinochloa* spp. tienen un período de latencia relativamente corto, de unos dos meses (Norris 1996, Holm et al. 1977); la persistencia en el suelo también es limitada. Chaves et al. (1997) encontraron que, después de 10 meses, el 70% de las semillas había desaparecido del suelo debido a la germinación o por mortalidad; las restantes permanecían en estado de latencia. Sin embargo, hay informes de grados de latencia considerables (de alrededor del 75%), aún en formas cultivadas de *E. colona*. La germinación se estimula en presencia de luz, mediante la adición de nitrato de potasio y precalentando la semilla a 40° C durante tres días (Ellis et al. 1990). En un estudio de campo realizado en Malasia (Azmi et al. 1995), después de algo más de dos años, casi no había semilla viable de *E. crus-galli* en el suelo.

La mayoría de las especies del género *Echinochloa* se autopolinizan; algunas razas de *Echinochloa pyramidalis* y *Echinochloa obtusiflora* son parcialmente incompatibles. Los híbridos entre *E. colona* y *E. crus-galli* son estériles (Yabuno 1983). A pesar de ser una maleza anual, *E. colona* puede propagarse vegetativamente al producir nuevas raíces y culmos en los nudos, cuando la planta tiene un hábito postrado. Esta característica es útil para las pruebas rápidas de diagnóstico de resistencia que usan plantas maduras recolectadas en el campo (Capítulo 4).

Algunas especies de *Echinochloa* sirven de hospederos alternos de *Pyricularia* sp., de nemátodos como *Meloidogyne incognita* y del mosaico de la caña (Holm et al. 1977). La literatura indica que también son hospederas del virus de la hoja blanca del arroz (RHBV); sin embargo, en estudios recientes realizados en Costa Rica, se documentó que el virus de la hoja blanca de *Echinochloa*, aunque se relaciona con el RHBV, es diferente de él (De Miranda et al. 1996, Madriz et al. 1998). El RHBV sólo infecta naturalmente el arroz (Hibino 1996). Varios hongos encontrados en *Echinochloa* también son patogénicos para el arroz, incluyendo *Exserohilum oryzae*, *Curvularia lunata* var. *aeria* y *Rhizoctonia solani* (Zhang et al. 1996, Kathua 1982).

Resistencia a herbicidas en *Echinochloa colona*: recuento, distribución e importancia

La resistencia a herbicidas en las malezas del arroz está aumentando y posiblemente aumente aún más, sobre todo en Asia, a medida que áreas más extensas de arroz de transplante se conviertan en arrozales de siembra directa. El arroz de siembra directa depende más de los herbicidas y el aumento en la presión de selección sin duda hará que la resistencia de las malezas a los herbicidas sea mayor. Es posible que también en América Central y del Sur se presente un incremento sustancial en el número de casos de resistencia como resultado del incremento en el uso de herbicidas inhibidores de la ALS y ACCasa.

Malezas resistentes a herbicidas en arroz

En el mundo, 30 especies de malezas asociadas al arroz han evolucionado resistencia a herbicidas, tanto a los productos de uso más amplio, como el propanil, como a los de introducción más reciente, como las sulfonilúreas (Cuadro 3).

Veinte especies, en su mayoría plantas acuáticas, han evolucionado resistencia a sulfonilúreas en cuatro continentes. El problema más amplio y diverso de resistencia a sulfonilúreas es el de Japón, donde existen nueve especies resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS, especialmente bensulfurón-metilo y pirazosulfurón-etilo, los que se han empleado en forma continua desde 1989. Ambos herbicidas, pero en especial el bensulfurón, son componentes de las llamadas formulaciones “de un tiro” (“one-shot”), las cuales son mezclas formuladas de tres o cuatro ingredientes activos, desarrolladas para

controlar un amplio espectro de malezas en una sola aplicación. Se estima que en 1991, el 84% de los arrozales japoneses recibieron tratamientos con formulaciones granuladas “de un tiro” (Shibayama 1994). La primera especie resistente a sulfonilúreas en Japón (*Monochoria korsakowii*) se descubrió en 1995, después de solo cinco años de uso de herbicidas ALS; esta especie no puede controlarse con pirazosulfurón, imazosulfurón o ciclosulfamurón (Wang et al. 1997). El segundo caso confirmado de resistencia a herbicidas ALS en Japón fue el de la maleza acuática *Lindernia micrantha* encontrada en un campo de arroz bajo monocultivo tratado durante siete años consecutivos (Itoh et al. 1999). El número de especies resistentes ha aumentado en forma continua; los casos documentados más recientes son los de *Scirpus juncoides* var. *ohwianus* (Kohara et al. 1999, Yoshida et al. 1999), *Rotala indica* var. *uliginosa* (Itoh et al. 1998), *Elatine triandra* var. *pedicellata* (Hata et al. 1998) y *Monochoria vaginalis* (Koarai 2000). Es importante resaltar que en Japón, en los sitios donde los herbicidas se han rotado, no se ha observado resistencia.

La resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS también es un problema en otros países asiáticos. Recientemente se encontró un biotipo de *M. korsakowii* resistente a sulfonilúreas en Corea (Park et al. 1999). En Malasia se han confirmado cuatro especies resistentes a estos herbicidas: *Lindernia dubia*, *Bacopa rotundifolia*, *Sagittaria guyanensis* y *Limnocharis flava* (Cuadro 3). Esta última maleza es co-resistente a sulfonilúreas y 2,4-D (Nakayama et al. 1999).

Otras especies resistentes a herbicidas inhibidores de ALS en arroz son *Alisma plantago-aquatica* en Portugal, Italia y España; *Ammania auriculata* y *Ammania coccinea* en EE.UU.; *Cyperus difformis* en Australia, EE.UU. y España; *Damasonium minus* en Australia; *S. montevidensis* en Australia, EE.UU. y Brasil; *S. mucronatus* en Italia y EE.UU. y *Scirpus maritimus* en España (Cuadro 3). *A. plantago lanceolata*, *S. montevidensis* y *S. mucronatus* son malezas importantes del arroz en Chile (Ormeño 1983), donde se sospecha que han evolucionado resistencia a sulfonilúreas (Cobo, G. 2000. Comunicación personal).

Quadro 3

Malezas asociadas con el arroz que han evolucionado resistencia a herbicidas¹.

Especie	Familia botánica	Ciclo de vida	Herbicida al que se evolucionó resistencia	País	Referencias
1. <i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alismataceae	Perenne	Bensulfurón y cinosulfurón	Portugal, Italia, España	Calha et al. 1997, 1999 Sattin et al. 1999 Claude, com. pers.
2. <i>Ammania auriculata</i>	Lythraceae	Annual	Bensulfurón	EE.UU.	Hill, com. pers.
3. <i>Ammania coccinea</i>	Lythraceae	Annual	Bensulfurón	EE.UU.	Hill, com. pers.
4. <i>Bacopa rotundifolia</i>	Scrophulariaceae	Annual	Sulfonilureas	Malasia	Itoh, com. pers.
5. <i>Cyperus difformis</i>	Cyperaceae	Annual	Bensulfurón	Australia EE.UU. España	Graham et al. 1994 Pappas-Fader et al. 1993 Claude, com. pers.
6. <i>Danthonium minus</i>	Alismataceae	Perenne	Bensulfurón	Australia	Taylor 1995
7. <i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Annual	Propanil	América Central Colombia EE.UU. México Venezuela Costa Rica Nicaragua Colombia	Carla et al. 199 Fischer et al. 1993 Carey III et al. 1995 Villa-Casarez 1998 Ortiz et al. 2000 Riches et al. 1996 Valverde et al., sin publicar Valverde et al., sin publicar Almaro, com. pers. Casley et al. 1997; Valverde et al., sin publicar; Schmidt, com. pers. Schmidt, com. pers.
			Fenoxaprop	Costa Rica	
			Propanil, fenoxaprop, azimsulfurón	Colombia	
8. <i>Echinochloa crus-galli</i>	Poaceae	Annual	Quindorac Propanil	Grecia EE.UU. Sri Lanka Tailandia China Tailandia	Giannopolitis y Vassiliou 1989 Smith et al. 1992 Marathe et al. 1997 Maneechote y Krasasindhu 1999 Huang y Lin 1993, Huang y Wang 1998 Maneechote, com. pers.
			Butaclor, tiobencarbo Butaclor		

Quadro 3
Malezas asociadas con el arroz que han evolucionado resistencia a herbicidas (continuación)¹.

Especie	Familia botánica	Ciclo de vida	Herbicida al que se evolucionó resistencia	País	Referencias
9. <i>Echinochloa crus-galli</i>	Poaceae	Anual	Butaclor, propanil Quinclorac	Tailandia EE.UU.	Manechnote, com. pers. Sanders, com. pers.; Street, com. pers.
10. <i>Echinochloa hispidula</i>	Poaceae	Anual	Quinclorac	España Brasil	Schmidt et al. 1998 Noddy, com. pers., Manezes, com. pers.
11. <i>Echinochloa oryzicola</i>	Poaceae	Anual	Quinclorac	Brasil	Noddy, com. pers.
12. <i>Echinochloa oryzoides</i>	Poaceae	Anual	Quinclorac	España	Schmidt et al. 1998, Gómez de Barreda et al. 1996
13. <i>Echinochloa phylllopogon</i>	Poaceae	Anual	Molinate, tiobencarbo Quinclorac	España	Schmidt et al. 1998, Gómez de Barreda et al. 1996
14. <i>Elatine triandra</i> var. <i>pedicellata</i>	Elatinaceae	Anual	Fenoxaprop, molinate, tiobencarbo, bispyribac-sodio	EE.UU., España	Fischer et al. 2000 Schmidt et al. 1998, Gómez de Barreda et al. 1996
15. <i>Fimbristylis miliacea</i>	Cyperaceae	Anual	Sulfonilúreas	EE.UU.	Fischer et al. 2000
16. <i>Ischaemum rugosum</i>	Poaceae	Anual	2,4-D	Japón	Hata et al. 1998
17. <i>Liriodendron flava</i>	Butomaceae	Perenne	Fenoxaprop	Malasia	Watanabe et al. 1997
18. <i>Liriodendron sessiliflora</i>	Scrophulariaceae	Perenne	2,4-D y bensulfurón	Colombia	Almaro, com. pers.
19. <i>Liriodendron dubia</i> sub spp. <i>dubia</i> , <i>L. dubia</i> var. <i>major</i> ²	Scrophulariaceae	Anual	Sulfonilúreas	Indonesia Malasia Japón	Heap 2000 Nakayama et al. 1999 Itoh y Wang 1997
			Sulfonilúreas	Japón	Itoh y Wang 1997
				Malasia	Itoh, com. pers.

Cuadro 3

Malezas asociadas con el arroz que han evolucionado resistencia a herbicidas (continuación)¹.

Especie	Familia botánica	Ciclo de vida	Herbicida al que se evolucionó resistencia	País	Referencias
20. <i>Lindernia micrantha</i>	Scrophulariaceae	Anual	Sulfonilureas	Japón	Itoh y Wang 1997
21. <i>Lindernia procumbens</i> (= <i>L. Pyxidaria</i>)	Scrophulariaceae	Anual	Sulfonilureas	Malasia	Itoh, com. pers.
22. <i>Monochoria korsakowii</i>	Porteraceae	Anual	Sulfonilureas	Japón	Itoh y Wang 1997
23. <i>Monochoria vaginalis</i>	Porteraceae	Anual	Sulfonilureas	Japón	Kohara et al. 1996, Wang et al. 1997
24. <i>Rotala indica</i> var. <i>uliginosa</i>	Lythraceae	Anual	Sulfonilureas	Korea	Park et al. 1999
25. <i>Sagittaria guyanensis</i>	Alismataceae	Anual	Sulfonilureas	Japón	Koizumi 2000
26. <i>Sagittaria montevideensis</i>	Alismataceae	Perenne	Bensulfurón Bensulfurón bispiribac-sodio	Malasia	Itoh et al. 2000
27. <i>Scirpus juncoides</i> var. <i>chirivianus</i> ²	Cyperaceae	Perenne	Sulfonilureas	Australia EE.UU. Brasil	Graham et al. 1994 Pappas-Fader et al. 1993 Naldin, com. pers.
28. <i>Scirpus maritimus</i>	Cyperaceae	Perenne	Sulfonilureas	Japón	Kohara et al. 1999
29. <i>Scirpus mucronatus</i>	Cyperaceae	Perenne	Bensulfurón, cinosulfurón Bensulfurón	España	Claude, com. pers.
30. <i>Sphenoclea zeylanotica</i>	Sphenocleaceae	Anual	2,4-D	Italia EE.UU.	Sattin et al. 1999 Hill, com. pers.
				Malasia Filipinas Tailandia	Itoh 1991 Sy y Mercado 1983, Migo et al. 1986 Itoh, com. pers.

¹ Se incluyen únicamente casos confirmados. Recopilado de la base de datos de Heap (2000) y las referencias indicadas.

² Ambas subespecies, introducidas de Norteamérica, son diferentes. La subespecie *major* se introdujo hace 80-50 años en los campos de arroz japoneses. La subespecie *cluvia* posiblemente ingresó hace unos 35-25 años (Itoh, K. 2000. Comunicación personal).

³ Esta variedad debe ser identificada correctamente como *chirivianus* no *juncoides* (Itoh, K. 2000. Comunicación personal).

La situación actual en California (EE.UU.) ilustra lo serio y amplio que puede ser el problema de resistencia a sulfonilúreas. El bensulfurón se introdujo en 1989. En 1992 se confirmaron dos poblaciones de *C. difformis* y dos de *S. montevidensis* resistentes a bensulfurón en dos condados distintos (en total cuatro campos en dos condados). Tres años después se había confirmado resistencia en 4118 sitios en trece condados, que representaban el 95% del área total de arroz. Por lo menos la mitad de estos sitios tenía más de una especie resistente y en un 60% de los arrozales de California había *S. montevidensis* resistente a sulfonilúreas (Carriere, M. D. y J. E. Hill 2000. Comunicación personal). Una característica común en la evolución de la resistencia a sulfonilúreas es la dependencia excesiva de herbicidas específicos, en especial bensulfurón, para el control de especies acuáticas y ciperáceas (Aoki et al. 1998, Calha et al. 1997, Graham et al. 1994, Graham et al. 1996, Itoh et al. 1997, Sattin et al. 1999, Sugimoto et al. 1999).

En Asia hay tres especies resistentes a 2,4-D: *Fimbristylis miliacea*, *L. flava* y *Sphenoclea zeylandica* (Cuadro 3). *F. miliacea* resistente a 2,4-D se identificó en 1989 en Malasia, en un campo en el que el herbicida se había usado estacionalmente desde 1975 en un sistema de producción de arroz de dos cosechas anuales. En este biotipo resistente se requería 22 veces la dosis recomendada de 2,4-D para poder reducir el crecimiento en un 50% (Watanabe et al. 1997). *S. zeylandica* resistente a 2,4-D se documentó por primera vez en Filipinas (Sy y Mercado 1983, Migo et al. 1986) y, más recientemente, en Malasia (Itoh 1991) y Tailandia (Itoh, K. 2000. Comunicación personal).

Aunque casi nunca invade los campos de arroz, la maleza gramínea *Ixophorus unisetus* evolucionó resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS en Costa Rica, después de unos cinco años de tratamiento con imazapir para controlarla en los bordes de los canales de irrigación y drenaje en los arrozales (Valverde et al. 1993).

En Colombia también se confirmó la resistencia de *Ischaemum rugosum* a fenoxaprop-*p*-etilo. Las áreas afectadas con más severidad son las ubicadas en los municipios de Granada (departamento de Meta) y de Cúcuta (Norte

de Santander), donde el 70% de las poblaciones analizadas no logran controlarse con el herbicida (Almario, C. 2000. Comunicación personal).

Distribución e importancia de *E. colona* resistente a herbicidas en América Central

E. colona puede provocar severas pérdidas en el rendimiento. En Colombia se documentó una reducción del 92% cuando las malezas gramíneas, en especial *E. colona*, interfirieron con el cultivo durante todo el ciclo de crecimiento (Castro y Almario 1990). El daño depende, entre otros factores, de la habilidad competitiva de la variedad de arroz. Fischer et al. (1997) documentaron pérdidas de rendimiento del 27% al 62% cuando hubo una alta densidad de poblaciones de la maleza durante todo el ciclo del cultivo. La variedad de arroz CICA8 produjo más grano y tuvo mayor capacidad de suprimir la maleza que las otras variedades probadas. Fischer y Ramírez (1993) sugieren que el empleo de variedades más competitivas, como CICA 8, podría eliminar la necesidad de controlar las malezas que emergen 30 días después del cultivo, con ahorros de hasta un 30% en los costos de combate propios de los sistemas de producción basados en el empleo de herbicidas (Capítulo 5).

En Arkansas, Stauber et al. (1991) determinaron una reducción promedio de 280 kg ha⁻¹ de grano en dos variedades de arroz, cuando la densidad de *E. crus-galli* alcanzó un máximo de 20 plantas m⁻² e interfirió con el cultivo durante el ciclo completo. Smith Jr. (1968, 1974) encontró reducciones en el rendimiento del arroz de hasta un 79% causadas por la interferencia de *E. crus-galli*. En el Cuadro 4 se presentan los rendimientos obtenidos en parcelas con empleo de herbicidas y en parcelas testigo (sin control de *E. colona*), en experimentos realizados en campos de arroz de secano del Pacífico Central de Costa Rica. En las parcelas testigo, donde no se controló la alta infestación de la maleza, el rendimiento se redujo entre un 70% y un 87%. En la finca San Gerardo, donde las densidades de *E. colona* fueron muy bajas, no se observó beneficio alguno de la aplicación de herbicidas. Es probable que el descenso en la densidad de *E. colona* observado en las parcelas testigo cuatro semanas después de la emergencia del arroz se

debiera a mortalidad dependiente de la densidad de la maleza y al impacto de la competencia del arroz, aspecto que se discute con mayor detalle en el Capítulo 5.

Cuadro 4

Efecto de la densidad de *Echinochloa colona* y su control con herbicidas sobre el rendimiento del arroz en la región del Pacífico Central de Costa Rica¹.

Localidad (finca)	Año	Variedad	Densidad (plantas m ⁻²)				Rendimiento (T ha ⁻¹)	
			Parcelas testigo		Parcelas tratadas			
			1 SDE ²	4 SDE	1 SDE	4 SDE	Test.	Trat.
La Ligia	1997	CR-5272	768	370	752	20 [1] ³	0,75	5,90
La Ligia	1997	CR-5272	152	92	102	12 [2]	1,80	5,64
La Ligia	1997	CR-5272	90	76	36	0 [3]	1,62	5,32
San Gerardo	1998	CR-1048	7	1	10	3 [4]	6,90	6,38

¹ Valverde et al. (sin publicar). Datos provenientes de cuatro experimentos independientes sobre manejo de *E. colona* con herbicidas.

² SDE: Semanas después de la emergencia del arroz.

³ Descripción de herbicidas usados en el control de *E. colona*: [1] Propanil (1,60 kg ha⁻¹) + anilofos (400 g ha⁻¹) 9 días después de la siembra (DDS); [2] Propanil (3,84 kg ha⁻¹) + pendimetalina (1,50 kg ha⁻¹) 9 DDS y propanil (3,84 kg ha⁻¹) + 2,4-D (0,24 kg e.a. ha⁻¹) 27 DDS. Las parcelas testigo se asperjaron con un graminicida sistémico a los 33 DDS; [3] Propanil (1,60 kg ha⁻¹) + anilofos (40 g ha⁻¹) + tridiphane (200 g ha⁻¹) 9 DDS; [4] Propanil (3,84 kg ha⁻¹) 13 DDS.

Las poblaciones de *E. colona* resistentes a propanil se encontraron por primera vez en Costa Rica en 1988 durante un reconocimiento realizado en respuesta a las quejas de los agricultores en relación con la pérdida de eficacia del herbicida (Garro et al. 1991). Se realizaron muestreos de *E. colona* en campos de arroz del Pacífico Central, provincia de Puntarenas, donde había un amplio historial de uso de propanil. Algunos arrozales habían sido tratados con propanil hasta tres veces por ciclo de cultivo durante 15 años, bajo sistemas de siembra de una o dos cosechas anuales. La población más resistente provino del sitio sujeto a mayor presión de selección. Cuando esta población se probó en el invernadero, se debió aplicar 8,5 veces la dosis requerida por la población susceptible de referencia para inhibir el crecimiento en un 50%. Los niveles de resistencia observados en este estudio correspondieron claramente con el grado de exposición a propanil,

excepto en dos poblaciones recolectadas en campos donde se había sembrado arroz durante 15 años (una cosecha por año). Lo interesante de estas dos poblaciones, que eran apenas 1,5 veces más resistentes que la de referencia, es que habían sido expuestas regularmente a aplicaciones pre-emergentes de pendimetalina además del tratamiento acostumbrado con propanil, lo que posiblemente previno la evolución de resistencia.

Quejas similares en relación con la pérdida de actividad del propanil y la necesidad de aplicar dosis mayores del herbicida para obtener un control aceptable condujeron al descubrimiento de resistencia en Colombia (Fischer et al. 1993). Las poblaciones colombianas exhibieron niveles de resistencia similares a los encontrados en Costa Rica; el nivel más alto fue de 8,6 veces la RC_{40} , es decir, la dosis de propanil requerida para reducir el crecimiento en un 40% (Fischer et al. 1993).

Garita et al. (1995) publicaron los resultados preliminares de un extenso reconocimiento realizado en las principales zonas arroceras de América Central, en el que se encontró un ámbito de respuestas a propanil más amplio que el documentado originalmente para las poblaciones de *E. colona* en Costa Rica y Colombia. En áreas con un amplio historial de producción intensiva de arroz, con dos cosechas anuales durante 25 años, se encontraron poblaciones 70 veces más resistentes en comparación con la población de referencia. El reconocimiento permitió corroborar que cerca del 80% de las poblaciones muestreadas en América Central eran resistentes al propanil (Cuadro 5). Más recientemente, encontramos *E. colona* resistente a propanil en México (Villa-Casarez 1998) pero no en Bolivia (Valverde et al., *sin publicar*). La resistencia a propanil también se confirmó en Venezuela (Ortiz et al. 2000).

En América Central se siembran unas 250.000 ha de arroz por año. Suponiendo que el 80% del área está infestada con *E. colona* y que alrededor del 75% de las fincas tienen poblaciones resistentes a propanil, se podría considerar que unas 150.000 ha encaran problemas de resistencia al herbicida. Si los agricultores continúan haciendo dos aplicaciones de propanil durante el ciclo de cultivo, a razón de $2,4 \text{ kg ha}^{-1}$, sin entender por qué ya no es eficaz, se podría calcular que se malgastan unos 720.000 kg (o 1,5 millones de litros)

de propanil. Desde luego que esta cifra supone que no hay ningún control de *E. colona* y no toma en cuenta el control de otras malezas. Pero si se considera que la razón principal para usar propanil es el combate de *E. colona* y que las dosis utilizadas con frecuencia llegan a 4,8 kg ha⁻¹ o más, la cifra parece conservadora. Según estimados hechos con base en el costo del producto en 1997 (US\$ 12 el litro), en América Central se malgastarían unos US\$ 18 millones en propanil al no lograrse el efecto deseado sobre las poblaciones resistentes. La estimación del impacto económico de la resistencia también debe considerar que para el control de las poblaciones resistentes se requieren herbicidas adicionales y más caros, como el fenoxaprop-*p*-etilo y el cihalofop-butilo, y que la ausencia de un control adecuado en etapas tempranas del crecimiento conduce a pérdidas significativas en el rendimiento del arroz por efecto de la competencia.

Cuadro 5

Resumen parcial del reconocimiento para determinar la respuesta a propanil en poblaciones selectas de *Echinochloa colona* de América Central y del Sur (1996-1999).

País	Total analizadas		Susceptibles		Resistencia intermedia ¹		Altamente resistente ²		Total resistentes	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
Belice	2		1	50,0	1	50,0	0	0,0	1	50,0
Bolivia	3		3	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Colombia	4		0	0,0	0	0,0	4	100,0	4	100,0
Costa Rica	31		3	9,7	5	16,1	23	74,2	28	90,3
El Salvador	21		4	19,0	3	14,3	14	66,7	17	81,0
Guatemala	4		2	50,0	1	25,0	1	25,0	2	50,0
Honduras	10		7	70,0	2	20,0	1	10,0	3	30,0
Nicaragua	19		4	21,1	1	5,3	14	73,7	15	78,9
Panamá	7		0	0,0	0	0,0	7	100,0	7	100,0
Total	101		24	23,8	13	12,9	64	63,4	77	76,2

¹ Poblaciones con índices de resistencia entre 2 y 4.

² Poblaciones con índices de resistencia mayores de 4.

En México, se recolectaron 46 poblaciones de *E. colona* en las principales regiones arroceras de Tres Valles y Tierra Blanca (Veracruz), Zacatepec (Morelos), Tuxtepec (Oaxaca) y Palizada (Campeche). La mayoría de las poblaciones resultaron de ligera a moderadamente resistentes a propanil; las más resistentes fueron las de Veracruz y Campeche (Villa-Casarez 1998). También se conoce de resistencia de *E. colona* a propanil en Chontalpa, Tabasco, y en el estado de Colima, donde se estima que hay unas 1000 ha infestadas con esta maleza resistente (Rangel, A. 1999. Comunicación personal).

La incapacidad de controlar *E. colona* con propanil ha forzado a los productores a adoptar el fenoxaprop como herbicida alternativo; por lo general éste se aplica mucho más tarde en el ciclo de cultivo (de 30-40 días después de la siembra), para eliminar las plantas que sobreviven a la aplicación repetida de propanil. Los agricultores de América Central suelen llamar a estas aplicaciones "tratamientos de rescate" (Capítulo 6). Los arroceros aceptan cierto grado de fitotoxicidad del fenoxaprop y el riesgo de pérdidas moderadas en el rendimiento, con el fin de evitar pérdidas mayores en ausencia del control de la maleza con propanil. Por razones sobre todo financieras, los agricultores usan también setoxidim, que es aún más tóxico para el arroz, pero mucho más barato que el fenoxaprop. En Nicaragua, el setoxidim es muy usado como graminicida en arroz.

Como era de esperarse, la sobre-dependencia de los herbicidas inhibidores de ACCasa impuso suficiente presión de selección para enriquecer las poblaciones de *E. colona* con individuos resistentes a estos herbicidas. Por tal razón, *E. colona* también evolucionó resistencia a fenoxaprop-*p*-etilo en Costa Rica (Riches et al. 1996), en Colombia y en Nicaragua (Valverde, *sin publicar*). Con base en pruebas confirmatorias, se estima que en Colombia, cerca del 30% de las poblaciones de *E. colona* en las áreas donde se ha usado fenoxaprop durante varios años ya son resistentes al herbicida (Almario, O. 2000. Comunicación personal). En Costa Rica hay poblaciones resistentes a propanil, a fenoxaprop y a ambos herbicidas (Caseley et al. 1997). Las poblaciones de *E. colona* de Costa Rica resistentes a fenoxaprop también los son a cihalofop-butilo, fluazifop-*p*-butilo, quizalofop, clodinafop-propargil, cicloxidim y setoxidim (Knights 1995, Riches et al. 1996, Caseley et al. 1997).

La primera población resistente a fenoxaprop-etilo descubierta en Costa Rica había sido expuesta al herbicida durante más de dos años; el año en que se recolectó para el diagnóstico, se le había aplicado infructuosamente setoxidim, después de que no se pudo controlar con fenoxaprop-etilo. En otros casos en los que ocurrió evolución de resistencia a herbicidas inhibidores de la ACCasa, el fenoxaprop-etilo fue el principal agente de selección, por lo general en rotación con setoxidim. Las poblaciones resistentes a fenoxaprop-etilo sobreviven a dosis de hasta cuatro veces la recomendada. El incremento de la dosis no mejora el control y además está limitado por la tolerancia marginal del cultivo al herbicida.

Resistencia a herbicidas en otras especies de *Echinochloa*

Otras seis especies de *Echinochloa*: *E. crus-galli*, *E. crus-pavonis*, *E. hispidula*, *E. phyllopogon*, *E. oryzicola* y *E. oryzoides* han evolucionado resistencia a herbicidas en arroz (Cuadro 3).

E. crus-galli resistente a propanil se ha documentado en Grecia (Giannopolitis y Vassiliou 1989), EE.UU. (Smith et al. 1992), Sri Lanka (Marambe et al. 1997) y, recientemente, en Tailandia (Maneechote y Krasaesindhu 1999). De estos casos, el mejor estudiado es el que afecta la producción de arroz en EE.UU. La ineficacia del propanil en dosis comerciales (3,4 a 5,6 kg ha⁻¹) para controlar *E. crus-galli* se detectó en Arkansas en 1989 y la resistencia se confirmó en 1990 (Baltazar y Smith 1994). Además se han confirmado poblaciones resistentes en otros tres estados (Louisiana, Mississippi y Texas) donde el propanil también ha sido muy usado (Carey et al. 1995). En California, el uso de propanil prácticamente se eliminó en los años 70, debido a los daños que provocaba en los cultivos caducifolios por efecto de la deriva, razón por la cual no se ha encontrado resistencia a propanil en ese estado. Sin embargo, la resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS obligó a registrar nuevamente el propanil (aunque con severas restricciones de uso en aplicación aérea), como alternativa química para el manejo de malezas (Hill, J. 2000. Comunicación personal). En Grecia, la resistencia a propanil en *E. crus-galli* evolucionó en áreas donde el arroz se había sembrado durante más de 10 años

sujeto a la aplicación reiterada del herbicida (Giannopolitis y Vassiliou 1989). En Sri Lanka, la resistencia también evolucionó bajo circunstancias similares (Marambe et al. 1997).

Huang y Lin (1993) informaron de resistencia a butaclor en *E. crus-galli* en China, en áreas donde el herbicida se había usado durante más de ocho años; también se encontró resistencia a tiobencarbo (Huang y Wang 1998). El nivel de resistencia ($IR = 15$) a ambos herbicidas está directamente relacionado con la intensidad de producción del arroz (una o dos cosechas) y el patrón de uso de herbicidas (Huang y Lin 1993, Huang y Wang 1998). Huang y Gressel (1997) estimaron que las poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a butaclor y tiobencarbo en China infestan unos dos millones de hectáreas. Recientemente, se encontraron poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a butaclor (Maneechote, C. 2000. Comunicación personal) y *E. oryzoides* resistentes a molinate y a tiobencarbo (Fischer et al. 2000) en Tailandia y California (EE.UU.), respectivamente. En Tailandia, al menos una población de *E. crus-galli* es co-resistente a butaclor y propanil (Maneechote, C. 2000. Comunicación personal).

Seis especies de *Echinochloa* han evolucionado resistencia a quinclorac. Un estudio reciente de las especies de *Echinochloa* presentes en España (*E. crus-galli*, *E. hispidula*, *E. oryzoides*, *E. oryzicola* y *E. colona*) confirmó la resistencia en *E. crus-galli* y *E. hispidula* (Schmidt et al. 1998). Puesto que informes previos hacían referencia a la resistencia en *E. oryzoides* y *E. oryzicola* (Gómez de Barreda et al. 1996), la única especie de *Echinochloa* que no ha evolucionado resistencia en España es *E. colona*. Pero hay poblaciones de *E. colona* resistentes a quinclorac en Colombia (Schmidt, O. 2000. Comunicación personal). Además, hay poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a quinclorac en dos estados en los EE.UU.: Louisiana (Sanders, D. 2000. Comunicación personal) y Mississippi (Street, J. 2000. Comunicación personal), y en Brasil. Las poblaciones brasileñas soportan al menos dos veces la dosis recomendada de quinclorac aunque continúan siendo susceptibles a herbicidas con modo de acción alternativo, incluidos clomazone, inhibidores de la ACCasa (fenoxaprop y clefoxidim), propanil y bispiribac-sodio (Menezes, V. 2000. Comunicación personal; Noldin, J. A. 2000. Comunicación personal). En Brasil también se confirmó la resistencia a quinclorac de *E. crus-pavonis* (Noldin, J. A. 2000. Comunicación personal).

Uno de los casos de resistencia más preocupantes es el de dos especies de *Echinochloa* en California. Se han encontrado poblaciones de *E. phyllopogon* resistentes a fenoxaprop-etilo, tiobencarbo, molinate y bispiribac-sodio y de *E. oryzoides* resistentes a molinate y tiobencarbo (Fischer et al. 2000). La resistencia múltiple en estas especies y la co-resistencia a propanil y fenoxaprop en *E. colona* y a propanil y butaclor en *E. crus-galli* ilustra el riesgo del mal manejo de los herbicidas en arroz. Un biotipo de *E. colona* de Costa Rica (CR-65) resistente a propanil y fenoxaprop también lo es a azimsulfurón (Schmidt, O. 2000. Comunicación personal). Además, hay poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a trifluralina en algodón en California (Ritenour et al. 1999); estas poblaciones tienen resistencia cruzada a pendimetalina, que se usa con frecuencia en arroz y constituye una importante alternativa para el manejo de la resistencia en plantaciones infestadas con *E. colona* resistente a propanil (Capítulo 5).

Cómo diagnosticar la resistencia a herbicidas en *E. colona*

Los métodos descritos en esta sección son para herbicidas post-emergentes, usados en plántulas en macetas provenientes de semillas recolectadas en los campos donde se sospecha que hay resistencia. Estos métodos pueden modificarse ligeramente para probar herbicidas pre-emergentes de modo que se asemejen a una aplicación de campo típica. En el capítulo siguiente (Capítulo 4) se describen en forma detallada otros métodos que permiten la rápida detección de resistencia a propanil y fenoxaprop. Además, se dan algunas recomendaciones acerca de cómo realizar la recolección de semillas y el registro de información en los campos muestreados.

Para obtener las plántulas requeridas para los bioanálisis de propanil o fenoxaprop, las semillas recolectadas en el campo se ponen en remojo durante 24 horas, cambiándoles el agua por lo menos dos veces antes de colocarlas en cajas de petri sobre papel de filtro (Whatman N° 2) humedecido para que germinen a 25° C.

Cuando las plántulas desarrollan su primera hoja se transplantan a macetas plásticas (de 4 a 5 plántulas por maceta) con aproximadamente 250-300 g de suelo complementado con 2 g del fertilizante 10-30-10. Es preferible transplantar en horas avanzadas de la tarde para que las plántulas se establezcan mejor, pues cuando están recién transplantadas son muy sensibles a la alta intensidad lumínica. Las plántulas se dejan crecer en el invernadero hasta que tengan tres hojas para las pruebas con propanil, o hasta que alcancen el estado de crecimiento deseable para las pruebas con fenoxaprop; por lo general, el producto se aplica unos 25 a 30 días después del transplante, que es la edad que tiene la planta cuando los agricultores realizan las aplicaciones en el campo. El día previo a la aplicación del herbicida, se ralean las plantas, dejando las tres más uniformes en la maceta. Si se desea, es posible tratar más plantas, siempre y cuando se utilicen recipientes del tamaño apropiado.

En todos los bioanálisis realizados para el diagnóstico de la resistencia a propanil en América Central se usó la formulación comercial de propanil, Stam M4 AC 48% EC (480 g L⁻¹, Rohm and Haas). Es importante usar la misma formulación, porque la composición de los ingredientes inertes, en especial los solventes, varía entre formulaciones. Para las pruebas debe seleccionarse un amplio ámbito de dosis. De acuerdo con la experiencia de los autores, si se sospecha de resistencia a propanil, un ámbito apropiado es el de 0, 0,35, 0,7, 1,4, 2,8, 5,6, 11,2 y 22,4 kg propanil ha⁻¹). La proporción entre dosis puede variarse para facilitar la medición y dilución del herbicida, según el contenido de propanil en la formulación usada. Si se sospecha que las plantas son susceptibles, se pueden eliminar las dos dosis más altas y agregar dos dosis en el extremo inferior del ámbito. Por lo general se incluyen dos grupos de testigos sin tratar y de cuatro a seis repeticiones por experimento. Lo ideal es repetir cada experimento para poder corroborar los resultados. En condiciones estándares de prueba se estableció un volumen de aplicación de 200 L ha⁻¹ provisto por una boquilla Teejet 8001VS a una presión de 2,06 bares, en una cámara de aspersión (R & D Sprayers, Opelousas, Louisiana, USA). Con fines experimentales, las plantas también se pueden tratar con una aspersora de espalda de CO₂, que permite la aplicación a presión constante. Para pruebas confirmatorias, se puede emplear una aspersora comercial de espalda debidamente calibrada.

Las plantas se mantienen en el invernadero hasta que desarrollen síntomas de toxicidad (Figura 3). Los biotipos susceptibles a propanil asperjados y mantenidos en alta intensidad lumínica desarrollan síntomas en unas horas y pueden evaluarse visualmente unos tres días después del tratamiento. Para tal efecto, se puede usar una escala porcentual en la que 0 representa la ausencia de daño (crecimiento y condiciones de la planta idénticas a las del testigo sin tratar) y 100 corresponde a la muerte de la planta. Las plantas se pueden cosechar para determinar su peso fresco aproximadamente una semana después de la aspersión. El período para la evaluación visual y la cosecha depende de las condiciones ambientales posteriores a la aplicación; la actividad del herbicida se acelera en condiciones cálidas y soleadas. Las plantas no deben mantenerse más de lo necesario en el invernadero porque las plantas testigo continúan creciendo en exceso y las expuestas a las dosis más altas pierden los tejidos necrosados, los que comienzan a deteriorarse cuando entran en contacto con el suelo húmedo.

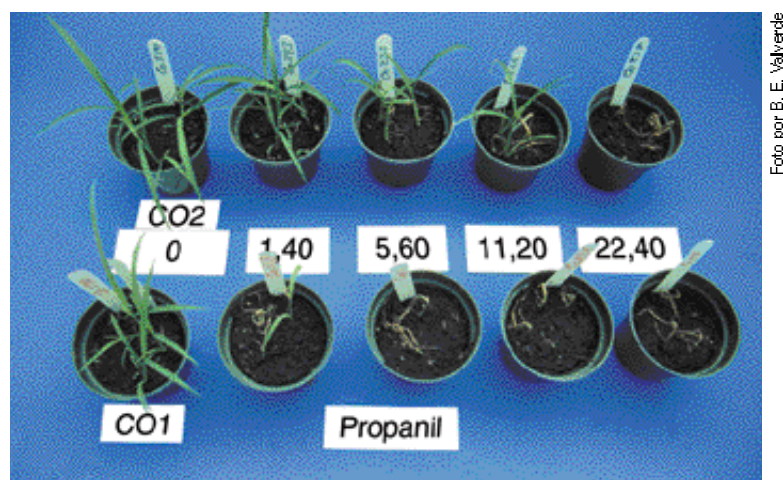


Figura 3. Bioanálisis de propanil con plantas de *E. colona*. El biotipo CO1 es susceptible a propanil. El biotipo resistente (CO2) no se logró controlar con propanil en dosis de hasta 11,2 kg ha⁻¹.

El peso fresco del follaje se usa para determinar la respuesta del biotipo a dosis crecientes del herbicida en combinación con un procedimiento estadístico adecuado. Para determinaciones críticas y diagnóstico de poblaciones resistentes se requiere emplear las técnicas rigurosas de bioanálisis descritas y análisis estadísticos complejos. Sin embargo, para pruebas confirmatorias ejecutadas por agricultores o asesores de campo, se pueden tratar plantas en macetas con dosis de herbicidas en un ámbito que comprenda entre la mitad y cuatro veces la dosis comercial. Si se incluye una población susceptible de referencia se puede confirmar (o desechar) visualmente la resistencia al herbicida, tal como se describe en el Capítulo 4. En el texto en recuadro al final de este capítulo se describe un modelo estadístico para el análisis de curvas de respuesta a dosis crecientes de herbicidas.

Para comparar los niveles de resistencia entre poblaciones, se calcula el valor de RC_{50} con base en la inhibición del crecimiento provocada por el herbicida. Este valor representa la dosis de herbicida que inhibe el crecimiento (peso fresco) de las plantas tratadas en un 50% en relación con las plantas testigo (ver texto en recuadro). Para cuantificar el nivel de resistencia se comparan las respuestas de la población desconocida o de la que se sospecha tiene resistencia con la de la población conocida como susceptible, mediante un índice de resistencia (IR). El IR se calcula como la razón entre el valor de RC_{50} de la población de interés sobre el valor de RC_{50} de la población susceptible (texto en recuadro). Cuando el valor del IR es mayor de 2, la población bajo escrutinio se puede considerar como resistente. Como ya se mencionó, las primeras poblaciones de *E. colona* confirmadas como resistentes a propanil tenían valores de IR de hasta 8,5. En el reconocimiento posterior se encontraron poblaciones con valores de IR superiores a 70. El valor de RC_{50} de la población susceptible de referencia fue de $0,20 \text{ kg ha}^{-1}$, usando la formulación Stam M4 AC.

En México, los bioanálisis se realizaron con la formulación Stam LV-10 (360 g L^{-1}), que es la más usada en ese país. Para efectos comparativos, algunas poblaciones también se trataron con Stam M4 AC, que es menos activo que Stam LV-10. Los valores de RC_{50} obtenidos con Stam LV-10 fueron inferiores a los obtenidos con Stam M4 AC. El Stam LV-10 contiene solventes más pesados que el Stam M4 AC para reducir la evaporación. Estos solventes favorecen la penetración foliar del herbicida, por eso la formulación Stam LV-10 es más activa.

Para la prueba del fenoxaprop-*p*-etilo se usaron macetas más grandes, que permitieran un crecimiento adecuado de las plantas. Las dosis empleadas fueron de 0, 2, 10, 4, 20, 8, 44, 16, 88, 33, 75, 67, 5, y 135, 0 g e.a. del isómero activo ha⁻¹. Dado que los síntomas demoran más en desarrollarse, las plantas se evalúan visualmente 7-10 días después del tratamiento y se cosechan unas dos semanas después de la aplicación del herbicida.

Es importante recalcar la necesidad de obtener una población testigo (susceptible) adecuada para realizar los diagnósticos. Las poblaciones susceptibles son controladas por el herbicida a dosis inferiores a las recomendadas para la aplicación de campo.

Determinación de la RC_{50} con base en la curva de respuesta a dosis crecientes

Cuando se analiza y compara la respuesta diferencial de poblaciones de plantas a herbicidas, el modelo logístico es el más apropiado para describir las curvas de respuesta a dosis crecientes del herbicida:

$$U_{ij} = C_i + \frac{D - C_i}{1 + \exp[b_i(\log(z_j) - \log(RC_{50(i)}))]}$$

donde U_{ij} denota la respuesta a la dosis j del herbicida i ; D representa la asíntota superior del crecimiento de las plantas a la concentración cero que se supone es similar para el experimento (tratamiento testigo), y C_i es el límite inferior a una dosis infinita del herbicida i . RC_{50} denota la dosis requerida del herbicida i para reducir el crecimiento de la planta a la mitad del valor entre D y C_i , y b_i es la pendiente de la curva cerca de la $RC_{50(i)}$. La curva de respuesta típica a dosis crecientes descrita con esta ecuación se ilustra en la Figura 4.

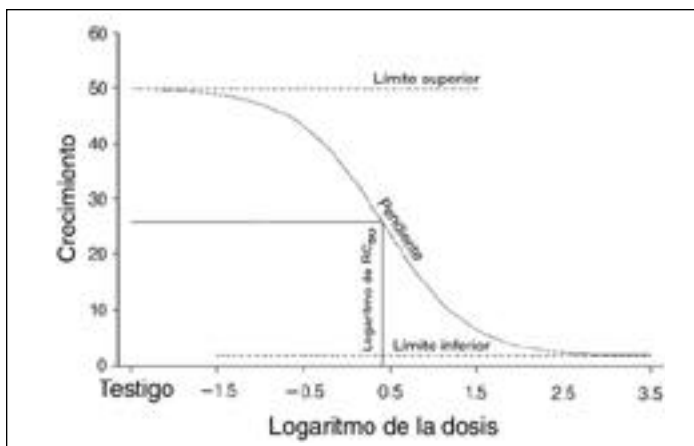


Figura 4. Curva típica que representa la respuesta de las plantas a un herbicida aplicado en dosis crecientes. El valor de RC_{50} corresponde a la dosis requerida para inhibir el crecimiento a la mitad del de las plantas no tratadas. (Esta figura es cortesía de J. C. Streibig).

El valor de RC_{50} representa, por lo tanto, la dosis de herbicida requerida para disminuir el crecimiento en un 50% en relación con el crecimiento del testigo sin tratar. Los valores de RC_{50} se usan para comparar los biotipos. La razón de la RC_{50} de un biotipo desconocido sobre la RC_{50} de un biotipo susceptible de referencia se denomina índice de resistencia (IR):

$$IR = RC_{50} \text{ población analizada} / RC_{50} \text{ población susceptible de referencia}$$

Streibig (1988) y Seefeldt et al. (1995) dan detalles acerca de cómo proceder con el análisis estadístico.

Detección de resistencia a herbicidas en poblaciones de *E. colona*

A pesar de que ahora se conocen bien las condiciones bajo las cuales las poblaciones de *Echinochloa* pueden evolucionar resistencia y de que se brinda asesoría a los productores para reducir la posibilidad de que ocurran estos problemas, es esencial garantizar un diagnóstico confiable cuando los agricultores informan sobre pérdida de eficacia de los herbicidas. Por lo general, los reconocimientos para determinar la distribución de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas dependen de estudios de invernadero en los que se aplican herbicidas en post-emergencia que cubren un amplio ámbito de dosis, sobre plantas provenientes de semillas recolectadas en el campo. En este capítulo se describen los pasos necesarios para realizar un diagnóstico confiable de la respuesta de *E. colona* a herbicidas.

Importancia del diagnóstico apropiado

La respuesta a herbicidas en las poblaciones de una maleza que se ha tornado resistente se monitorea básicamente por dos razones. En primer lugar, para determinar la distribución geográfica del problema y establecer prioridades de investigación en los programas de manejo de malezas, los investigadores recurren a reconocimientos o recuentos de material vegetal recolectado en áreas extensas. En segundo lugar, estos trabajos permiten obtener información para brindar opciones de manejo que puedan ser adoptadas por los agricultores. Este enfoque se ha empleado en muchos sitios en el mundo y con frecuencia constituye la respuesta inicial después que se reporta que una especie susceptible se ha tornado resistente a cierto herbicida. Por ejemplo, cuando se confirmó resistencia a propanil en *E. colona* en Costa Rica, se realizaron recuentos con semilla recolectada específicamente para

este fin en las principales zonas productoras de arroz de América Central, de acuerdo con los procedimientos bioanalíticos descritos en el Capítulo 3, algunos de cuyos fundamentos se amplían en este capítulo.

Para algunos herbicidas también se han desarrollado procedimientos para la detección rápida de resistencia en malezas inmediatamente después de que se conoce del aparente fallo del herbicida en el campo. En este caso, se pretende suministrar resultados al agricultor en unos pocos días, para que pueda tomar una medida correctiva oportuna, ya sea empleando un herbicida con diferente modo de acción si se confirma la resistencia, o volviendo a aplicar el herbicida si la población es susceptible. Dado que, por lo general, la respuesta a los herbicidas depende del estado de crecimiento o desarrollo de la maleza, es esencial hacer un diagnóstico rápido del problema. También es importante realizar el análisis con un procedimiento que garantice la repetitividad de los resultados. En este capítulo se describen algunos principios generales y varios protocolos de análisis que resultaron exitosos para identificar poblaciones resistentes a propanil o fenoxaprop.

El análisis de la planta entera

Este es el método más usado para determinar la resistencia; se utilizó en los recuentos de resistencia a propanil en *E. colona* en América Latina descritos en el Capítulo 3 y también fue utilizado para el diagnóstico de resistencia a propanil en *E. crus-galli* en el sur de los Estados Unidos. Para realizar este tipo de análisis, se recolecta semilla de poblaciones en un reconocimiento de campo; las semillas se llevan a un centro de análisis, por lo general en una estación experimental, donde se obtienen plantas en macetas que son asperjadas con el herbicida en un amplio ámbito de dosis, que incluye y supera la dosis comercial. Se procede a registrar la sobrevivencia y el crecimiento subsecuente de las plantas tratadas, para compararlos con una población susceptible de referencia, que se incluye como parte de cada bioanálisis y que debe ser controlada con el herbicida aplicado en dosis similares o inferiores a la comercial. Por lo general, la población susceptible proviene de un campo donde el herbicida nunca ha sido empleado o donde el uso ha sido muy limitado,

para garantizar que no ha estado sujeta a la presión de selección que conduce a la evolución de resistencia. Una vez que se identifica una población susceptible adecuada es importante mantener una reserva de semilla viable para futuros bioanálisis. Las plantas de *Echinochloa* se multiplican fácilmente a partir de plantas cultivadas en macetas. Para preservar la pureza de la muestra, se deben embolsar las panículas emergentes, con el fin de evitar la polinización cruzada y recolectar fácilmente la semilla producida. Es importante colocar la bolsa sobre los culmos en floración antes de que se produzca polen.

Recolección de semilla, etiquetado y almacenamiento

Para que los análisis sean exitosos, se requiere semilla madura, de buena calidad y que germine fácilmente. La semilla debe ser representativa del campo para el cual se desea obtener información sobre el estado de la resistencia. Debe recolectarse semilla seca, en bolsas o sobres de papel debidamente identificados, provenientes de panículas que, de ser posible, ya hayan empezado a desprenderlas, pues esta es una indicación de que la semilla está madura. No se debe recoger semilla de las panículas inmaduras, porque tendrán una germinación muy pobre. La recolección de la semilla en el campo debe hacerse en distintos sitios, evitando los márgenes, donde es posible que las aplicaciones de los herbicidas no hayan sido adecuadas. También se deben evitar las áreas del cultivo adyacentes a árboles, sobre todo cuando los herbicidas se aplican por vía aérea, y las bandas donde se concentran poblaciones de *E. colona*, pues pueden ser una indicación de que no fueron debidamente tratadas. Si el agricultor identifica sectores del terreno donde las densidades de la maleza se han venido incrementando a través del tiempo, se pueden hacer recolecciones localizadas por separado. Si la semilla se recolecta muy temprano en la mañana, cuando los campos todavía están muy húmedos por efecto del rocío, se debe poner al sol o extender en un sitio bien aireado para que se seque tan pronto como sea posible. Las bolsas con semilla húmeda no deben mantenerse en recipientes plásticos o en un vehículo sin ventilación adecuada. Después de la recolección y el secado, la semilla se puede almacenar en envases de vidrio o en bolsas, en un lugar fresco y seco. En cada sitio de recolección se debe tratar de obtener la siguiente información:

- Uso del campo e historial de cultivo;
- Historial del uso de herbicidas;
- Prácticas de manejo en los períodos de descanso, labranza y control de malezas en el cultivo actual;
- Uso de herbicidas, mezclas de tanque, coadyuvantes adicionales, dosis, método de aplicación y condiciones ambientales previas, durante y posteriores a la aplicación;
- Opinión del agricultor sobre la eficacia del herbicida en épocas anteriores.

Propagación de plantas para análisis

La selección de los envases o maceteros y del suelo donde crecerán las plantas que serán evaluadas no es un aspecto crítico del diagnóstico, y más bien depende de los medios y condiciones disponibles. Las macetas o bandejas deben ser lo suficientemente profundas como para contener el suelo necesario para que las plantas crezcan sin sufrir por falta de humedad y tener perforaciones en el fondo que permitan un drenaje adecuado; el suelo debe fertilizarse para garantizar plantas vigorosas y saludables. Las macetas de 9 a 15 cm de diámetro, con capacidad para 0,5-1 litro de suelo, son ideales para el crecimiento de tres plántulas de *E. colona*. Si no se dispone de macetas se pueden usar bandejas pequeñas. Es importante contar con suficientes plantas de tamaño y crecimiento uniforme, pues una parte de ellas será tratada y la otra servirá como testigo. Las semillas se pueden sembrar directamente en el suelo; luego se ralean las plántulas, dejando sólo tres por maceta. Sin embargo, la experiencia indica que el establecimiento de las plántulas puede ser desuniforme, dependiendo de la edad de la semilla. Es muy fácil lograr uniformidad si se siembran semillas pregerminadas. Para tal efecto, se coloca semilla en papel de filtro o toallas de papel humedecido y se mantienen bajo iluminación para que germinen. La semilla pregerminada se debe transferir al suelo tan pronto como la raíz empiece a salir de la cubierta seminal, pues si las plántulas han crecido mucho, el establecimiento es más difícil. Si las plántulas se han establecido a partir de semilla sembrada directamente en el suelo, las

diferencias de uniformidad se pueden corregir transplantándolas cuando emerge la primera hoja.

Independientemente del sistema de propagación, por cada sitio a evaluar se deben tener 30 plantas de tamaño y estado de crecimiento (número de hojas) similares, para tratar con cada dosis de herbicida; además hay que mantener otras 30 plantas como testigo sin tratar. Por ejemplo, si se desean tratar 10 macetas con tres plantas cada una, se recomienda sembrar unas cinco adicionales, para luego seleccionar las diez que contengan las plantas más uniformes y saludables. Las plantas deben mantenerse en un sitio bien soleado o iluminado, pero no a plena exposición, para permitir un crecimiento normal sin que el suelo se seque muy rápido.

Aplicación del herbicida y evaluación de las plantas

Se debe hacer un escrutinio con varias dosis del herbicida para cada población de *E. colona* recolectada, y contar con un conjunto de plantas sin tratar que sirvan como testigo.

Para propanil, las plantas se deben asperjar cuando tienen de 3-4 hojas, pues conforme se desarrollan, la actividad del propanil disminuye. El herbicida se debe aplicar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, en un ámbito de dosis como el mencionado en el capítulo anterior, que cubra de 0,25 a 4 veces la dosis típica de campo para las formulaciones en concentrado emulsionable que contienen 360 g i.a. L⁻¹ (ej. Stam F34) o 480 g i.a. L⁻¹ (ej. Stam M4 AC). Tal como se indicó anteriormente (Capítulo 3), se debe usar la misma formulación para todas las pruebas y evitar las formulaciones que contengan propanil más un sinergista (ej. Stamfos, Super Wham) u otro herbicida en mezcla (ej. Stampyr, Arromax). Es preferible asperjar por la mañana y en un día soleado, porque la actividad del propanil depende de la luz. Las plántulas susceptibles deben morir con dosis máximas de 1,5 kg de ingrediente activo ha⁻¹. Las plantas resistentes, aunque es posible que pierdan las hojas más viejas, continuarán creciendo y producirán nuevo follaje, recuperándose del daño inicial a esta dosis y a dosis más

altas. Para garantizar la confiabilidad de los resultados, es importante repetir el bioanálisis.

Para fenoxaprop, las plantas deben tratarse con diluciones que contengan una gama adecuada de dosis, como se indica en el Capítulo 3. Para diagnósticos confirmatorios y con plantas más jóvenes, el ámbito de dosis puede reducirse e incluir sólo las de 0, 15, 30, 60 y 120 g de ingrediente activo (éster del isómero activo de fenoxaprop) ha^{-1} aplicadas a plántulas de cuatro hojas. Las plantas susceptibles morirán al ser expuestas a dosis de 30 g o menos, mientras que las resistentes producirán hijos y se repondrán del daño provocado por el herbicida en dosis de 60 g o más de la formulación que sólo contiene el isómero activo (ej. Furore de 45 g i.a. L^{-1}). El síntoma inicial de actividad del fenoxaprop sobre *E. colona* es la detención del crecimiento. Por lo tanto, las plantas bajo prueba deben mantenerse por un período adecuado, que puede ser de hasta tres semanas, dependiendo de las condiciones ambientales, para asegurarse de que los individuos resistentes no reinician el crecimiento.

En los trabajos de investigación, los herbicidas se aplican sobre las plantas de prueba empleando una cámara de aspersión (Capítulo 3). Si no se cuenta con este tipo de equipo, el tratamiento se puede realizar con una aspersora debidamente calibrada para que aplique 200 Lha^{-1} a través de una boquilla de abanico plano. Las hojas de las plantas deben estar secas al momento de la aplicación y se debe evitar el salpique de agua o riego por aspersión durante las seis horas siguientes. Por lo tanto, es mejor asegurarse de que el suelo esté bien húmedo antes de aplicar el producto.

Las plantas se deben revisar regularmente para observar el desarrollo de síntomas de toxicidad y comparar el crecimiento de las tratadas y del testigo para cada población. Para determinar si las plantas provienen de una población resistente, se puede contar el número de individuos que sobreviven a la aplicación del herbicida o determinar el peso fresco de las plantas una semana después de la aspersión en el caso del propanil, o dos semanas después, en el caso del fenoxaprop. Los resultados se comparan con los obtenidos con plantas conocidas como susceptibles al herbicida respectivo.

Para obtener resultados consistentes, es importante poner atención a la calibración del equipo y la preparación de las diluciones, usar semilla de buena calidad y mantener condiciones de crecimiento apropiadas, en especial, riego uniforme.

Pruebas rápidas

Los bioanálisis de invernadero con plantas obtenidas de semillas requieren de mucho tiempo. Desde que las plantas sobreviven al efecto de un herbicida en el campo, hasta que se producen las semillas y se obtienen las plántulas para el bioanálisis pueden transcurrir varios meses. Por esta razón, se han desarrollado procedimientos para determinar el grado de la resistencia de *E. colona* en varios estados de crecimiento, desde la plántula hasta las plantas en floración. Todos los análisis pueden realizarse con formulaciones comerciales tanto de propanil como de fenoxaprop.

Pruebas con semillas pregerminadas

Para este bioanálisis se colocan 20 semillas del biotipo susceptible y de la muestra de *E. colona* que se evaluará sobre papel de filtro o toalla humedecido, en la tapa de una caja de Petri y se siembra la mitad de la caja con cada biotipo. Cuando las plántulas desarrollan dos hojas de unos 2 cm, las tapas se invierten para sumergir las plántulas durante un minuto en 25 ml de herbicida vertidos en la base de la caja. Como las plántulas están enraizadas en el papel, no hay peligro de que se desprenden y caigan en la dilución del herbicida.

Para propanil se recomiendan las siguientes dosis: 0, 187, 375 y 750 mg L⁻¹;

Para fenoxaprop se pueden usar dosis de 0, 0,125, 0,25 y 0,5 mg i.a. L⁻¹.

Después del tratamiento, las tapas con las plántulas se colocan en una caja transparente sellada con plástico, con una lámina de 2 mm de agua para humedecer el aire. Luego las cajas se instalan bajo luz (las plántulas tratadas con propanil deben mantenerse en la oscuridad durante las primeras 24 horas) y las plántulas se evalúan visualmente en forma regular. A los siete días del tratamiento se mide la altura de las plantas y se compara con la altura promedio de las plantas susceptibles no tratadas. En el caso del propanil, las diferencias en crecimiento entre plantas susceptibles y resistentes son notorias a dosis de 375 - 750 mg L⁻¹, y para fenoxaprop, cuando la dosis es de 0,25 mg L⁻¹.

Pruebas con plántulas

Para esta prueba se pueden usar plántulas obtenidas directamente en el campo, siempre y cuando se tenga el cuidado de mantenerlas frescas hasta que lleguen al sitio donde se realizará el bioanálisis. También se pueden usar plántulas cultivadas en macetas a partir de semillas recolectadas previamente. Si se utilizan plantas que han sobrevivido al tratamiento con propanil en el campo, la prueba tiene la ventaja de que la población también se puede probar con fenoxaprop, lo que ayuda en la selección del tratamiento alternativo en post-emergencia.

Se deben probar diez plántulas de cada sitio por dosis de herbicida, en diferentes estados de crecimiento: de cuatro hojas a un hijo, de dos a tres hijos o durante la elongación del tallo. El suelo adherido a las raíces se lava con cuidado y las plántulas se podan con tijeras filosas, dejando unos 7 cm de follaje y 5 cm de raíz. Luego las plántulas se colocan en una solución de agar al 0,2 % a la que se le ha adicionado una de las dosis del herbicida. Para preparar la solución de agar (2 g L⁻¹) se calienta lentamente el agua, agitando bien hasta que el polvo se disuelva; luego se lleva a ebullición y se mantiene caliente (unos 20 °C) durante una hora. El herbicida se agrega a la solución de agar cuando ésta se ha enfriado, pero antes de que se espese demasiado, para que se mezcle bien. Se debe trabajar en un lugar bien ventilado.

La preparación del herbicida en agar se vierte en envases angostos o botellas de vidrio, en cantidad suficiente como para cubrir las raíces. Para tratar plántulas de cuatro hojas a un hijo, son suficientes unos 15 ml de agar en una botella de 20 ml; para plántulas más grandes se pueden colocar 25 ml en un envase de 30 ml.

Para propanil se sugiere usar las siguientes dosis: 0, 12,5, 25, 50 y 100 mg i.a. L⁻¹ (Figura 5a y 5b);

Para fenoxaprop se puede usar: 0, 0,025, 0,1 y 0,4 mg i.a. L⁻¹ (Figura 6a y 6b).

Las botellas deben mantenerse en condiciones tibias y luminosas, pero no a plena exposición solar. Las plantas tratadas con propanil se colocan en la oscuridad durante las primeras 24 horas. Es importante examinar las botellas a diario y agregar el agua necesaria para reponer las pérdidas por evaporación. Unos siete días después, se mide la longitud de los nuevos tallos y se compara con la de los tallos de las plantas susceptibles utilizadas como testigo.

Pruebas con hijos

En las plantas de *E. colona*, desde los tres hijos hasta la floración se pueden encontrar hijos enraizados, los que pueden separarse tanto de las plantas en el campo como de las que han crecido en macetas. Después de separar cuidadosamente los hijos del culmo principal, se lava bien el suelo adherido y se corta el exceso de raíz y follaje para dejar sólo 10 y 5 cm, respectivamente. Los hijos podados se colocan en la solución de agar al 0,2% con el herbicida en las mismas dosis empleadas en las pruebas con plántulas. Son suficientes unos 20 ml de agar en una botella de 25 ml. Las botellas con los hijos tratados con propanil se mantienen las primeras 24 horas en la oscuridad. El nivel del agar en cada botella se debe revisar y mantener a diario, adicionando agua tal como se indicó antes. La longitud del follaje que crece a partir de los hijos podados se determina a los siete días.

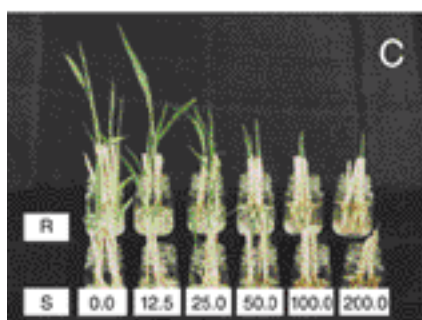
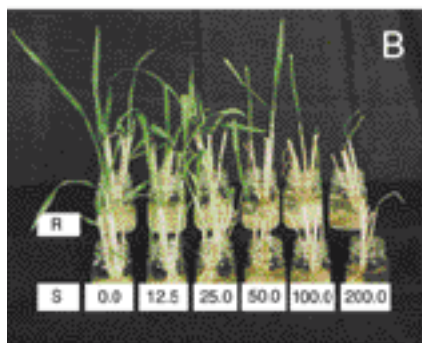
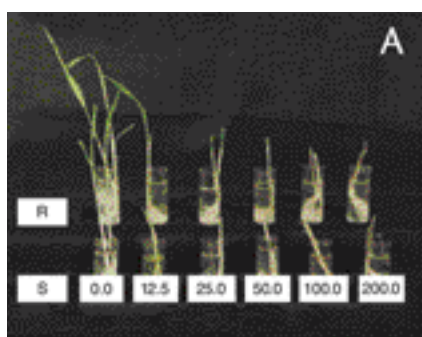


Figura 5. Pruebas rápidas para determinar la respuesta de poblaciones de *Echinochloa colona* a propanil. A. Prueba de plántula de 3-4 hojas. B. Prueba de plántula de 2 hijos. C. Prueba de culmo con nudos. Las dosis de propanil se indican en mg L⁻¹.

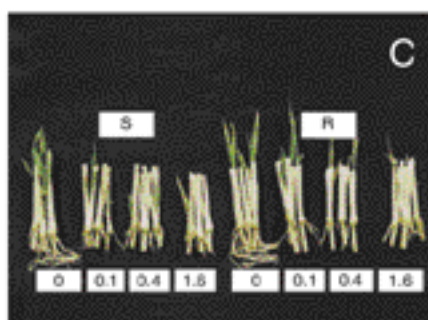
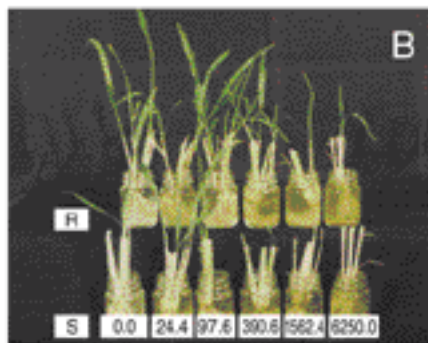
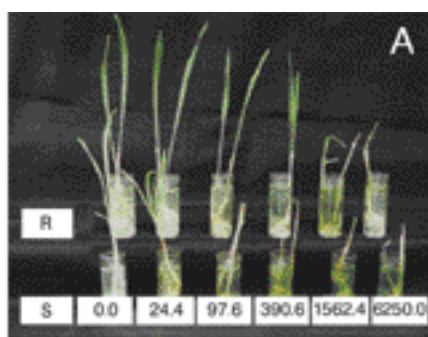


Figura 6. Pruebas rápidas para determinar la respuesta de poblaciones de *Echinochloa colona* a fenoxaprop. Las dosis de fenoxaprop-*p*-etilo están en mg L⁻¹, excepto para la prueba de culmos con nudo en las que están en mg L⁻¹. A. Prueba de plántula de 3-4 hojas. B. Prueba de plántula de 2 hijos. C. Prueba de culmo con nudos.

Fotos por Do-Soon Kim

Prueba de culmos con nudos

E. colona puede propagarse a partir de culmos individuales con nudos, los que producen raíces fácilmente desde la elongación de los culmos hasta la floración. Los fragmentos de culmo enraizados pueden usarse para discriminar entre plantas adultas susceptibles y resistentes. Para la propagación, se colocan durante 24 horas en agua secciones de culmo de unos 8 cm de longitud que incluyan el segundo o tercer nudo. Luego se colocan en posición vertical por un período adicional de 24 a 48 horas, para acelerar la iniciación de raíces y el crecimiento. Una vez enraizados, los culmos se transfieren para que continúen creciendo en agar más herbicida, de acuerdo con los procedimientos descritos para las pruebas con plántulas e hijos.

Para propanil use las mismas dosis de la prueba con plántulas (Figura 5c);

Para fenoxaprop use 0, 0,1, 0,4 y 1,6 mg i.a. L⁻¹ (Figura 6c).

La longitud de los nuevos tallos se mide unos diez días después. Las pruebas con hijos y culmos con nudos constituyen una opción barata para probar *E. colona* proveniente de campos donde el herbicida no fue eficaz y proporcionan información útil para que el agricultor planee con antelación las prácticas de manejo del próximo cultivo.

Resultados típicos

En el Cuadro 6 se presentan resultados típicos obtenidos con poblaciones de *E. colona* conocidas como resistentes y susceptibles. La longitud de los nuevos tallos de plántulas, hijos y culmos con nudos después de la poda sirve para identificar resistencia a propanil y fenoxaprop. En las pruebas con propanil, la dosis de herbicida requerida para inhibir el crecimiento de las plantas resistentes en un 50% - en comparación con las susceptibles - fue de 1,5 a 2,5 mayor. En las pruebas con fenoxaprop las diferencias fueron mayores, de 2 a 25 veces la dosis requerida para inhibir el crecimiento de las plantas susceptibles. La evaluación visual permite anticipar la respuesta que ocurrirá en el campo.

Cuadro 6.

Resumen de las respuestas (RC_{50} s) de poblaciones de *E. colona* resistentes (RP) y susceptibles (SP) a propanil y resistentes (RF) y susceptibles (SF) a fenoxaprop, obtenidas en pruebas rápidas¹.

Prueba	Estado de crecimiento	Propanil		Fenoxaprop		IR
		RP	SP	RF	SF	
Plántula	4 hojas - 1 hijo	13,2	9,3	1,4	0,94	25,6
Plántula	2 - 3 hijos	38,7	17,3	2,2	0,55	6,4
Hijo	3 - 4 hijos	37,4	21,2	1,8	0,14	1,9
Culmo con nudo	Emergencia de panícula a floración	26,6	10,7	2,5	2,72	13,3

¹ RC_{50} s en mg i.a. L^{-1} , indica la dosis de herbicida requerida para reducir el rebrote de los tallos en un 50% del de las plantas sin tratar.

² IR (Índice de Resistencia) es la razón entre los valores de RC_{50} de los biotipos R y S.

Equipo requerido

El equipo de laboratorio necesario para las pruebas rápidas es mínimo. Sólo se requiere lo siguiente:

- Jeringas plásticas desechables de las que se consiguen fácilmente en cualquier farmacia, de 1, 5 y 100 ml, para medir el herbicida concentrado y preparar las dosis deseadas;
- Probeta o cilindro graduado para medir hasta 250 ml;
- Envases o botellas con tapa de rosca de 0,5 ó 1 L de capacidad para mezclar las diluciones;
- Botellas o envases de boca ancha de 20 y 30 ml para colocar el agar y las plantas tratadas. Es preferible no usar envases de plástico para evitar contaminación excesiva, en especial si el herbicida reacciona con este material.

Información importante sobre seguridad

En estas pruebas se emplean herbicidas formulados, por lo que se debe leer la etiqueta y tomar las precauciones indicadas para un manejo seguro. Siempre que se manipulen los herbicidas y sus diluciones se debe trabajar en un sitio ventilado y usar la ropa y el equipo de protección (guantes, mascarilla) adecuados. Además, desde que se planifican los trabajos se deben tomar las debidas precauciones acerca del manejo de los desechos.

Manejo de resistencia a herbicidas en *Echinochloa colona*

Para el manejo de resistencia a herbicidas en *E. colona* se deben considerar dos estrategias: si en la finca o en la región no hay poblaciones resistentes, es muy importante tomar en cuenta la necesidad de prevenir la evolución de resistencia cuando se diseñan y ejecutan medidas de control de malezas; si ya se ha encontrado resistencia, el manejo integrado brinda el mejor enfoque para evitar la diseminación y controlar las poblaciones resistentes.

Prevención de la evolución de resistencia a herbicidas

El factor principal en la evolución de resistencia es la presión de selección impuesta por el herbicida, la que depende, por su parte, de la dosis, eficacia y frecuencia de aplicación del producto (Capítulo 1); por lo tanto, para evitar o retrasar la evolución de resistencia, es importante limitar la presión de selección.

Actualmente se debate sobre los posibles beneficios de reducir las dosis de herbicidas en la prevención de la resistencia. En principio, se esperaría que la disminución de las dosis –que resulta en una tasa de mortalidad de las malezas inferior a la provocada por el herbicida en su dosis comercial– permitiría la sobrevivencia de más individuos susceptibles. Estos individuos, a su vez, producirían semilla susceptible para enriquecer el banco de semillas del suelo. Sin embargo, se considera que los herbicidas aplicados en dosis bajas seleccionan la resistencia basada en mecanismos poligénicos. La mayoría de los casos de resistencia se explican por mutaciones en el sitio de acción específico del herbicida, por lo general, después de años de uso reiterado del mismo en su dosis comercial en monocultivos. Si la resistencia depende de

una mutación en el sitio de acción, la disminución de la dosis debería bajar la presión de selección y retrasar la aparición de poblaciones resistentes.

Por otra parte, los peores casos son los de resistencia múltiple, como los que ocurren en *Lolium rigidum* en Australia y en *A. myosuroides* en el Reino Unido. Ambas especies evolucionaron resistencia múltiple a herbicidas en cereales después de ser expuestas en forma continua a los herbicidas selectivos diclofop y clorotolurón, respectivamente, aplicados en la dosis completa o, en algunos casos, en dosis menores (Hall et al. 1994). En ambos casos, las poblaciones acumularon varios mecanismos de resistencia, en especial la capacidad de degradar el herbicida (Hall et al. 1994).

En el caso de *E. colona*, se sabe que la resistencia a propanil se debe al metabolismo acelerado del herbicida y que hay poblaciones co-resistentes a propanil y fenoxaprop-*p*-etilo. La ausencia de registros en las fincas no permite sacar conclusiones acerca de la importancia de la aplicación de dosis bajas de propanil en la evolución de resistencia al herbicida en *E. colona*, aunque es evidente que, desde la introducción del propanil a principios de los sesenta, las dosis del herbicida se han venido incrementando. Sin embargo, en México, donde los niveles de resistencia a propanil en *E. colona* son bajos comparados con los de América Central, ha habido la tendencia a asperjarlo en dosis bajas. Aunque con frecuencia los agricultores reclaman que el propanil no ofrece el control esperado, ellos tienden a aplicarlo en estados tardíos de crecimiento, cuando el herbicida tiene poca eficacia. La evolución de resistencia bajo estas condiciones parecería indicar que la resistencia a propanil puede darse aún cuando se usen dosis bajas en forma recurrente durante períodos prolongados.

Los herbicidas muy eficaces pueden imponer una presión de selección extremadamente alta, capaz de provocar la evolución de resistencia en unas pocas generaciones. Dos de los grupos de herbicidas más recientes se consideran propensos a la evolución de resistencia: los inhibidores de la ALS y los inhibidores de la ACCasa (Capítulo 1). En Costa Rica, la resistencia al inhibidor de ACCasa fenoxaprop-etilo en *E. colona* se hizo evidente en menos de cuatro años (Riches et al. 1996). La resistencia a inhibidores de ALS en malezas acuáticas asociadas al arroz también ha sido muy rápida (ej. el

caso de resistencia a bensulfurón metilo en California mencionado en el Capítulo 3). De manera similar, en el norte de Italia, los primeros casos de resistencia a inhibidores de ALS en *A. plantago-aquatica* y *S. mucronatus* se reportaron en 1995. Cuatro años después, ya había 15.000 ha infestadas con estas malezas resistentes, las que no se pueden controlar con azimsulfurón, bensulfurón-metilo, cinosulfurón o etoxisulfurón. Estas poblaciones presentan resistencia cruzada al metosulam (Sattin et al. 1999).

Cuando los herbicidas se aplican en forma reiterada en la misma estación de cultivo, la presión de selección aumenta. Con frecuencia, en América Central y del Sur, los arroceros aplican propanil dos veces en el mismo cultivo: poco después de que el cultivo y la maleza emergen y dos o tres semanas más tarde. De los recuentos iniciales hechos en Costa Rica y otros sitios de América Central, se pudo inferir que la resistencia a propanil era más frecuente y presentaba niveles más altos en los terrenos donde el propanil se había usado dos o más veces durante el ciclo del cultivo y, en especial, en los sitios donde se podía obtener más de una cosecha por año (Garro et al. 1991, Garita et al. 1995).

La mezcla o rotación juiciosa de los herbicidas puede reducir la presión de selección. El principal criterio agronómico utilizado para seleccionar los herbicidas que se incluirán en una mezcla es la complementariedad en el espectro de malezas que controlan. Por este motivo, el propanil se aplica generalmente en mezcla con herbicidas auxínicos (2,4-D, MCPA, triclopir) para mejorar el control de especies de hoja ancha. Sin embargo, en el manejo de la resistencia, los herbicidas incluidos en la mezcla deben controlar las mismas especies y tener una persistencia similar, pero mecanismos de acción o vías de degradación diferentes. La pendimetalina cumple con la mayoría de estos requisitos, por lo que se considera un excelente compañero del propanil tanto para prevenir la evolución de resistencia, como para ser usado como herbicida alternativo cuando la resistencia a propanil ya ha ocurrido (Garro et al. 1991, Garita et al. 1995, Riches et al. 1996).

Las buenas prácticas agronómicas también ayudan en la prevención de la resistencia, porque evitan la sobredependencia de los herbicidas. El uso de

semilla certificada, libre de semillas de malezas, en especial de malezas o biotipos resistentes a herbicidas, puede ayudar a evitar la introducción de individuos resistentes en nuevas áreas o campos.

Manejo de poblaciones resistentes

Una vez que se diagnostica la resistencia (Capítulos 3 y 4), se deben implantar tácticas adecuadas de manejo para controlar la maleza y evitar mayores pérdidas en el cultivo. Aunque en las secciones siguientes se enfatizan los resultados de la investigación desarrollada por los autores en el manejo de *E. colona* resistente a propanil en América Central, también se toman en cuenta casos similares de otras partes del mundo o con otras malezas importantes asociadas al arroz.

Manejo agronómico de poblaciones resistentes

Como ya se mencionó, las buenas prácticas agrícolas deben ser el fundamento del manejo integrado de malezas. En el control de *E. colona*, incluidas las poblaciones resistentes a herbicidas, pueden emplearse muchas prácticas culturales. Cuando hay un conocimiento sólido sobre la biología y la ecología de la maleza, es posible integrar cabalmente las tácticas de combate. En el Capítulo 2 se incluye un resumen de los aspectos bioecológicos más relevantes de *E. colona*.

Manejo del rastrojo después de la cosecha de arroz. Al momento de la cosecha del grano, es común encontrar plantas de *E. colona* que aún están en estado vegetativo; es posible que éstas hayan emergido después de que se aplicaron los herbicidas para controlar las gramíneas o que sobrevivieran a la aplicación. Estas plantas tienden a ser pequeñas, pues han crecido suprimidas por el follaje del cultivo, pero una vez que se liberan de la competencia, pueden producir semilla, aprovechando la humedad remanente del suelo. Si son resistentes a herbicidas y no se controlan durante el período de

descanso del terreno o en el cultivo en rotación, sus semillas enriquecerán el banco de semillas del suelo. En América Central, es común que los arroceros dejen los campos de secano en descanso durante la época seca. Algunos aprovechan el rastrojo del arroz para la alimentación de ganado antes de dejar descansar el terreno. Otros, aunque con menor frecuencia, queman el rastrojo después de la cosecha, práctica que puede contribuir a eliminar las malezas sobrevivientes y las semillas depositadas sobre la superficie del suelo. La quema puede ser importante para los agricultores de bajos recursos que producen arroz de secano en sistemas de roza y quema (Roder et al. 1998), pero no en los sistemas de producción de altos insumos, donde la resistencia a herbicidas es más probable. Cuando las condiciones lo permiten, la incorporación del rastrojo en el suelo después de la cosecha, puede evitar la producción de semilla de las plantas de *E. colona* sobrevivientes. Sin embargo, durante la ejecución de varios experimentos de campo que se extendieron por tres años, la incorporación del rastrojo no afectó la densidad de *E. colona* en la siguiente siembra de arroz (Valverde et al. 2000). En este caso, es probable que los efectos de la incorporación del rastrojo no fueran evidentes porque los conteos de plántulas de *E. colona* siempre se efectuaron después de la preparación inicial del terreno previa a la siembra del siguiente ciclo, lo que pudo traer a la superficie semillas enterradas, promoviendo su germinación. Al respecto, sería útil estudiar el impacto de la mínima o cero labranza en las poblaciones futuras de *E. colona*.

Retraso de la siembra para el control de malezas. Una práctica común en América Latina, en especial en Colombia, para el manejo de arroz rojo y *E. colona* consiste en demorar la siembra del cultivo para permitir la germinación de las malezas y eliminarlas con herbicidas (Fischer 1996). Como se mencionó en el Capítulo 2, *E. colona* puede emerger en varias camadas, especialmente al inicio del ciclo del arroz. Por lo general, en arroz de secano favorecido, la primera labor de preparación del terreno para la siembra, que consiste en el paso de una rastra pesada, puede realizarse de modo que elimine la primera camada de malezas, cuyo crecimiento fue estimulado por el comienzo de las lluvias. Esta operación estimula la germinación de una nueva camada, pero como los arroceros acostumbrar finalizar la preparación del terreno con dos pases adicionales de rastra liviana, pueden eliminar el rebrote si ejecutan esta labor en el momento adecuado.

Además, si en vez de sembrar de inmediato, se aplica primero un herbicida no selectivo, como el glifosato, la infestación futura del cultivo puede reducirse considerablemente.

Los resultados obtenidos en experimentos de campo en cuatro localidades de Costa Rica donde había infestaciones de *E. colona* resistente a propanil, demostraron consistentemente el efecto beneficioso de eliminar la primera población de *E. colona* que por lo regular emerge junto con el cultivo. Las densidades de *E. colona* dos semanas después de la siembra (SDS), época en que el agricultor acostumbra asperjar el primer herbicida de pre-emergencia o post-emergencia temprana, siempre fueron mucho más bajas en las parcelas que habían sido tratadas con glifosato (siembra demorada) antes de sembrar el cultivo (Cuadro 7). Por lo general, los agricultores esperan dos semanas para que el glifosato elimine completamente las malezas antes de sembrar. El inconveniente de esta práctica es que, en tierras bajas de drenaje pobre, una espera de dos semanas dificulta la preparación final del terreno. Sin embargo, como las plantas absorben y transportan el glifosato rápidamente hacia los meristemas, donde detiene el crecimiento, la siembra puede hacerse unos pocos días después de la aplicación sin afectar la eficacia del herbicida.

Cuadro 7

Densidad de plántulas de *E. colona* que emergieron con el cultivo de arroz, por sistema de siembra, en cuatro localidades de la región del Pacífico Central, en Costa Rica. 1994-1996¹.

Sistema de siembra ²	Monte Sierpe	Boca Naranjo	Bejuco			Pelicano
	1994	1995	1994	1995	1996	1995
Siembra demorada	0,0	4,5	10,0	15,3	3,4	5,2
Siembra normal ³	13,5	16,2	267,0	22,1	23,8	25,2

¹ Adaptado de Valverde et al. 2000. Los conteos de malezas se hicieron dos semanas después de la siembra del arroz, justo antes de la primera aplicación de herbicidas al cultivo.

² Las parcelas de siembra demorada se trataron con glifosato para controlar las plántulas de *E. colona*, entre 3-4 semanas antes de la siembra.

³ Se refiere a la preparación típica del terreno de acuerdo con la práctica del agricultor.

E. colona también puede controlarse con un herbicida de contacto no residual, que permita la siembra inmediata. En algunos países asiáticos se usa el glufosinato o paraquat para eliminar las malezas antes de la preparación del terreno (De Datta y Baltazar 1996). Si se desea disminuir la dependencia de los herbicidas, en lugar de usar glifosato se puede remover el suelo levemente. En 1997, se realizó un experimento en la finca La Ligia, en Parrita, Costa Rica, para determinar si el control mecánico podía sustituir a la aplicación del glifosato en pre-siembra para reducir la densidad de *E. colona* en las etapas iniciales del cultivo; el sitio experimental tenía una infestación extremadamente severa. Tres semanas después de que se sembraron las parcelas convencionales de acuerdo con las prácticas regulares del agricultor, se trató otro grupo de parcelas con glifosato ($0,9 \text{ kg e.a. ha}^{-1}$) para eliminar la maleza emergente. Estas parcelas, y otras en las que la población de *E. colona* se controlaría mecánicamente, se rastrearon y sembraron una semana después, por lo que hubo una diferencia de un mes entre las parcelas de siembra convencional y las de siembra demorada. La infestación de *E. colona* que emergió junto con el cultivo en las parcelas convencionales promedió las 623 plantas m^{-2} . Semejante presión de malezas, que no es rara en esta zona arroceras, ilustra la importancia del manejo adecuado de las mismas en la producción del grano. Cuando se retrasó la siembra y se controló la camada inicial de *E. colona* en forma mecánica o con glifosato, la densidad de la maleza al inicio del cultivo se redujo en casi un 90%: a 67 y 56 plantas m^{-2} , respectivamente (Cuadro 8). Esto demuestra que es posible sustituir la aplicación del glifosato por un pase de rastra liviana y reducir así la presión de selección en las poblaciones de una maleza tan propensa a la resistencia a herbicidas como lo es *E. colona*.

La siembra de arroz bajo el sistema de cero labranza también podría ser una opción para el manejo de *E. colona* resistente a herbicidas. Aunque en la región no hay experiencias con esta práctica para *E. colona*, en Brasil se siembran unas 300.000 ha de arroz en mínima y cero labranza con el fin de controlar el arroz rojo. Después de que se prepara el terreno (labranza mínima) o antes de la siembra (cero labranza) se aplica glifosato para eliminar la maleza, que tiene unos 25-30 cm de altura y cuya germinación se promueve previamente mediante irrigación. Como el suelo no se voltea, se obtiene un excelente control antes de la siembra del cultivo (Foloni 1995).

Quadro 8
 Efecto del método de siembra y el uso de herbicidas en el cultivo,
 sobre la densidad de plántulas de *E. colona* que emergen con el arroz.
 Fincas La Ligia y San Gerardo, Parrita, Costa Rica. 1997.

Herbicida ¹ (kg ha ⁻¹)	Finca La Ligia						Finca San Gerardo	
	Siembra convencional			Siembra demorada y control mecánico			Siembra convencional	
	12 DDA			0 DDA			0 DDA	
	0 DDA ²	12 DDA	13 DDA	0 DDA	12 DDA	13 DDA	0 DDA	13 DDA
Propanil (3,84)	544	204 bc		68,75	11,72 d	16,41 d	5,47	0,00 NS
Pendimetalina (1,50)	656	246 ab		53,13	14,85 d	21,88 d	4,69	0,00
Propanil (1,76) + piperfos (0,16)	622	310 a		63,28	5,47 d	14,07 d	8,60	0,78
Clomazone (0,48)	454	26 d		74,22	1,57 d	0,00 d	10,16	0,00
Quinclorac (0,35)	648	168 c		75,00	1,57 d	5,47 d	7,82	0,78
Propanil (1,60) + anilofos (0,16)	814	168 c		65,63	14,85 d	16,41 d	5,47	0,78
Promedio	623 A³	187 A		66,67 B	8,34 B	12,37 B	7,04	0,39

1 Los herbicidas se aplicaron cuando las plantas de *E. colona* se encontraban en el estado de tres hojas usando 200 L ha⁻¹. Las parcelas en que la siembra se retrasó para permitir el control de las poblaciones iniciales de *E. colona* que emergen con el cultivo se sembraron un mes después de las de siembra convencional.

2 Abreviaturas: DDA = días después de la aplicación del herbicida.

3 Los promedios seguidos de la misma letra, mayúscula (comparación del método de siembra dentro de cada momento de aplicación en la finca La Ligia) o minúscula (comparación de los herbicidas dentro del cultivo) no son significativamente diferentes con base en la DMS al 5%; NS (ns) indica diferencias no significativas

En Colombia y en algunas áreas irrigadas de América Central, se emplean sistemas similares de mínima labranza. En la producción de arroz de riego, se puede usar el fangueo del suelo para eliminar las malezas gramíneas, entre ellas *E. colona* y arroz rojo.

Rotación de cultivos. *E. colona* ha co-evolucionado con el arroz durante siglos en asociación cercana con la producción del grano (Capítulo 2). La rotación de cultivos, al interrumpir esta asociación, puede ser útil en el control de *E. colona* y en el agotamiento de su banco de semillas, pues permite realizar otras prácticas de cultivo, incluido el uso de herbicidas con un modo de acción diferente al de los usados en el arroz. Sin embargo, en América Latina, la rotación de cultivos no es común en las áreas arroceras (Fischer 1996). En algunos países, y sólo en ciertos sitios, el grano se siembra en rotación con otros cultivos, como sorgo y melón. El melón se siembra empleando técnicas específicas de cultivo, como fumigación del suelo, irrigación por goteo y coberturas plásticas, las que tienen impacto sobre *E. colona*, tal como lo mencionan los agricultores (Capítulo 6). Debido a que hay pocos herbicidas disponibles para el control de gramíneas en melón, los agricultores dependen sobre todo de herbicidas AFP como el fluazifop-*p*-butilo, lo que puede imponer una presión de selección adicional que conduzca a la resistencia a herbicidas inhibidores de ACCasa en *E. colona*. En Bolivia se da una situación similar cuando el arroz se rota con soya. Los graminicidas, en especial el fluazifop-*p*-butilo, se emplean con frecuencia en la soya, sobre todo para controlar *Eriochloa punctata*, maleza que ya evolucionó resistencia a inhibidores de ACCasa (Franco et al. 1999). En Arkansas (EE.UU.), la evolución de resistencia a propanil en *E. crus-galli* ha sido menos pronunciada en campos de arroz sujetos a rotación de cultivo (Carey et al. 1995). En América Central se han hecho observaciones similares en el caso de *E. colona* (Garita et al. 1995).

Variedades competitivas y aumento de la densidad de siembra. Cada vez se presta más atención a las variedades de arroz con mayor capacidad para suprimir el crecimiento de las malezas. Garrity et al. (1992) evaluaron la competitividad de 25 cultivares con malezas a alta y baja densidad poblacional, aunque en este estudio no se incluyó *E. colona* como maleza importante. Como era de esperarse, el rendimiento del arroz dependió del

grado de infestación de las malezas; los rendimientos más bajos se obtuvieron cuando la biomasa de malezas fue más alta. La capacidad de suprimir las malezas se asoció con la altura de las plantas de arroz; se encontraron menos malezas cuando se sembraron cultivares de porte alto ($> 1,20$ m) comparados con los de tamaño intermedio ($1,0 - 1,15$ m) o semi-enanos ($< 1,0$ m). La capacidad de supresión de malezas también estuvo asociada con una alta producción de materia seca a los 60 DDS y un índice alto de área foliar, pero no con el número de hijos por planta. Lo anterior sugiere que se podría alcanzar un cierto balance si se mejoran variedades de porte intermedio que combinen una buena capacidad de supresión de malezas con altos rendimientos. La desventaja de las variedades altas es que son muy susceptibles al volcamiento y tienen una menor capacidad de ahijamiento y un índice de área foliar relativamente alto, lo que resulta en el sombreado mutuo de las hojas; todas estas características se relacionan con un bajo rendimiento potencial (Garrity et al. 1992).

Como se mencionó en el Capítulo 3, Fischer et al. (1997) determinaron que el cultivar CICA 8 produjo más grano y fue mejor en su capacidad de suprimir *E. colona* que los cultivares Bluebelle, Bluebonnet 50, Oryzica Yacú 9 y Turipaná, bajo una severa presión de malezas en condiciones de arroz de riego en Colombia. En ausencia de competencia con *E. colona*, los cultivares menos competitivos (IRGA 409 y Oryzica Yacú 9) tuvieron rendimientos similares a CICA 8. La capacidad competitiva de los cultivares probados se correlacionó con un mayor índice de área foliar, número de hijos e interceptación de luz por el follaje. El empleo de cultivares competitivos podría ayudar a disminuir los costos de manejo con herbicidas, en especial, aquellos asociados con aplicaciones para eliminar las poblaciones *E. colona* que emergen en forma tardía (Fischer y Ramírez 1993). Además, actualmente se procura caracterizar mejor las capacidades competitivas del arroz, incluida la alelopatía, y buscar cómo explotarla (Dingkuhn et al. 1999, Gealy et al. 1998, Olofsdotter et al. 1999). La alelopatía es la capacidad de una planta de liberar sustancias químicas que disminuyen o inhiben el crecimiento de otras plantas (Olofsdotter et al. 1999).

El incremento de la densidad de siembra le proporciona una ventaja competitiva inicial al arroz, al promover que más plántulas del grano ocupen el

espacio disponible. Sin embargo, la densidad de siembra sólo puede incrementarse dentro de ciertos límites, para no resultar antieconómica o inútil desde el punto de vista agronómico. Conforme se aumenta la densidad de siembra, el número de hijos por planta disminuye, lo que acarrea un efecto compensatorio en el número de panículas de arroz por unidad de área. Cuando la densidad de panículas es muy alta, el llenado del grano disminuye y, por lo tanto, el rendimiento final no mejora (Gravois y Helms 1992).

Un aspecto que se debe considerar en las interacciones entre el cultivo y sus malezas es la posibilidad de que exista una adaptabilidad diferencial entre los biotipos de las malezas resistentes y susceptibles a herbicidas. Hay muy poca información disponible sobre la adaptabilidad de *E. colona* resistente a herbicidas y hasta ahora no se ha dado a conocer ningún estudio que evalúe el comportamiento de distintos biotipos de *E. colona* en competencia con el arroz. En Colombia, Fischer et al. (1993) encontraron una variabilidad considerable en área foliar, biomasa y crecimiento entre biotipos resistentes y susceptibles a propanil bajo condiciones de invernadero, pero sólo una leve disminución de la producción de semillas estuvo asociada con la resistencia. Sin embargo, no se encontró relación directa entre la capacidad competitiva y la resistencia a propanil. Garro et al. (1993) no observaron diferencias en crecimiento (altura de planta, número de hijos y biomasa) o número de inflorescencias entre un biotipo susceptible y otro resistente a propanil en Costa Rica. Un estudio de campo también mostró que un biotipo susceptible y otro resistente a propanil de *E. crus-galli* redujeron de manera similar el rendimiento del arroz cuando las densidades de la maleza variaron entre 2 y 20 plantas ha⁻¹. Sin embargo, para cada densidad, el biotipo resistente produjo menos panículas y menos biomasa aérea que el susceptible (Carey y Talbert 1994).

Otras prácticas culturales. Otras prácticas de cultivo que proporcionen al arroz ventaja competitiva sobre las malezas pueden ayudar a suprimir a *E. colona* y por lo tanto, a disminuir la necesidad de aplicaciones de herbicidas repetidas o en secuencia. Por ejemplo, la fertilización balanceada y oportuna mejora el vigor del cultivo. Pero cuando hay competencia por elementos móviles, como el nitrógeno, la aplicación adicional de fertilizante no

reemplaza el control de malezas adecuado y, por el contrario, más bien puede agravar la competencia (Ampong-Nyarko y De Datta 1993, Caverro et al. 1997). La siembra de semilla pregerminada y por trasplante también ofrece ventajas competitivas al cultivo, pero estas técnicas requieren modificaciones en la preparación del suelo y en el manejo inicial de las malezas. A menudo los agricultores usan semilla pregerminada cuando las condiciones ambientales o las del suelo imposibilitan la siembra en seco (Capítulo 6).

Opciones de control químico después de la siembra

Herbicidas alternativos. Como se describió en el Capítulo 1, el uso reiterado del mismo herbicida o de herbicidas con el mismo modo de acción puede conducir a la evolución de resistencia en las poblaciones de malezas. Actualmente, tanto los investigadores y asesores de campo como la industria agroquímica coinciden en la necesidad de adoptar enfoques de manejo integrado de malezas y aceptan que, en el caso de los sistemas de cultivo de altos insumos, el empleo de herbicidas con distinto modo de acción y estructura química, ya sea en secuencia o en mezclas, constituye un elemento importante del manejo de malezas (Jutsum y Graham 1995). La justificación de este enfoque es que la probabilidad de que una maleza evolucione simultáneamente resistencia a varios herbicidas con modos de acción diferentes es muy baja, aunque hay excepciones, como los casos de resistencia múltiple en *A. myosuroides* (Moss 1992) y *L. rigidum* (Burnet et al. 1994).

Un herbicida con un modo de acción alternativo podrá controlar la maleza resistente cuando la resistencia se deba a una mutación en el sitio de acción. Pero cuando la resistencia se debe a la degradación acelerada del herbicida, como en el caso de la resistencia a propanil en *E. colona*, o al “secuestro” de la molécula del herbicida, el control de la maleza dependerá de si el herbicida con modo de acción diferente es metabolizado o secuestrado de la misma manera que el herbicida original. Por ejemplo, la pendimetalina, herbicida inhibidor de la polimerización de tubulina, controla eficazmente a *E. colona* resistente al inhibidor del FS II, propanil, porque la resistencia se debe a una elevada actividad de la enzima aril acilamidasa

(AAA), la que metaboliza el propanil pero no tiene efecto sobre la molécula de pendimetalina. Por el contrario, la resistencia de *A. myosuroides* a clorotolurón, el herbicida inhibidor del FS II, se debe al incremento de la actividad de oxidasas de función múltiple, capaces de metabolizar rápidamente tanto el clorotolurón como la pendimetalina. Por esta razón, la pendimetalina no resultará eficaz –en mezcla ni en secuencia con otros herbicidas– para el control de poblaciones resistentes de *A. myosuroides*.

Actualmente, se dispone de varios herbicidas pertenecientes a diferentes clases químicas para el control selectivo de *Echinochloa* spp. en arroz (Cuadro 2, Capítulo 1). En América Central, muchos de los herbicidas comerciales que controlan *Echinochloa* spp., controlan también las poblaciones de la maleza resistentes a propanil, incluidos anilofos, bifenox, bispiribac-sodio, butaclor, cihalofop-butilo, clomazone, fenoxaprop-*p*-etilo, molinate, oxadiazón, pendimetalina, pretilaclor, quinclorac y tiobencarbo (Caseley et al. 1997, Valverde et al. *sin publicar*). Sin embargo, se debe tener presente que *E. colona* y *E. crus-galli* ya han evolucionado resistencia a la mayoría de estos herbicidas en otras partes del mundo (Capítulo 3).

En los regímenes modificados de control de malezas que incluyen el retraso de la siembra para permitir el control de las poblaciones iniciales de *E. colona*, se obtuvieron beneficios adicionales al sustituir el propanil con pendimetalina u otros herbicidas con modo de acción alternativo. En los experimentos de campo realizados por los autores, la pendimetalina fue muy eficaz como sustituto del propanil para controlar *E. colona* (Valverde et al. 2000). Las principales desventajas de la pendimetalina son: la necesidad de preparar bien el suelo para obtener buenos resultados, la ineficacia del herbicida sobre *E. colona* cuando las plántulas tienen cuatro hojas o más y un espectro de acción más limitado. Además, algunos agricultores han reportado que el herbicida afecta las raíces del arroz, pero esta respuesta fitotóxica rara vez resulta en una disminución del rendimiento. La sustitución o alternancia del propanil con pendimetalina es financieramente atractiva (Riches et al. 1997), biológicamente sensata y agronómicamente factible.

En los mismos experimentos de campo donde se estudió el efecto de eliminar la población inicial de *E. colona* con glifosato o labranza superficial, se

evaluó también la eficacia de herbicidas alternativos aplicados después de la siembra del cultivo, cuando las plántulas de *E. colona* estaban en el estado de crecimiento de tres hojas. Las plántulas de *E. colona* por unidad de área se contaron al momento de la aplicación y dos semanas después. Cuando la densidad inicial de *E. colona* era baja (parcelas de siembra demorada), todos los herbicidas redujeron adicionalmente la población de *E. colona* alrededor de un 90% (Cuadro 8). En las parcelas convencionales (con altas densidades iniciales), los herbicidas alternativos al propanil (pendimetalina, clomazone y quinclorac) aplicados en forma individual controlaron la maleza mejor que el propanil solo, que redujo la población inicial en un 62%. Entre los herbicidas alternativos, el clomazone fue el que produjo un control más consistente. Cuando se aplicó propanil en una dosis algo inferior a la mitad de la dosis comercial, pero en mezcla con el sinergista anilofos, se logró un control de *E. colona* equivalente al que se obtuvo con los herbicidas alternativos. En este experimento en particular, la mezcla de propanil con piperofos no fue tan eficaz como con anilofos. En este sitio, la población sólo tenía resistencia moderada al propanil. Es posible que los efectos del sinergista fueran más dramáticos, si la población de *E. colona* hubiera sido más resistente. Algunos de los tratamientos, en especial el clomazone, causaron efectos fitotóxicos transitorios en el arroz (no mayores al 5%) y el cultivo se recuperó rápidamente. La pendimetalina no fue tan eficaz en las parcelas de siembra demorada como en las parcelas convencionales, posiblemente porque la cama de siembra no pudo prepararse en forma tan homogénea, ya que la labranza superficial se realizó una vez establecido el período de lluvias. En una segunda localidad (finca San Gerardo), donde las densidades de *E. colona* eran extremadamente bajas, de 6 a 10 plantas m⁻², todos los herbicidas controlaron la maleza en forma similar.

En un experimento en el que se comparó la eficacia de piribenzoxim y bispiribac-sodio para eliminar *E. colona*, se observó que ambos herbicidas fueron más eficaces que el propanil solo (el cual controló la maleza en un 39%) y equivalentes a la mezcla de propanil más pendimetalina (96% de control). En general, el grado de control disminuyó conforme las plantas de *E. colona* crecieron (de 2-3 hojas a 4-6-hijos), a pesar de que las dosis se incrementaron en un 10% para ambos herbicidas aplicados sobre plantas en ahijamiento. Tanto el bispiribac-sodio como el piribenzoxim no lograron controlar *Digitaria* sp., en especial cuando se aplicaron en post-emergencia tardía (Valverde et al. *sin publicar*).

También se evaluaron mezclas de propanil con otros herbicidas para controlar *E. colona*. Los agricultores prefieren mantener el uso del propanil si logran controlar la maleza con la adición de otro herbicida en mezcla de tanque. El propanil controla en forma selectiva muchas malezas, en especial de hoja ancha, en estados tempranos de crecimiento (Cuadro 9). Entre los herbicidas mezclados con propanil, se obtuvieron excelentes resultados con clomazone, quinclorac, pendimetalina, butaclor y tiobencarbo. En el Cuadro 10 se presenta el efecto del propanil solo y en mezcla con varios herbicidas. Los datos corresponden a un experimento realizado en 1997 en la finca La Ligua, en Parrita, Costa Rica, en un campo muy infestado con una población de *E. colona* moderadamente resistente a propanil. La densidad de *E. colona* al momento de la aplicación (estado de crecimiento de tres hojas) era de 402 a 1052 plantas m⁻² (promedio: 618 plantas m⁻²). Cinco días después, todos los tratamientos de post-emergencia temprana, excepto piribenzoxim, redujeron la densidad de *E. colona* entre un 93% y un 100%.

Cuadro 9

Eficacia del propanil en el control de malezas de hoja ancha y ciperáceas en arroz de secano favorecido. Parrita, Costa Rica, 1997¹.

Herbicida (kg ha ⁻¹) ²	Malezas de hoja ancha			Ciperáceas		
	— Densidad (plantas m ⁻²) según días después de la aplicación —					
	0	5	12	0	5	12
Testigo sin tratar	296	708	786	60	168	246
Propanil (1,44)	480	204	718	52	36	86
Propanil (1,92)	328	202	480	52	24	98
Propanil (2,40)	380	194	338	60	24	130
Propanil (3,84)	412	200	446	56	10	78

¹ Valverde et al., *sin publicar*. Las principales malezas de hoja ancha en orden de importancia fueron: *Cleome viscosa*, *Murdannia nudiflora*, *Ludwigia* sp., *Physalis angulata* y *Eclipta alba*. La principal ciperácea fue *Fimbristylis* sp.

² El propanil (Propasint 480 g L⁻¹, DuWest-Costa Rica) se aplicó (200 Lha⁻¹) cinco días después de la emergencia del arroz, cuando las plántulas de *E. colona* se encontraban en el estado de 3-hojas.

Quadro 10
Efecto de herbicidas aplicados en post-emergencia temprana sobre la densidad de plántulas y panículas de *E. colona* y el rendimiento del arroz. La Ligua, Parrita, Costa Rica. 1997.

Herbicida (kg i.a. ha ⁻¹)	Producto comercial (l ha ⁻¹)	Densidad de <i>E. colona</i>			Rendimiento (T ha ⁻¹)
		Plantas m ²		Panículas m ² a la cosecha	
		0 DDA	5 DDA		
Propanil (3,84)	Stam (8,0)	412,0 ns ²	0,0 d	32,03 bc	4,59 cde
Propanil (2,88) + tiobencarbo (3,84)	Stam (6,0) + Bolero (4,0)	502,0 ns	0,0 d	1,56 cd	6,13 abc
Propanil (2,88) + tiazopir (0,12)	Stam (6,0) + Visor (0,5)	522,0 ns	12,0 cd	30,47 bc	4,99 bcd
Propanil (2,88) + clomazone (0,72)	Stam (6,0) + Command (1,5)	538,0 ns	0,0 d	0,00 d	5,80 abc
Propanil (2,88) + pendimetalina (1,50)	Stam (6,0) + Prowl (3,0)	864,0 ns	60,0 bc	0,78 d	6,79 a
Propanil (2,88) + quinclorac (0,35)	Stam (6,0) + Facet (1,4)	402,0 ns	2,0 cd	1,56 cd	6,29 ab
Propanil (2,88) + butaclor (1,80)	Stam (6,0) + Machete (3,0)	700,0 ns	0,0 d	8,59 bcd	5,84 abc
Propanil (2,88) + pretilaclor (0,75)	Stam (6,0) + Rift (1,5)	416,0 ns	10,0 cd	44,53 b	3,91 de
Propanil (1,76) + piperofos (0,16) + clomazone (1,05)	Starfos (4,0) + Command (1,5)	674,0 ns	4,0 cd	0,00 d	6,11 abc
Propanil (1,76) + piperofos (0,16) + pendimetalina (1,50)	Starfos (4,0) + Prowl (3,0)	652,0 ns	38,0 bcd	0,78 d	6,43 ab
Propanil (1,76) + piperofos (0,16) + tiazopir (0,12)	Starfos (4,0) + Visor (0,5)	1052,0 ns	54,0 b	20,31 bc	6,10 abc
Piribenzoxim (0,04)	Formulación experimental (4,0)	684,0 ns	296,0 a	11,72 bcd	4,05 de

1 Abreviaturas: DDA = días después de la aplicación. Los herbicidas se aplicaron en 200 L ha⁻¹ cuando *E. colona* tenía tres hojas.

2 Promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente con base en la DMS al 5%; ns indica diferencias no significativas. Los datos de densidad de plántulas se analizaron después de someterlos a la transformación de la raíz cuadrada ($\sqrt{y + 0,5}$). La densidad de panículas de *E. colona* se sometió a la transformación logarítmica antes del análisis estadístico y la separación de promedios.

Sin embargo, dos semanas después de la aplicación, el control con piribenzoxim había mejorado a niveles comparables a los obtenidos con el resto de los herbicidas (datos no presentados). El piribenzoxim es un herbicida sistémico que requiere un período mayor que el propanil, que es un herbicida de contacto, para eliminar la maleza. Las mezclas de propanil con anilofos en dosis herbicidas (no como sinergista) o con pretilaclor también controlaron a *E. colona* resistente a propanil (Carmioli-Zúñiga 1999). Una co-formulación de introducción reciente, que contiene propanil más clomazone (456 g L^{-1} más 114 g L^{-1} , respectivamente) aplicada en post-emergencia temprana, controla poblaciones de *E. colona* resistentes a propanil (Garita, I. 2000. Comunicación personal).

Varios herbicidas aplicados en mezcla con propanil también fueron eficaces en el control de *E. colona* en experimentos con arroz de riego. En 1997, en un trabajo de campo realizado en Guanacaste, Costa Rica, en un sitio con una infestación severa de *E. colona* (386 a $1124 \text{ plantas m}^{-2}$), dos semanas después del tratamiento, las mezclas de propanil más quinclorac, tiobencarbo, pendimetalina o pretilaclor habían reducido la población de la maleza en más de un 95% (datos no presentados). Es interesante señalar que, simultáneamente, la población de *E. colona* disminuyó en un 53% en las parcelas testigo sin tratar, como resultado del manejo de la inundación. La densidad de panículas de *E. colona* al momento de la cosecha del arroz promedió 188 m^{-2} en las parcelas testigo, mientras que en las parcelas tratadas con propanil más quinclorac o pendimetalina fue inferior a dos panículas m^{-2} . El rendimiento del grano aumentó entre un 17% y un 46% cuando *E. colona* se controló con los herbicidas probados. En 1998, el propanil mezclado con quinclorac o con alguno de los dos sinergistas, anilofos o piperofos, al igual que los herbicidas piridiny benzoatos (piribenzoxim y bispiribac-sodium) aplicados individualmente, proveyeron un control excelente de *E. colona* (datos no presentados).

Graminicidas sistémicos y otros herbicidas de aplicación tardía. Con frecuencia, cuando el propanil no logra controlar *E. colona*, los arroceros recurren a la aplicación tardía de graminicidas sistémicos. En los experimentos de campo realizados por los autores, el fenoxaprop-*p*-etilo, nicosulfurón y cihalofop-butilo fueron muy eficaces en el control de *E. colona* resistente a propanil y en la prevención de la producción de semilla cuando se aplicaron 35 días después de la siembra. El fenoxaprop-*p*-etilo, y en especial el nicosulfurón, tienden a

dañar el arroz, aunque el cultivo se recupera, sobre todo si se aplica nitrógeno poco después del tratamiento con el herbicida. El cihalofop-butilo es muy selectivo al arroz, pero es más caro que los otros graminicidas y ligeramente menos eficaz que el fenoxaprop para el control de *Ischaemum rugosum*. En los experimentos con nicosulfurón, las poblaciones de malezas cambiaron a una infestación severa con *Digitaria* sp., que afectó negativamente el rendimiento del cultivo. Algo similar ocurre con el bispiribac-sodio y el piribenzoxim, los cuales no controlan *Leptochloa* spp.

En un experimento realizado en dos localidades de Costa Rica (Pelicano y Bejuco) en 1998 (Valverde et al. *sin publicar*), el propanil redujo sustancialmente la densidad de *E. colona* hasta la aplicación del fenoxaprop-*p*-etilo (estado de crecimiento de 4-5-hijos). El fenoxaprop-*p*-etilo disminuyó el porcentaje de cobertura del suelo por *E. colona* (Cuadro 11) sin afectar la cobertura del arroz. En general, el fenoxaprop-*p*-etilo redujo la densidad de panículas de *E. colona* a la cosecha del arroz y aumentó levemente el rendimiento. La aplicación tardía de fenoxaprop-*p*-etilo limita pero no elimina totalmente el efecto negativo de la competencia de *E. colona* sobre el rendimiento, aunque sí reduce la cantidad de semilla producida por la maleza

Cuadro 11

Efecto del fenoxaprop-*p*-etilo sobre *E. colona* y arroz.
Pelicano y Bejuco, Parrita, Costa Rica. 1998¹.

Localidad y momento de aplicación de fenoxaprop- <i>p</i> -etilo ³	Porcentaje de cobertura del suelo a las 4-5 SDA ²		Densidad de panículas de <i>E. colona</i> (No. m ⁻²)	Rendimiento (T ha ⁻¹)
	<i>E. colona</i>	Arroz		
Pelicano				
20 DDE	4,88	82,5	16,5	3,8
30 DDE	3,50	77,5	0,0	3,2
Testigo sin tratar	7,75	87,5	5,0	2,9
Bejuco				
20 DDE	0,40	85,0	10,0	6,0
30 DDE	1,90	90,0	30,5	5,9
Testigo sin tratar	6,25	82,5	37,0	5,0

¹ Datos parciales de experimentos conducidos para estudiar efecto de la dosis, momento de aplicación y uso de coadyuvantes en la actividad del fenoxaprop-*p*-etilo. Valverde et al., *sin publicar*.

² Abreviaturas: DDE = días después de la emergencia; SDA= semanas después de la aplicación.

³ A los 6 DDE se realizó una aplicación generalizada de propanil (3,84 kg ha⁻¹) más metsulfurón-metilo (6,0 g ha⁻¹). La dosis de aplicación de fenoxaprop-*p*-etilo fue 33,75 g e.a. ha⁻¹ en 200 Lha⁻¹.

Manejo de *E. colona* resistente a fenoxaprop. En algunos sitios de Costa Rica, se ha encontrado *E. colona* resistente a propanil y a fenoxaprop (Capítulo 3). Esta resistencia parece haber evolucionado después de dos o tres aplicaciones de fenoxaprop, asperjado en post-emergencia temprana después del fallo del propanil, pero también puede estar asociada con el uso anterior de setoxidim, que es otro inhibidor de la ACCasa (Riches et al. 1996). Las poblaciones de *E. colona* resistentes a fenoxaprop también lo son a otros herbicidas inhibidores de la ACCasa, incluido el cihalofop-butilo, que provee un control eficaz de la maleza cuando sólo es resistente a propanil. Sin embargo, en estudios de invernadero, se confirmó que otros herbicidas que tienen un modo de acción diferente al del propanil y el fenoxaprop, controlan selectivamente estas poblaciones resistentes. Estos herbicidas incluyen bispiribac-sodio, clomazone, piriminobac-metilo, piribenzoxim, pendimetalina, tiobencarbo y quinclorac (Caseley et al. 1997). Resulta claro que cuando el propanil deja de controlar *E. colona*, el empleo de mezclas o de secuencias que incluyan estos herbicidas debe evitar el desarrollo de resistencia a fenoxaprop y controlará las poblaciones resistentes a herbicidas inhibidores de ACCasa, en especial si ha existido un historial de uso previo de fenoxaprop (Capítulo 4).

Uso de sinergistas del propanil. Algunos productos denominados sinergistas pueden usarse como componentes de las mezclas de tanque para mejorar la eficacia de los herbicidas. El sinergismo puede definirse como la acción cooperativa de dos componentes en una mezcla, en la que el efecto total es mayor que el esperado de la suma de los efectos que tienen los componentes por separado. Los sinergistas funcionan incrementando la absorción y el transporte en la planta y/o disminuyendo el metabolismo del ingrediente activo del herbicida. Por lo tanto, pueden neutralizar la resistencia debida al metabolismo acelerado del herbicida, pero son ineficaces si la resistencia se debe a una alteración del sitio de acción. Como se mencionó en el Capítulo 1, la resistencia de *E. colona* a propanil se debe a una elevada actividad de la enzima aril acilamidasa, la que rápidamente metaboliza el propanil en las plantas de *E. colona* y lo convierte en 3,4-dicloroanalina. Este proceso inactiva el herbicida mediante un mecanismo similar al que confiere selectividad al arroz. Se sabe que algunos insecticidas organofosforados y carbamatos, como el metil-paratión y el carbaril, respectivamente, inactivan

la enzima. Cuando estos insecticidas se aplican al arroz poco tiempo antes o después del propanil, el cultivo puede resultar dañado por el herbicida. Aunque el carbaril usado en mezcla con propanil puede proporcionar un control eficaz de *E. colona* resistente a propanil, esta práctica no es recomendable en el campo, porque reduce la tolerancia del cultivo al propanil. Sin embargo, los herbicidas organofosforados anilofos y piperofos son selectivos en arroz y las mezclas con propanil no son más fitotóxicas al cultivo que el propanil solo, pero sí logran neutralizar la resistencia en *E. colona* (Caseley et al. 1996; Valverde et al. 1997, 1999).

Los autores, además de realizar un intenso trabajo de invernadero que condujo al desarrollo de piperofos y anilofos como sinergistas, realizaron varios experimentos de campo para evaluar sus posibilidades de mejorar la eficacia del propanil sobre *E. colona* resistente. La mezcla de cualquiera de los dos sinergistas más una dosis baja de propanil (por lo general, de 1.76 kg ha^{-1} , en contraste con la dosis comercial de 3.84 kg ha^{-1}) obtuvo un control de *E. colona* equivalente al obtenido con la dosis completa de propanil sobre poblaciones moderadamente resistentes, así como el control adecuado de poblaciones resistentes. En el Cuadro 12 se ilustra el efecto de los sinergistas, a partir de los datos de un experimento en el que se probaron varias formulaciones de propanil. En este experimento, el propanil solo, en la dosis completa, controló entre un 80% y un 93% de la maleza a los siete días después de la aplicación (DDA). Cuando se adicionó piperofos o anilofos al propanil aplicado a una dosis inferior a la mitad de la comercial, se obtuvo un grado de control similar, sin importar la formulación. *E. colona* se controló completamente a los siete DDA con la formulación comercial de propanil más piperofos. El porcentaje de cobertura del suelo por *E. colona* a las cinco semanas después de la aplicación (SDA) fue similar entre tratamientos, lo que confirma el efecto sinergista de los herbicidas organofosforados y la similitud en eficacia de las formulaciones de propanil. Todas las formulaciones y mezclas causaron daños transitorios al arroz, sin que la adición de los sinergistas incrementara la toxicidad al cultivo con respecto al propanil solo (datos no presentados). Esto se ilustra indirectamente por la ausencia de efectos diferenciales de los tratamientos sobre la cobertura del cultivo a las cinco SDA y sobre el rendimiento del arroz. De acuerdo con la experiencia de los autores, el piperofos y el anilofos son más seguros como

sinergistas que los insecticidas organofosforados y carbamatos. Tal como lo indican las etiquetas de las formulaciones comerciales de propanil, este no debe aplicarse en combinación con los insecticidas o en las dos semanas anteriores o posteriores a su aplicación, para evitar fitotoxicidad al cultivo. También se probó el tridiphane bajo condiciones de campo, y funcionó como sinergista del propanil; sin embargo, este producto ya no está disponible en el mercado.

Cuadro 12

Efecto de la formulación de propanil y uso de sinergistas sobre *E. colona* y arroz.
Experimento realizado en Pelicano, Parrita, Costa Rica. 1998.

Herbicida (kg ha ⁻¹)	Formulación de propanil	Control de <i>E. colona</i> (%) 1 SDA	Porcentaje de cobertura del suelo a las 5 SDA		Rendimiento (T ha ⁻¹)
			<i>E. colona</i>	Arroz	
Propanil (3,84)	EC ¹	85,71 ns ²	2,50 ns	60,00 ns	4,22 ns
Propanil (1,76) + piperofos (0,16)	EC	100,00	2,25	61,25	3,81
Propanil (1,76) + anilofofos (0,16)	EC	91,67	1,88	60,50	3,80
Propanil (3,84)	DF	80,00	3,75	61,25	3,35
Propanil (1,76) + piperofos (0,16)	DF	81,82	4,13	62,00	3,51
Propanil (1,76) + anilofofos (0,16)	DF	100,00	3,50	58,25	3,68
Propanil (3,84)	FW	92,86	2,50	61,25	4,30
Propanil (1,76) + piperofos (0,16)	FW	100,00	2,75	62,50	3,84
Propanil (1,76) + anilofofos (0,16)	FW	75,00	3,75	57,50	3,52
Propanil (1,76) + piperofos (0,16) ³	EC	100,00	2,50	60,00	4,06

¹ Abreviaturas: CE = concentrado emulsionable; DF = gránulos dispersables en agua (dry flowable); FW = pasta fluida (flowable); SDA = semanas después de la aplicación.

² De acuerdo con la prueba de la DMS al 5%, no hubo diferencias significativas (ns) entre tratamientos para ninguna de las variables medidas.

³ Mezcla formulada comercialmente.

En 1995, Rohm and Haas introdujo comercialmente en Costa Rica una mezcla formulada que contiene 440 g L⁻¹ de propanil más 40 g L⁻¹ de piperofos bajo el nombre de Stamfos (Valverde 1996). La mezcla fue muy bien aceptada y en 1997 representaba el 30% del mercado total de propanil; Rohm and Haas ya no vende la formulación convencional (sin sinergista) del propanil (Stam). Si bien con base en el volumen, el costo del Stamfos para el agricultor es alrededor de un 35-40% superior al del Stam (formulación convencional del propanil), la disminución de la dosis requerida para controlar la maleza y la mayor eficacia de la formulación la hacen más rentable. Además, muchos agricultores han empezado a asperjar la mezcla de propanil más piperofos sólo una vez durante el ciclo de cultivo, descartando la acostumbrada aplicación secuencial de propanil sin sinergista. En Colombia, el anilofos (Arozin) como sinergista del propanil para controlar *E. colona* resistente a propanil se introdujo en 1996. Se estima que en 1998, la mezcla de tanque de propanil (2.2 kg ha⁻¹) más anilofos (0.21 kg ha⁻¹) se usó en unas 24.000 ha (Almarino, O. 1999. Comunicación personal). En 1998 se introdujo también el Stamfos, con una participación en el mercado de alrededor de 18.000 ha tratadas. En 1999, cerca del 35% del área arroceras de Colombia fue tratada con propanil más sinergista (anilofos o piperofos) y se espera que en el 2000 se llegue a un 50% del área. En ese país, el costo de aplicación por hectárea (considerando sólo el herbicida) a la dosis recomendada para propanil solo, Stamfos, y propanil más anilofos (mezcla de tanque) es de US \$ 39,00, 51,50 y 37,00, respectivamente.

Arroz tolerante a herbicidas

Sobre todo en EE.UU¹, pero también en América Latina, se están probando a nivel de campo cultivares de arroz tolerantes a glufosinato de amonio, imidazolinonas (IMI) y glifosato, con la finalidad de introducirlos en forma comercial. El desarrollo de estos cultivares se ha justificado en la necesidad de ofrecer nuevas alternativas de control de arroz rojo (*Oryza sativa*), otras malezas del género *Oryza* y especies de malezas resistentes a herbicidas.

¹ <http://www.isb.vt.edu/cfdocs>

Las variedades más avanzadas son las tolerantes a glufosinato o imidazolinonas. En Arkansas (EE.UU.) se obtuvo control casi total de arroz rojo y otras malezas gramíneas, incluida *E. crus-galli*, en arroz tolerante a glufosinato, con aplicaciones de este herbicida en secuencia, la primera en pre-emergencia y la otra al momento de inundar el terreno (Wheeler et al. 1998). Varios factores, como la profundidad de la lámina de agua, el estado de crecimiento y la presencia de otros herbicidas en la mezcla de tanque, afectan la respuesta de las malezas al glufosinato y su selectividad al arroz tolerante (Sankula et al. 1997a, 1997b, 1997c; Wheeler et al. 1998; Griffin et al. 1999). Por ejemplo, la toxicidad del glufosinato en arroz tolerante aumentó cuando el herbicida se aplicó conjuntamente con el triclopir o el acifluorfen. La mezcla con triclopir provocó una reducción del rendimiento de hasta un 76% comparado con el glufosinato solo (Sankula et al. 1997c). En el caso del arroz tolerante a imidazolinonas, también se requieren aplicaciones repetidas de imazetapir o imazaquin solos o en mezcla con otros herbicidas, para el control adecuado de arroz rojo y otras malezas; el daño al arroz es frecuente después de estas aplicaciones (Sanders et al. 1998, Webster et al. 2000, Williams 2000). El daño al cultivo provocado por el imazetapir varía de muy leve (menos del 5%) a más del 20%, dependiendo de la variedad de arroz, la dosis del herbicida, la edad de la planta y las condiciones ambientales (Hackworth et al. 1998, Webster et al. 2000). El imazetapir eliminó *Brachiaria platyphylla* y *E. crus-galli*, pero no controló eficazmente *Eclipta prostrata* o *Sesbania exaltata* (Dillon et al. 1998). Aunque prácticamente no hay información disponible sobre el desarrollo del arroz tolerante a glifosato, hay pruebas de campo en progreso.

El arroz tolerante a herbicidas brindará a los agricultores una herramienta adicional para controlar las malezas del género *Oryza* y otras que han evolucionado resistencia a herbicidas, incluida *E. colona*. Sin embargo, existe preocupación por la posibilidad de que los genes de resistencia se transfieran de las variedades tolerantes a otras malezas del género *Oryza*, en especial al arroz rojo. La presión de selección impuesta por la aplicación repetida del mismo herbicida durante el ciclo de cultivo también puede promover la resistencia en nuevas malezas. Además, sería más difícil el control del arroz voluntario en los cultivos en rotación o cuando hay un cambio de variedad. Para desarrollar el arroz resistente a imidazolinonas se escudaron

unos 300 millones de plantas de diferentes líneas y se encontraron dos mutantes resistentes a estos herbicidas (Croughan et al. 1996). Aunque puede considerarse una frecuencia muy baja, este resultado indica que en las poblaciones de *O. sativa* ya hay genes de resistencia a imidazolinonas, y se podría esperar que la frecuencia de individuos de arroz rojo, que también es *O. sativa*, aumentará conforme se imponga más presión de selección con el uso de los herbicidas.

Impacto de las tácticas de manejo sobre el banco de semillas

Para el manejo sostenible de la resistencia a herbicidas, las tácticas de manejo deben tener impacto sobre el banco de semillas en el suelo, ya sea disminuyendo la cantidad total de semillas almacenadas o, mejor aún, revirtiendo la población a una en la que predominen los individuos susceptibles. Como ya se indicó (Capítulo 2), el banco de semillas de *E. colona* es poco persistente, por lo que podría esperarse que la prevención de la producción de semillas condujera a la disminución del reservorio de semillas en el suelo. Sin embargo, *E. colona* produce una vasta cantidad de semillas.

Una vez completados los experimentos en Pelicano y Bejuco antes mencionados, en los que se probó el efecto de la incorporación del rastrojo y la demora de siembra más el uso de herbicida en el cultivo instalado, en el control de las poblaciones iniciales de maleza, se tomaron muestras de suelo para determinar la composición de especies y el tamaño del banco de semillas. Las muestras se homogeneizaron y se dividieron en macetas, que se colocaron en el invernadero y se regaron regularmente; las plántulas emergentes se contaron e identificaron. Luego se dejó secar el suelo, se volvió a homogeneizar y se regó para promover nuevamente la germinación. Este proceso se realizó cuatro veces durante un período de siete meses.

Las malezas de hoja ancha predominantes fueron *Ludwigia* sp., *A. coccinea*, *Mecardonia* sp., *Mazus japonica* y *Eclipta alba*. En las muestras tomadas en Bejuco, en las parcelas que en años anteriores habían sido tratadas con glifosato antes de la siembra y con propanil después de la siembra, se observó una

reducción en el número de plantas de hoja ancha que emergieron. En las muestras de Pelicano, no se observó efecto de los tratamientos sobre las malezas de hoja ancha presentes en el banco de semillas. Las ciperáceas más importantes fueron *Fimbristylis* sp. y *Pycnus macrostachyos*, pero su emergencia no fue influida por los tratamientos aplicados en el campo. El número de plántulas de *E. colona* que emergieron de las muestras de suelo tomadas en Pelicano fue casi el doble de las de Bejuco. La población de Pelicano es resistente tanto a propanil como a fenoxaprop, lo que hizo más difícil el control para evitar la producción de semilla durante la época de cultivo. No se detectaron patrones diferentes de emergencia de *E. colona* que pudieran relacionarse con los tratamientos aplicados en el campo, excepto en Pelicano, donde la emergencia fue menor en las muestras provenientes de parcelas tratadas el año anterior con quinclorac. El número de plántulas de *E. colona* que emergieron, aparentemente está relacionado con la producción de semilla (número de panículas) durante el ciclo de cultivo anterior y no fue afectado significativamente por las prácticas de manejo de mediano plazo (datos no mostrados). Es probable que, si la producción de semillas no se elimina casi por completo, sean las prácticas de manejo usadas en el ciclo anterior las que afecten más drásticamente las poblaciones durante la época de siembra siguiente.

***E. colona* resistente a propanil: la perspectiva de dos productores costarricenses**

En este capítulo se presentan las opiniones y apreciaciones de Néstor Zúñiga y Hernán Rodríguez, productores costarricenses que siembran arroz de secano y de riego en Parrita (provincia de Puntarenas) y Bagaces (provincia de Guanacaste), dos de las principales zonas productoras del país. La información se obtuvo a partir de entrevistas con ambos productores, a quienes se les agradece su apertura y sentido de cooperación. Ellos tuvieron la oportunidad de revisar los borradores y hacer las correcciones y aclaraciones que consideraron oportunas; sus puntos de vista fueron absolutamente respetados. Aunque ambos siembran áreas relativamente extensas, sus prácticas de producción son representativas de las zonas a las que pertenecen y concuerdan con las utilizadas en otras regiones de América Central.

***E. colona* como maleza problemática en arroz de secano**

La siembra de arroz en la Hacienda La Ligia comenzó hace más de 35 años; fue la primera finca arrocería de Parrita, en el Pacífico Central de Costa Rica. Durante los primeros años también se sembraba banano y había áreas dedicadas a la ganadería y zonas de bosque. Las áreas ganaderas fueron las primeras en convertirse en arrozales. El lote más reciente (La Montaña) ya tiene un historial de siembra de arroz de 24 años. Sin embargo, hubo sitios que dejaron de sembrarse por períodos relativamente largos, como el lote Frutales, donde se volvió a sembrar arroz después de haber estado durante 14 años dedicado a la producción de guanábana, piña, aloe y plátano.

El complejo de malezas asociado al cultivo ha ido cambiando en relación con los primeros años de siembra. Al principio, la maleza más agresiva era *Cyperus rotundus*, que todavía es muy importante y obligó a retornar algunos lotes a pastizales.

Hace veinte años, cuando Néstor Zúñiga comenzó a trabajar en La Ligia, había *E. colona* en toda la finca, pero no era tan agresiva ni estaba tan diseminada. En la actualidad, se la encuentra bajo todas las condiciones de suelo; es la maleza más abundante y difícil de controlar. Otras gramíneas importantes son *Rottboellia cochinchinensis*, *Leptochloa filiformis* e *I. rugosum*. Además, hay dos ciperáceas (*C. rotundus* y *Cyperus ferax*) y varias especies de hoja ancha, entre las que sobresalen *Ludwigia* spp., *Cleome viscosa* y *Physalis angulata*. El arroz rojo (*O. sativa*) y otras malezas del género *Oryza*, en especial *O. latifolia*, se han vuelto muy prevalentes, debido a la diseminación de semilla contaminada y al movimiento de maquinaria durante la siembra y la cosecha. Hay varios lotes completamente infestados, entre ellos, los mejores de la finca.

El área de arrozales se ha ido incrementando paulatinamente, con la incorporación de nuevos lotes a la siembra y la adquisición de terrenos cercanos a la finca original. En la actualidad se siembran 830 ha, en una sola época del año. En el pasado, cuando las condiciones climáticas eran más regulares, en algunos campos era posible hacer dos siembras anuales. La precipitación promedio es de 2800 a 3200 mm por año, aunque en años excepcionales, como en 1998, puede llegar a los 4000 mm. Con cierta frecuencia, algunos lotes se inundan, lo que favorece el arrastre de sedimentos que modifican el complejo de malezas y el comportamiento de los herbicidas.

Los principios fundamentales de manejo de malezas no han variado mucho durante años, excepto por la disponibilidad y variedad de herbicidas. En el pasado, la preparación típica del terreno para la siembra del arroz comenzaba con el pastoreo del ganado para aprovechar el rastrojo del cultivo anterior. Aunque en La Ligia esta práctica se eliminó, todavía es frecuente en la zona entre los productores de arroz que también tienen ganado vacuno. Con excepción de los que se rotan con melón, la mayoría de los terrenos

se deja en descanso durante la época seca, que se extiende desde noviembre hasta mayo. En condiciones normales, los campos se aran cada 3-4 años. Antes de la siembra, se pasa dos veces una rastra pesada, seguida de rastra liviana (1-2 veces) o de un pase de escardillos, dependiendo de la condición del suelo. Si el tiempo lo permite, la mayor parte de la siembra se hace en forma mecánica.

Sin embargo, la necesidad de escalonar las siembras de acuerdo con la disponibilidad de maquinaria para la cosecha, retrasa la siembra de algunos lotes, donde el exceso de humedad no permite una buena preparación del suelo. En estos lotes, las malezas se eliminan mediante la aplicación de glifosato antes de la siembra del arroz, que se realiza al voleo, con tractor o avión, por lo que en muchos casos, la semilla no se puede tapar bien. Con frecuencia, en estas condiciones, el cultivo tiene más dificultades para establecerse y las malezas crecen demasiado en relación con el arroz. Aquí se suele emplear el Stamfos, que es una mezcla formulada de propanil más piperofos; dado el riesgo de exponer las semillas y las plantas pobremente ancladas al efecto negativo de la pendimetalina, en estas condiciones es preferible emplear tiobencarbo. También se ha usado butaclor y, más recientemente, pretilaclor. En la actualidad, hasta donde las condiciones climáticas y la oportunidad de siembra lo permiten, se procura eliminar la primera nascencia de malezas con glifosato en todos los lotes, antes de sembrar el arroz.

En el pasado hubo problemas con la calidad de las formulaciones de propanil empleadas en la finca, especialmente cuando se introdujeron productos genéricos. Durante años, la formulación preferida fue la comercializada como Stam F34, que tenía una gran selectividad para el arroz. Ahora, para poder eliminar las malezas, se deben usar dosis más altas de productos más concentrados, con el agravante de que se pierde parte de la selectividad.

Hace 20 años, las dosis típicas de propanil eran de 2,9 a 3,2 kg i.a. ha⁻¹, aplicados a los 10-12 días después de la siembra. En la actualidad se usa un 30% más (4,2 kg i.a. ha⁻¹) y se aplica más temprano (ocho días después de la siembra), porque de lo contrario, habría que aumentar aún más las dosis. Este incremento en las dosis, que se atribuye al control insuficiente de *E. colona*, con los años condujo a la aceptación de un mayor nivel de daño al cultivo por

efecto del propanil, al grado que ahora, si los productores no observan ese daño, dudan de la calidad del herbicida. En algunos campos más problemáticos, se deben usar de 4,5 a 5,0 kg de propanil ha⁻¹ en mezcla con algún otro herbicida, por lo menos dos veces durante el ciclo, pues de no hacerlo, no se podría controlar *E. colona*. Ha habido experiencias de campos donde se han hecho hasta tres aplicaciones secuenciales de la dosis más alta, sin que se lograra controlar la maleza. En la actualidad, el propanil no se usa solo, siempre se mezcla con otro herbicida. En el Cuadro 13 se comparan los programas típicos para el manejo de *E. colona* con herbicidas utilizados hace 15 años y actualmente.

Cuadro 13

Comparación de la secuencia de uso de herbicidas para el control de *E. colona* en la Hacienda La Ligua, Parrita, Costa Rica, hace 15 años y en la actualidad.

Herbicidas	1984		Herbicidas	1999	
	Dosis (kg i.a. ha ⁻¹)	Época de aplicación		Dosis (kg i.a. ha ⁻¹)	Época de aplicación
Propanil + Pendimetalina	2,40 + 0,57	10-12 DDS ¹	Propanil + Pendimetalina o pretilaclor Algunas veces se incluye una SFU ²	4,30 – 4,80 + 1,0 – 1,25 o 0,75	8 - 10 DDS
Propanil + Herbicida Fenoxicarboxílico (2,4-D, 2,4,5-T o triclopir)	2,40 + 0,2 – 0,3	26-28 DDS	Propanil + Pendimetalina o butaclor + Co-formulación de 2,4-D + MCPA Fenoxaprop- <i>p</i> o cihalofop-butilo o bispiribac-sodio	4,30 – 4,80 + 1,25 o 0,90 + 0,15 + 0,090 ³ 0,045 o 0,18 – 0,27 o 0,040 – 0,050	22 – 21 DDS 40 – 45 DDS 30 – 40 DDS 30 – 40 DDS

¹ Abreviaturas: DDS = días después de la siembra SFU = herbicida sulfonilúrea.

² Las sulfonilúreas de empleo común son metsulfurón-metilo (4,8-6,0 g ha⁻¹), pirazosulfurón (20-25 g ha⁻¹) y, más recientemente, ciclosulfanurón (40 g ha⁻¹).

³ Dosis de herbicidas ácidos en kg de equivalente ácido (e.a.) ha⁻¹.

Para el control de las plantas de *E. colona* que han alcanzado un tamaño superior a las tres hojas o en campos donde hay más problemas de resistencia, se emplea una mezcla de propanil con el sinergista piperofos. Para mejorar la actividad del propanil se emplea también anilofos en mezcla de tanque.

Otros productos de introducción reciente tienen usos más específicos. El cihalofop-butilo se aplica cuando hay “escapes” y se requiere de un tratamiento tardío (llamado “de rescate”) para el control de gramíneas con el fin de minimizar las pérdidas de rendimiento o limitar la producción de semilla o por razones estéticas. El clomazone se emplea en postemergencia en lotes donde hay infestaciones severas de *E. colona* y *R. cochinchinensis*, pero puede resultar en serios incrementos en las poblaciones de malezas de hoja ancha. El pretilaclor, casi siempre mezclado con otro preemergente, se aplica cuando hay infestaciones serias de *Murdannia nudiflora*. Para suplementar el control logrado inicialmente con propanil o para sustituirlo, se aplica bispiribac-sodio, a veces en mezcla con un preemergente. El bispiribac-sodio se puede emplear desde la postemergencia temprana hasta los tratamientos de rescate; también se ha usado butaclor y oxadiazón.

La resistencia a propanil, que ha hecho más difícil el manejo de las malezas, se notó por primera vez en 1984-86. En la actualidad, el manejo de las malezas representa entre el 15% y el 20% o más de los costos de producción, sin incluir la preparación del suelo. Irónicamente, estos costos han disminuido mucho en los últimos años debido a un incremento en la eficiencia en la finca y a que la aplicación aérea de herbicidas se ha reducido en favor de la aplicación terrestre.

La cuarta parte de la finca (unas 210 ha) está infestada con *E. colona* resistente a propanil; se trata de las áreas donde antes se hacían dos siembras anuales y que, por lo tanto, soportaban un mayor uso del herbicida. El 75% restante, corresponde a campos donde se ha practicado rotación de cultivos (se siembran 200 ha de melón en las que se emplean otros esquemas de manejo, que incluyen la fumigación del suelo con bromuro de metilo), se siembra arroz sólo una vez al año, las mezclas de propanil con otros herbicidas se han empleado con más rigor y los lotes son más altos.

En los terrenos más bajos, que se encuentran prácticamente al nivel del mar, se presentan más flujos de germinación de *E. colona*, lo que obliga a un mayor uso de herbicidas. En la actualidad, en esos lotes, se procura eliminar las primeras poblaciones de la maleza antes de la siembra de arroz, mediante aplicaciones totales de glifosato.

En la finca se se enfatiza la calibración de los equipos de aplicación, pero todavía se presentan deficiencias de control y prevalecen serios problemas de manejo de malezas y herbicidas. La falta de investigación sistemática en el cultivo del arroz y la poca comunicación entre los productores limita las posibles mejoras en el manejo de las malezas y la producción del cultivo. A menudo, son los mismos agricultores quienes deben realizar la investigación sobre los herbicidas, porque los representantes y vendedores de las casas comerciales distribuidoras de agroquímicos no brindan suficiente información sobre sus nuevos productos. Además de las malezas, los daños causados por enfermedades también afectan la producción; esta situación se ha visto agravada por la poca disponibilidad de variedades mejoradas y por la falta de rigor en la investigación previa a la introducción de nuevas variedades. La producción de este importante cultivo es una actividad muy dinámica y mantener o elevar los rendimientos, que en La Ligua promedian las 4,5 - 5,0 T ha⁻¹, constituye un verdadero reto.

E. colona como maleza problemática en arroz de riego

E. colona es una especie muy conocida por los productores de arroz de riego, dada su distribución generalizada, el asocio constante con el cultivo y la creciente dificultad para controlarla. En la Hacienda Mojica, que está a cargo de Hernán Rodríguez, *E. colona* ha estado presente desde que se empezó a sembrar arroz, hace unos 40 años. Los suelos de la finca son predominantemente inceptisoles; alrededor de un 20% del área corresponde a vertisoles. Las malezas principales son *E. colona*, *R. cochinchinensis* y varias especies de ciperáceas, especialmente *C. rotundus* y *C. iria*.

Durante muchos años, la producción de arroz fue una actividad secundaria, pues los terrenos estaban dedicados básicamente a pastizales para la producción de ganado de carne. También se sembraba sorgo y soya como cultivos de rotación con el arroz. Aunque la extensión total de la finca era de 2600 ha, sólo se sembraban entre 400 y 500 ha de arroz, porque había serias limitaciones para el riego. Se contaba con una concesión de agua que proveía aproximadamente 300 L s^{-1} , los que se empleaban para suplementar los requerimientos del arroz cuando se presentaban períodos secos durante el ciclo del cultivo. En 1984 se intentó mejorar la infraestructura de riego instalando un sistema de pivote central, pero este no funcionó porque no lograba suplir las necesidades del cultivo en las 160 ha que abarcaba y porque el riego no era uniforme debido a los fuertes vientos que imperan en la zona.

Es muy probable que *E. colona* se introdujera en la finca como contaminante de la semilla de arroz, porque cuando se empezó a desarrollar la actividad no había suficientes controles ni programas de certificación de semillas. Además, en algunas épocas, se alquilaban terrenos para la siembra de arroz, por lo que ingresaba maquinaria, semilla e implementos traídos de otros sitios.

La siembra se hacía en forma directa, en surcos, con sembradora mecánica. Durante muchos años se utilizó la variedad CR-201, que se caracteriza por su vigor inicial, rápido desarrollo, porte bajo y plasticidad foliar. Las hojas tienen una disposición más horizontal durante la fase vegetativa y se tornan erectas en la fase reproductiva, lo que le da al grano una ventaja competitiva que no presentan las variedades actuales.¹

Antes de 1987, el esquema típico de manejo de malezas en arroz de secano se basaba en una muy buena preparación del terreno mediante el uso de rastra pesada, seguida del afinamiento del suelo con varias pasadas de

¹ Esta variedad se desarrolló en Costa Rica a partir de un segregante F6 introducido originalmente del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, en 1974. Se utilizó un cruce de IR22 x F1 (IR930-147-8 v Col. 1). El cultivar CR-201 se introdujo comercialmente en 1981; se caracterizó por su vigor y una buena capacidad de macollamiento (Murillo Vargas y González Venegas 1982).

rastra liviana. La siembra se hacía con sembradora mecánica, en bloques de unas 150-200 ha, sin nivelación. El manejo del cultivo y de las malezas se simplificaba por la regularidad en los períodos de lluvias y por la existencia de cortos períodos secos, que siempre se presentaban durante la misma época del año, lo que permitía ajustar las siembras para cosechar el grano en condiciones ideales. Sin embargo, en 1982 y 1987, se presentaron sequías severas que afectaron dramáticamente la producción, por lo que se hicieron fuertes inversiones para establecer los actuales sistemas de riego. Posiblemente debido al régimen de lluvias y a los sistemas de producción de la época, las poblaciones de *E. colona* eran más “dóciles”. La germinación era bastante homogénea, y como el arroz se sembraba en hileras, la distribución de la maleza era más uniforme, lo que facilitaba la identificación y el monitoreo para decidir acerca del control y adecuar las aplicaciones de herbicidas. Se dependía completamente del propanil, el que se aplicaba en toda el área de siembra, dosificándose con base en el estado de crecimiento de la maleza. Las dosis empleadas con más éxito en esa época eran de 4 a 6 litros de propanil formulado por hectárea (correspondiente a 1,44 – 2,16 kg i.a. ha⁻¹). Por lo general, se empleaba la formulación comercial Stam LV-10 que contenía 360 g L⁻¹, siempre en aplicaciones aéreas. Los campos se monitoreaban rigurosamente y con frecuencia era necesario hacer una segunda aplicación de propanil, la que se acompañaba con un herbicida hormonal como el 2,4,5-T. El manejo de la maleza se facilitaba porque en vista de la ausencia de riego, se hacía sólo una siembra anual, y el rastrojo del cultivo se dejaba para alimentar el ganado; luego el terreno permanecía en descanso durante el resto de la época seca. Cuando comenzaban las lluvias, se iniciaba la preparación del terreno y se eliminaban las poblaciones de *E. colona* que emergían estimuladas por esas primeras lluvias. Conforme se fueron ampliando las áreas de cultivo y se regularizó la siembra de arroz en ciertos lotes, *R. cochinchinensis* adquirió más importancia, lo que obligó a incluir la pendimetalina en los programas de control de malezas.

En 1987 se logró ampliar el área de siembra de arroz e implantar dos cosechas por año, gracias a la instalación de dos estaciones de bombeo con una capacidad total de 114.000 L min⁻¹. El año siguiente, comenzó un proceso de nivelación de terrenos con equipo láser, a razón de unas 100 ha año⁻¹, que continúa en la actualidad. Durante la época seca de 1988, se sembró el primer lote de 60 ha completamente bajo riego; posteriormente el área de

siembra se amplió hasta completar 800 ha, con dos cosechas anuales. Se implantó la siembra al voleo, lo que dificultó el control de *E. colona* y de otras malezas. Además, el control se hizo menos eficiente porque proliferaron varias formulaciones genéricas de propanil de menor calidad que, debido a su precio, sustituyeron en parte al Stam LV-10 y al Surcopur, que eran los productos de preferencia. Al habilitarse terrenos con riego, se empezó a depender más de los herbicidas preemergentes. La intensificación de la producción y la dificultad para controlar *E. colona* obligaron a elevar las dosis de propanil entre el 30% y el 50%, a 6-8 L ha⁻¹ (2,88 a 3,84 kg ha⁻¹). Desde entonces, por lo general, la primera aplicación de propanil iba acompañada de un herbicida preemergente como tiobencarbo (2,5 a 3,0 L ha⁻¹) o pendimetalina (0,33 – 0,50 kg ha⁻¹); algunas veces se incluía una dosis baja de la formulación comercial de ioxinil más 2,4-D. La segunda aplicación de propanil, que regularmente era de 1,44 kg ha⁻¹, se mezclaba con 2,4-D. Otro efecto negativo de la siembra de dos ciclos anuales, fue el aumento de las poblaciones de arroz rojo, que hoy son el problema principal de la finca. En ocasiones se probaron otros herbicidas con resultados erráticos o variables, incluyendo el Arrosolo (mezcla formulada de propanil más molinate); en otras fincas de la zona se usó también el Avirosan (mezcla formulada de dimetametrina más piperofos).

Otro cambio importante en el manejo de las malezas se dio a partir de 1987, con el uso comercial de graminicidas sistémicos. Los primeros graminicidas empleados fueron el fluazifop butilo, aplicado entre 20 y 30 días después de la siembra, a razón de 90 g ha⁻¹ y el haloxifop butilo (340 g ha⁻¹), aplicado 30 días después de la siembra. Ambos productos eran fitotóxicos para el arroz; su selectividad era marginal. A inicios de los noventa se empezó a sustituir regularmente la segunda aplicación de propanil por una aplicación de fenoxaprop etilo, dado que con el primer herbicida no se lograba un control adecuado de *E. colona*. Se había pasado de poblaciones de *E. colona* muy homogéneas y fáciles de controlar a poblaciones compuestas de individuos en diferentes estados de crecimiento y mucho más difíciles de eliminar con el propanil. En lotes de secano favorecido, donde el control oportuno de *E. colona* se dificultaba mucho, durante varios años se sustituyó la primera aplicación de propanil por una de setoxidim aplicado entre 18 y 27 días después de la siembra. En unos pocos años se llegó a tratar hasta el 70% de la finca con setoxidim. En 1995-96 se presentó el primer problema de pérdida notoria de

eficacia del fenoxaprop etilo en una sección de la finca denominada El Castillo. La compañía distribuidora facilitó producto suficiente para hacer una segunda aplicación, sin que se lograra un control adecuado de *E. colona*.

En 1997, la finca se dividió en dos partes iguales, una de las cuales se dedicó a la producción de caña de azúcar (aproximadamente 800 ha) y de pastizales. En la sección restante, se continuó con la producción de arroz. En la actualidad, se siembran 400 ha y hay potencial para llegar a 700 ha. Casi un 20% de la finca actual está infestada con *E. colona* resistente a fenoxaprop (el lote El Castillo, de 40 ha y el lote El Balso, de 30 ha). Estos son los mismos lotes en los que durante varios años se dependió exclusivamente de graminicidas (aplicaciones en secuencia de setoxidim y fenoxaprop) para el manejo de *E. colona*. En 1999, se aplicó fenoxaprop en El Balso y no controló a *E. colona* pero sí a *R. cochinchinensis*; se intentó remediar esta situación con la aplicación posterior del graminicida recién introducido cihalofof butilo en mezcla con Stamfos (propanil más piperofos), que no logró controlar a *E. colona*, pero sí dañó severamente las ciperáceas presentes. Estas experiencias han obligado a suspender por completo el uso del fenoxaprop y a usar con mesura otros graminicidas, especialmente el cihalofof-butilo. En forma excepcional, se emplea fenoxaprop-*p*-etilo cuando hay infestaciones muy elevadas de *R. cochinchinensis*, dado que otros herbicidas como cihalofof-butilo y bispiribac-sodio son menos eficaces sobre esta maleza. También se ha eliminado el uso del propanil; en los últimos dos ciclos (1998-99) no se ha empleado del todo y en los dos anteriores, sólo se usó para mejorar el efecto del 2,4-D contra especies de hoja ancha. Previamente, se había sustituido la formulación regular de propanil por Stamfos que, además de propanil, contiene piperofos como sinergista para el control de *E. colona* resistente a propanil. Las aplicaciones iniciales fueron muy efectivas y se había logrado bajar la dosis de herbicida a 4 L ha⁻¹ (correspondientes a 1,76 kg ha⁻¹ de propanil más 0.16 kg ha⁻¹ de piperofos); luego fue necesario incrementarla a 6 L ha⁻¹, lo que evidenció la necesidad de cambiar el esquema de uso de herbicidas. En algunas áreas también se aplicó propanil en mezcla de tanque con anilofos, usado como sinergista. Durante los últimos años, el propanil se utilizó sólo en las parcelas sembradas en curvas de nivel; en los lotes nivelados con equipo láser, se emplearon herbicidas preemergentes.

Actualmente, la preparación del terreno y el manejo de malezas típicos consisten en una preparación en seco, mediante una roturada y tres pases de rastra espaciados, para afinar la cama de siembra y eliminar las primeras poblaciones de malezas. El fanguero se ha eliminado casi por completo, para evitar el deterioro acelerado de la maquinaria. Se siembra al voleo con máquina, se tapa la semilla y se compacta el suelo mecánicamente. Se proporcionan riegos o “mojes” para estimular la germinación y se hace una aplicación de herbicida en postemergencia temprana, por lo general de quinclorac más ciclosulfamurón. El quinclorac ayuda a controlar *Aeschynomene sensitiva*, que se ha vuelto prevalente en varias secciones de la finca. Dependiendo de las necesidades de control, se usa bispiribac-sodio ya sea en postemergencia temprana o en aplicaciones tardías de rescate. Si hay infestaciones importantes de *Heteranthera limosa*, se combaten con metsulfurón-metilo. En algunos campos, se usa también oxadiargil ($0,3 - 0,4 \text{ kg ha}^{-1}$) en preemergencia total con riego inmediato, pues la demora en el riego disminuye sustancialmente la eficacia del herbicida. También se usa oxadiargil para el control de arroz rojo, aplicándolo directamente sobre lámina de agua en terrenos sin sembrar, a razón de $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ y determinando mediante siembras de arroz localizadas en pequeños cuadrantes (de unos 25 m^2), el momento oportuno para la siembra comercial (cuando ya no se presentan síntomas de toxicidad). La aplicación del herbicida diluido en agua se hace con una aspersora de mochila a la que se le quita la boquilla con el fin de facilitar una rápida distribución del producto en el campo. Para este tipo de aplicación es indispensable que el terreno esté muy bien nivelado; el período de espera entre la aplicación y la siembra varía entre 8 y 30 días. El uso de este herbicida también está limitado por su costo (US \$ 65 ha^{-1}).

A pesar de que se dispone de un mayor número de herbicidas, el control de malezas continúa siendo el rubro más importante en la producción de arroz y el que demanda mayor esfuerzo y adaptación de técnicas de control. Las limitaciones para emplear algunos herbicidas, ya sea por las condiciones propias de la finca en cuanto a espectro de malezas, condiciones del suelo, nivelación o prácticas agrícolas, o por la aparición de especies resistentes, hacen más difícil y oneroso el manejo de las malezas.

El papel de la industria de los agroquímicos en la prevención y manejo de la resistencia a herbicidas¹

El problema de la resistencia de las malezas a los herbicidas involucra a muchos sectores de la comunidad agrícola: agricultores, extensionistas, investigadores y la misma industria agroquímica. Siempre existe el temor de que, en casos extremos de resistencia, los agricultores puedan perder esa valiosa herramienta química que les ha permitido realizar un control eficaz de las malezas que reducen los rendimientos de sus cultivos.

A menudo se considera que la resistencia es un problema causado por un ingrediente activo específico, lo que es una sobre-simplificación que obedece a un concepto errado. La resistencia es un fenómeno complejo, asociado a los sistemas agrícolas que dependen excesivamente de los herbicidas como único método de control de malezas.

La experiencia disponible muestra con claridad que los problemas de resistencia se pueden manejar mediante la rotación y el empleo integrado de las tecnologías disponibles para el control de malezas. Este enfoque incluye tanto métodos culturales como el uso de diversos herbicidas para reducir la presión de selección, con el fin de evitar –o al menos retrasar– la evolución de resistencia.

Quienes trabajan en control de malezas tienen una gran ventaja sobre los colegas que trabajan con fungicidas e insecticidas, porque el problema de la resistencia en malezas no es tan explosivo como el que se presenta en patógenos e insectos. Por lo tanto, disponen de más tiempo para desarrollar estrategias de

¹ Este capítulo, que es una contribución del Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés), es una versión adaptada y actualizada por P. Boutsalis y H. Walter, del artículo publicado por D. Nevill, D. Cornes y S. Howard: The role of HRAC in the management of weed resistance. *Pesticide Outlook* 9 (4):17-22. 1998.

manejo que eviten la proliferación de la resistencia y garanticen a los agricultores que podrán seguir contando con esta herramienta de control.

Las estrategias de manejo deben ser efectivas, confiables, prácticas y económicas, y comunicarse adecuadamente a los agricultores. Para alcanzar estas metas, el Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés) procura la cooperación entre la industria, el gobierno, los investigadores y asesores y los agricultores.

El Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas²

Fundado en 1989 por la industria de los agroquímicos como parte de las actividades de la Federación Global para la Protección de Cultivos (GCPF, Global Crop Protection Federation) conocida anteriormente como GIFAP, el Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas (HRAC) tiene como propósito general impulsar un enfoque participativo del manejo de la resistencia, a fin de:

- Fomentar una actitud responsable en el uso de los herbicidas.
- Apoyar el establecimiento de grupos de trabajo por país o por región.
- Promover una mejor comprensión de las causas y efectos de la resistencia a herbicidas.
- Impulsar trabajos que definan las bases técnicas de las estrategias de manejo de la resistencia.
- Comunicar estas estrategias y promover su implementación.
- Identificar las barreras que limitan la adopción de prácticas de manejo de resistencia por parte de los agricultores y buscarles solución.
- Propiciar la colaboración activa entre los investigadores del sector público y privado, en especial en lo referente a la identificación de problemas y el diseño e implementación de prácticas de manejo.
- Facilitar la comunicación entre los representantes de la industria.

² Ver <http://www.plantprotection.org/HRAC/>

El HRAC está integrado por representantes de las principales compañías de agroquímicos. Su estructura actual, de base regional (Figura 7), refleja una premisa clave del Comité: se debe hacer el máximo esfuerzo para garantizar la transferencia de los resultados de investigación al usuario final. Por lo tanto, se deben desarrollar recomendaciones integrales de empleo, las que deben diseminarse a través de material de documentación, publicaciones técnicas, entrenamiento y educación. Las soluciones prácticas a los problemas de resistencia dependen de las labores agronómicas, las poblaciones de malezas y el registro de productos locales, por lo que se requiere una intensa orientación regional.

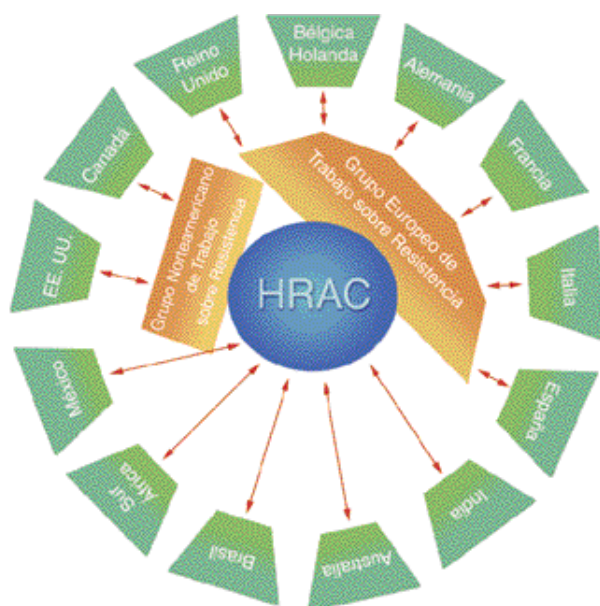


Figura 7. Organigrama de la red de comunicación del HRAC.

El Grupo de Trabajo Europeo apoya el establecimiento de equipos nacionales; ya los hay en Alemania, Bélgica, España, Francia, Holanda, Israel, Italia, Portugal y el Reino Unido. Los grupos de trabajo de cada país son autónomos y por lo general están integrados por miembros del sector público y de la industria. Su composición y actividades varían, pero todos comparten el

mismo propósito de promover el manejo de la resistencia de acuerdo con las necesidades locales y están dispuestos a compartir información y experiencia a través de toda Europa.

En Norteamérica había tres equipos de trabajo organizados por el modo de acción de grupos importantes de herbicidas (inhibidores de la ALS, inhibidores de la ACCasa y triazinas); estos grupos se consolidaron en uno solo, compuesto por miembros del sector público y de la industria, lo que brinda la oportunidad de diseminar un mensaje coordinado sobre manejo de resistencia para toda la región.

En otras partes del mundo, todavía no hay una verdadera estructura de grupos de trabajo, en virtud de la dispersión geográfica y la diversidad de problemas. Por lo general, un delegado del HRAC se encarga de coordinar las acciones. Por ejemplo, el enfoque integrado en Australia, inspirado por el entusiasmo de Steve Powles (University of Western Australia), junto con el Comité Australiano de Acción sobre Resistencia a Herbicidas, combina la experiencia de miembros del sector académico, especialistas en extensión, científicos de la industria de agroquímicos y agricultores, para el manejo de la diseminación de resistencia en la maleza *L. rigidum*. Sin duda la experiencia generada en Australia es muy valiosa en otros sitios. Tal es el caso de la India, donde se han iniciado esfuerzos para manejar la resistencia en *Phalaris minor* (Malik y Singh 1995), o de América Central y del Sur, donde los problemas de resistencia en *E. colona* y otras especies parecen ir en aumento (Capítulo 3, Garita et al. 1995, Valverde y Bolaños-Espinoza 1999); actualmente hay planes para integrar un grupo de trabajo para América Latina.

La perspectiva de la industria

Cuando las malezas –incluyendo las gramíneas como *E. colona*– se controlan con herbicidas, existe el riesgo de que ocurra resistencia a estos agroquímicos. Pero es poco probable que este riesgo se convierta en un problema de campo, si se tiene en cuenta el área total de cultivos tratados con herbicidas. Sin embargo, cuando aparece, la resistencia puede resultar en una severa

pérdida económica para el agricultor. Un recuento reciente (Heap 1997) permite inferir el incremento gradual de la resistencia a herbicidas (Cuadro 14, ver también el Capítulo 1). Como se mencionó en el Capítulo 1, la resistencia a herbicidas se convirtió en un problema de campo a finales de los años sesenta, en asocio con el empleo intensivo de las triazinas. Desde entonces, más de 60 especies de malezas se han reportado como resistentes a este grupo químico en más de 40 países alrededor del mundo, aunque el problema con las triazinas nunca ha resultado en una limitación seria a la producción, debido a la disponibilidad de herbicidas con otros modos de acción y diferente estructura química, que pueden controlar las mismas malezas.

Cuadro 14

Número de biotipos resistentes a herbicidas por país (Heap 2000)¹.

País	No. de biotipos ²	País	No. de biotipos	País	No. de biotipos
EE. UU	79	Suiza	14	Holanda	6
Australia	32	Japón	12	China	4
Canadá	32	Malasia	12	Costa Rica	4
Francia	30	República Checa	9	Corea	4
España	24	Italia	9	Bulgaria	4
Reino Unido	19	Polonia	8	Noruega	4
Israel	18	Nueva Zelanda	7	Grecia,	3 cada
				Sudáfrica	uno
Belgica	15	Brasil	6	Austria, Bolivia,	2 cada
				Egipto, México,	uno
				Sri Lanka,	
				Suecia,	
				Tailandia	
Alemania	15	Chile	6	Arabia Saudita	1 cada
				Colombia,	uno
				Dinamarca, Ecuador,	
				Eslovenia, Fiji,	
				Filipinas, Hungría,	
				India, Indonesia,	
				Kenya, Paraguay,	
				Portugal,	
				Taiwán	

¹ Un biotipo resistente se refiere al primer caso presentado en un país de una especie que evoluciona resistencia a uno o más herbicidas de un grupo particular. Por ejemplo, la presencia de cientos de poblaciones de *E. colona* resistentes a propanil en Costa Rica se registra como un biotipo resistente en dicho país. Sin embargo, como también hay poblaciones de *E. colona* resistentes a fenoxaprop, que tiene un modo de acción diferente al del propanil, éstas se han registrado como un segundo biotipo. Los otros dos casos registrados en Costa Rica son los de *E. indica* e *I. unisetus* resistentes a imazapir.

² Algunos de los biotipos resistentes a herbicidas en arroz reportados en el Cuadro 3 (Capítulo 3) aún no se han registrado en la base de datos de Heap 2000.

El desarrollo de la resistencia se ha acelerado con el uso intensivo de nuevos grupos químicos de herbicidas que son muy activos en sitios específicos, como los inhibidores de la ALS y la ACCasa. Existe un grupo importante de malezas del arroz que ha evolucionado resistencia a herbicidas con estos modos de acción (Capítulo 3). En el ámbito mundial, la resistencia a inhibidores de ALS es la más frecuente en la actualidad, con 63 biotipos resistentes debidamente confirmados tanto de monocotiledóneas como de dicotiledóneas (Cuadro 1). Los herbicidas que inhiben la ACCasa son muy eficaces para el control de gramíneas en cereales, incluido el arroz, y en cultivos de hoja ancha. La resistencia a estos herbicidas se ha reportado en las principales áreas productoras de cereales del mundo, es decir, en Norteamérica, Europa, Suráfrica, Australia y América Latina, y se asocia con la dependencia creciente de los agricultores de la excelente actividad de estos herbicidas, los que también se emplean en forma intensa en cultivos de hoja ancha en rotación.

El Recuento Internacional de Malezas Resistentes a Herbicidas del año 2000, copatrocinado por HRAC, registró 233 biotipos de malezas resistentes a herbicidas en 47 países (Heap 2000). Aunque hay un incremento muy pronunciado en los casos de resistencia, si se actúa oportunamente, será posible manejar el problema.

Manejo de la resistencia a herbicidas

En esencia, la resistencia es un fenómeno natural que ocurre en forma espontánea en las poblaciones de malezas, pero que sólo se percibe cuando la presión de selección se aplica mediante el uso de herbicidas. En algunos casos, como el de los difenil-éteres (como el acifluorfen), no se han encontrado poblaciones resistentes a pesar del uso intensivo. Las razones no están muy claras, pero posiblemente se relacionan con el modo de acción particular de estos herbicidas.

La producción intensiva de cereales bajo mínima labranza implica un alto riesgo para la evolución de resistencia y ha llevado a la selección de gramíneas resistentes, incluidas *S. viridis*, *Avena fatua*, *A. myosuroides* y *L. rigidum*. En el Reino Unido no es raro encontrar campos en los que predomina la producción

casi continua de cereales de invierno y hay sistemas de cultivo sin labranza que han recibido, en promedio, 1,7 aplicaciones anuales de herbicida por lo menos durante diez años. En este caso, el riesgo de resistencia en *A. myosuroides* es muy alto, y es en este tipo de sistema en el que se han corroborado la mayoría de los casos de resistencia en el Reino Unido (Moss y Clarke 1994). En América Central y del Sur se presenta una situación similar con la producción intensiva de arroz, donde el riesgo de resistencia a herbicidas en *E. colona* es también muy alto.

Para diseñar estrategias de manejo que solventen o eviten la resistencia se deben entender los factores que promueven la evolución de la resistencia, los procesos biológicos que caracterizan las poblaciones de plantas y el sistema agrícola particular (Cuadro 15). La clave es reducir y diversificar la presión de selección impuesta sobre las poblaciones de malezas, a la vez que se mantienen niveles económicos de control. Esto requiere un manejo integrado de malezas debidamente planificado, como el que se propone en el Capítulo 5 para *E. colona*.

Cuadro 15
Determinación del riesgo de resistencia
mediante la evaluación del sistema de cultivo.

Opción de manejo	Riesgo de resistencia		
	Bajo	Moderado	Alto
Mezcla de herbicidas o rotación en el sistema de cultivo	>2 modos de acción	2 modos de acción	1 modo de acción
Control de malezas en el sistema de cultivo	Cultural ¹ , mecánico y químico	Cultural y químico	Químico exclusivamente
Empleo del mismo modo de acción por ciclo de cultivo	Una vez	Más de una vez	Muchas veces
Sistema de cultivo	Rotación completa	Rotación limitada	Monocultivo
Estado de resistencia al modo de acción empleado	Desconocido	Limitado	Común
Infestación de malezas	Baja	Moderada	Alta
Control en los últimos tres años	Bueno	En descenso	Pobre

¹ El control cultural se refiere a prácticas como cultivadas, quema de rastrojo, uso de cultivares competitivos, siembras demoradas, etc. Para más detalles, referirse al Capítulo 5 y a las guías de HRAC.

Proyectos apoyados por HRAC

Puesto que el HRAC tiene el propósito de facilitar y promover una actitud responsable hacia los herbicidas, ha apoyado varios proyectos de investigación y diseminación de información (Cuadro 16). Un ejemplo es el proyecto sobre el Recuento Internacional de Resistencia a Herbicidas (Heap 2000), copatrocinado por la *Weed Science Society of America* (WSSA).

Cuadro 16
Ejemplos de proyectos financiados por HRAC.

Investigador y localidad	Objetivos
S. Moss, Rothamsted, Reino Unido	Monitoreo basal de <i>A. fatua</i> en el Reino Unido y de- tección de resistencia a herbicidas
M. Devine, Saskatchewan, Canadá I. N. Morrison, Manitoba, Canadá	Monitoreo y predicción de resistencia en <i>A. fatua</i> y <i>Setaria viridis</i> en Canadá
C. Mallory Smith, Idaho, EE.UU.	Recuento y flujo de genes en <i>Kochia</i> sp. y <i>Salsola iberica</i> en EE.UU.
C. Eberlein, Idaho, EE.UU.	Genética y biología molecular de la resistencia a her- bicidas inhibidores de ALS
R. Malik, Haryana, India	Manejo de <i>Phalaris minor</i> resistente a úreas sustitui- das en India
J. Orson, Oxford, Reino Unido	Aspectos económicos de la resistencia a herbicidas en <i>A. myosuroides</i> y malezas del arroz

El HRAC ha financiado recientemente proyectos que estudian el impacto financiero de la resistencia a herbicidas dentro del sistema global de la finca. Por ejemplo, Jim Orson, del *Agricultural Development and Advisory Service* (ADAS), Reino Unido, ha demostrado que la reducción en los márgenes netos causada por la resistencia en *A. myosuroides* puede aumentar la vulnerabilidad de la producción de cereales a los rendimientos y precios (Orson 1999). Este trabajo también sugiere que, aunque el retraso de la siembra y la adopción de la labranza incrementan los costos inmediatos, pueden proveer la base para mejorar la sostenibilidad económica (Orson y Harris 1997).

Un proyecto reciente coordinado por el HRAC en asociación con la WSSA es el de la clasificación de herbicidas de acuerdo con su modo de acción (Cuadro 17). Esta es una herramienta útil en la selección de productos para un programa de manejo basado en la rotación de herbicidas. Sin embargo, la clasificación debe usarse con cautela, porque la resistencia múltiple puede conducir a que herbicidas pertenecientes a diversas familias químicas no consigan controlar las malezas. Por lo general, estos casos se deben a un metabolismo incrementado del herbicida. A pesar de esta limitación, la clasificación es muy útil, pues configura un marco para la recomendación racional de productos.

Cuadro 17

Clasificación de herbicidas de acuerdo con su modo de acción según HRAC (<http://plantprotection.org/HRAC/MOA.html>).

Grupo	Modo de acción
A	Inhibición de la enzima acetil coenzima A carboxilasa (ACCase)
B	Inhibición de la acetolactato sintetasa (ALS)
C1	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II (triazinas)
C2	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II (úreas)
C3	Inhibición de la fotosíntesis en el Fotosistema II (nitrilos)
D	Aceptores de electrones en el Fotosistema I
E	Inhibición de la oxidasa del protoporfirinógeno (Protox)
F1	Decoloración foliar: inhibición de la biosíntesis de carotenoides en la desaturasa del fitoeno
F2	Decoloración foliar: inhibición de la dioxigenasa del 4-hidroxifenil-piruvato (4-DHFP)
F3	Decoloración foliar: inhibición de la biosíntesis de carotenoides (sitio desconocido)
G	Inhibición de la sintetasa del enolpiruvil shikimato fosfato (EPSP)
H	Inhibición de la síntesis de glutamina
I	Inhibición de la sintetasa del dihidropteroato (DHP)
K1	Inhibición de la formación de microtúbulos
K2	Inhibición de la mitosis/organización de los microtúbulos
K3	Inhibición de la división celular (inhibición de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga)
L	Inhibición de la síntesis de pared celular (celulosa)
M	Desacopladores (alteración de la membrana)
N	Inhibición de la síntesis de lípidos – pero no de la ACCase
O	Auxinas sintéticas (acción similar al ácido indolacético)
P	Inhibición del transporte de auxina
Z	Desconocido

Otros proyectos apoyan la evaluación y manejo de nuevos casos de resistencia (por ejemplo en México, India y Arabia Saudita). En estos casos, el HRAC espera proveer los recursos iniciales para permitir el establecimiento de un grupo local que apoye el trabajo en forma permanente.

El HRAC también ha apoyado una serie de publicaciones algunas disponibles en español; estas pueden obtenerse en forma electrónica:

(<http://www.plantprotection.org/HRAC>) e incluyen los siguientes títulos:

- Guía para el manejo de la resistencia a herbicidas, 1998.
- Monograph Number 1: A Review of Graminicide Resistance by Dr. A. M. Mortimer, 1993.
- Monograph Number 2: Herbicide Cross-resistance and Multiple Resistance in Plants by Dr. S. B. Powles and Dr. C. Preston, 1995.
- Clasificación de los herbicidas según su modo de acción (actualizada regularmente), 1998.
- Asociación para la prevención y el control de las resistencias, 1995.
- Detecting herbicide resistance: Guidelines for conducting diagnostic tests and interpreting results by Dr. Stephen Moss, 1999.
- The cost of herbicide resistance (Orson 1999).

El futuro del HRAC

El establecimiento de estrategias relevantes para el manejo efectivo de las malezas exige proporcionar instrucciones claras sobre el manejo de la resistencia y garantizar una comprensión óptima de la clasificación de los herbicidas por modo de acción. Además, el HRAC considera que los enfoques específicos de manejo deben desarrollarse localmente. Por lo tanto, continuará apoyando a los grupos de trabajo locales y regionales para que ellos diseñen y ejecuten sus propios programas de manejo de resistencia.

Como organización representativa de la industria de los agroquímicos, el HRAC es uno de los mayores interesados en el manejo sostenible de las

poblaciones de malezas y trabaja en forma conjunta con los investigadores, agentes de extensión, distribuidores de productos y agricultores, para desarrollar e implementar estrategias de manejo de resistencia. El HRAC considera que la industria puede hacer importantes contribuciones, que abarcan desde el desarrollo de proyectos de investigación hasta el apoyo puntual a los agricultores. En investigación, es muy fácil asignarle a la industria la responsabilidad de encontrar nuevos ingredientes activos para el control selectivo de malezas. Pero muchas gramíneas son capaces de adaptarse en menos tiempo que el que la industria requiere para descubrir y desarrollar herbicidas con modos de acción novedosos que no resulten afectados por la resistencia presente en los biotipos actuales. Por lo tanto, esperar que encuentre una nueva molécula como solución para cada problema de resistencia constituye un grave error. Y en todo caso, esta sólo sería una solución transitoria.

En general, los planes futuros del HRAC incluyen los siguientes componentes claves:

- Establecimiento de normas claras de etiquetado.
- Apoyo a los procedimientos de registro basados en hechos científicos.
- Divulgación de aspectos relacionados con la resistencia mediante congresos, monografías, cartas informativas e Internet.
- Apoyo a la investigación que procura definir y validar programas de manejo de resistencia.
- Apoyo a la implementación práctica de estos programas.
- Identificación de las barreras que dificultan la implementación de estrategias de manejo de la resistencia y determinación de los aspectos económicos del mismo.
- Desarrollo de metodologías para el análisis de la resistencia.

La consecuencia de este enfoque es una reducción del apoyo a la investigación básica, como por ejemplo, sobre los mecanismos de resistencia, si el trabajo no tiene una relevancia práctica directa.

Conclusiones

El HRAC está convencido de que la resistencia a los herbicidas puede manejarse. Sin embargo, ya es hora de concertar un esfuerzo mayor para asegurar que los agricultores puedan mantener el uso de un fuerte arsenal de armas químicas para el control de sus problemas de malezas. Esto se puede alcanzar con el concurso de científicos de los sectores público y privado, que integren su experiencia en programas prácticos de manejo. El HRAC promoverá la colaboración entre la industria y los investigadores, asesores, vendedores y agricultores, para garantizar que la resistencia se maneja en forma adecuada con el fin de permitir que los cultivos le ganen la batalla a las malezas.

Pasos claves para el manejo sostenible de la resistencia

Es sorprendente que, diez años después de haberse descubierto la resistencia a propanil en poblaciones de *E. colona* en América Central y del Sur, este herbicida siga teniendo un papel tan importante en el manejo de las malezas del arroz en esas regiones. Su selectividad, amplio espectro, disponibilidad, bajo costo, y la recuperación de su eficacia sobre poblaciones resistentes mediante el uso comercial de sinergistas, hacen que todavía resulte atractivo para los productores. Sin embargo, es aún más sorprendente que los agricultores no reconozcan que la resistencia a herbicidas es un problema serio, a pesar de que en muchos sitios se ven obligados a incrementar constantemente las dosis para poder controlar las malezas.

Dado que para mantener al arroz como un cultivo viable se debe incrementar la eficiencia de la producción y la rentabilidad, y que los costos y la disponibilidad de la mano de obra limitan el uso de opciones de manejo alternativas, el riesgo de evolución de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas aumenta cada vez más. La experiencia acumulada en otras áreas indica que los sistemas de producción de arroz muy dependientes de los herbicidas son más propensos a la evolución de resistencia, en especial, a los herbicidas inhibidores de la ALS, tales como bensulfurón, pirazosulfurón y cinosulfurón, los que se están haciendo cada vez más populares en América Latina. De hecho, en Brasil ya se han documentado poblaciones de *S. montevidensis* resistentes a inhibidores de ALS. También hay la posibilidad de que las especies de *Echinochloa* evolucionen resistencia múltiple.

En América Central no ha habido información suficiente para sustentar el desarrollo e implementación de estrategias adecuadas de manejo integrado

de malezas en arroz y de combate de plagas en general. Los autores esperamos que este libro contribuya a la discusión de la resistencia a herbicidas en las malezas del arroz y sirva de alerta para los agricultores y demás involucrados en la producción del grano, acerca de los riesgos y costos de la evolución de resistencia. Las experiencias de los productores costarricenses discutidas en el Capítulo 6 deben llamar la atención de la industria sobre cuán dinámicas y adaptables son las malezas.

Por lo tanto, instamos a los agricultores, investigadores, asesores de campo y a la industria agroquímica, a unir esfuerzos para incluir la prevención y el manejo de la resistencia como parte integral de la protección y producción del cultivo del arroz y a manejar mejor los herbicidas disponibles y futuros y los métodos no químicos para la producción sostenible. Todos los actores involucrados deben comprometer a los agricultores con los pasos claves para el manejo sostenible de la resistencia que se esbozan a continuación.

Pasos claves para el manejo de la resistencia

- Sea consciente de que la resistencia a herbicidas evoluciona después del uso regular del mismo producto año tras año, en particular en los sistemas de monocultivo.
- Cuando se produzcan fallas en el control de una maleza, considere una posible resistencia al herbicida. Solicite ayuda para determinar la susceptibilidad de las poblaciones en las que sospecha resistencia. Revise regularmente los campos para identificar los cambios en la abundancia relativa de las especies de malezas. Aunque en la actualidad *E. colona* es el problema principal, tenga en cuenta que en el futuro, otras especies también podrían evolucionar resistencia.

- Conozca el modo de acción de los herbicidas disponibles. Adopte programas de control que incorporen mezclas o secuencias de herbicidas que varíen de un año a otro o utilicen productos con distinto modo de acción. Exija a su proveedor información relacionada con el modo de acción del producto, el riesgo de resistencia y la compatibilidad con otros herbicidas.
- Cuando las condiciones lo permitan, use prácticas que eliminen las malezas que emergen antes de sembrar el cultivo. El empleo de un herbicida no selectivo como el glifosato o el paso adicional de una rastra liviana antes de la siembra reducirán ampliamente las poblaciones de malezas que infestarán el cultivo y eliminarán por igual las plantas resistentes y susceptibles.
- Si el mercado lo permite, considere rotar el arroz con otros cultivos, especialmente con los que se siembran a mayor espaciamiento, como el sorgo o la soya, pues permiten controlar mecánicamente las malezas entre las hileras con un cultivador y aplicar herbicidas con un modo de acción diferente a los empleados en arroz.
- ¡Piense en el futuro! Las decisiones que tome hoy sobre el control de malezas en su arrozal repercutirán a mediano plazo sobre las posibilidades de combatirlas más adelante. En los sitios donde se facilita el desarrollo de poblaciones resistentes, cabe esperar que aumenten los costos del control de malezas y se reduzca la productividad. Por lo tanto, adopte principios de manejo que eviten la evolución de resistencia.

Literatura citada

- Ampong-Nyarko, K. and S. K. de Datta. 1993. Effects of light and nitrogen and their interaction on the dynamics of rice-weed competition. *Weed Research* 33:1-8.
- Aoki, M., H. Kuramochi, K. Hata and K. Otsuka. 1998. Distribution of weed biotypes resistant to sulfonyleurea herbicides in Kazo City, Saitama prefecture. *Journal of Weed Science and Technology* 43 (supplement):34-35.
- Appleby, A. P. and B. E. Valverde. 1989. Behavior of dinitroaniline herbicides in plants. *Weed Technology* 3:198-206.
- Azmi, M., M. Mashhor, K. Itoh and H. Watanabe. 1995. Life cycle and seed longevity of *Echinochloa crus-galli* complex in direct seed rice in Malaysia. *Proceedings 15th Asian-Pacific Weed Science Conference, Japan*, p. 506-511.
- Baltazar, A. M. and R. J. Smith. 1994. Propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in rice (*Oryza sativa*). *Weed Technology* 8:575-581.
- Barret, S. C. H. 1983. Crop Mimicry in Weeds. *Economic Botany* 37:255-282.
- Burnet, M. W. M., Q. Hart, J. A. M. Holtum and S. B. Powles. 1994. Resistance to nine herbicide classes in a population of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Science* 42:369-377.
- Calha, I. M., C. Machado and F. Rocha. 1999. Resistance of *Alisma plantago aquatica* to sulfonyleurea herbicides in Portuguese rice fields. *Hydrobiologia* 415:289-293.
- Calha, I. M., C. Machado and F. Rocha. 1997. Resistance of *Alisma plantago-aquatica* (water-plantain) to bensulfuron-methyl. *Programme and Abstracts Resistance 97*. Herts, UK, poster 46.
- Carey III, V. F., R. E. Hoagland and R. E. Talbert. 1997. Resistance mechanism of propanil-resistant barnyardgrass: II. *In-vivo* metabolism of the propanil molecule. *Pesticide Science* 49:333-338.
- Carey III, V. F., R. E. Hoagland and R. E. Talbert. 1995. Verification and distribution of propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas. *Weed Technology* 9:366-372.

- Carey III, V. F. and R. E. Talbert. 1994. Investigation of propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L. Beauv.) in Arkansas. Abstracts Weed Science Society of America 34:38.
- Carmiol-Zúñiga, J. A. 1999. Opciones químicas para el control de *Echinochloa colona* resistente a propanil en arroz de secano. Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica, Sede Regional del Atlántico. Turrialba, Costa Rica, 41 p.
- Carretero, J. L. 1981. El género *Echinochloa* Beauv. en el sureste de Europa. Anales del Jardín Botánico de Madrid 38:91-108.
- Caseley, J. C., J. M. Leah, C. R. Riches and B. E. Valverde. 1996. Combating propanil resistance in *Echinochloa colona* with synergists that inhibit acylamidase and oxygenases. Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark 2:455-460.
- Caseley, J. C., C. Palgrave, E. Haas, C. R. Riches and B. E. Valverde. 1997. Herbicides with alternative modes of action for the control of propanil- and fenoxaprop-*p*-resistant *Echinochloa colona*. Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Weeds 1:215-220.
- Castro, A. and O. Almario. 1990. Efecto de la competencia de las malezas gramíneas en el arroz (*Oryza sativa* L.). Revista COMALFI (Colombia) 17:37-41.
- Cavero, J., J. E. Hill, M. Lestrangle and R. E. Plant. 1997. Efecto de la dosis de nitrógeno en la competencia de *Echinochloa oryzoides* con arroz de siembra directa. Congreso de la Sociedad Española de Malherbología, Valencia, España, 24-26 Noviembre 1997, pp. 55-60.
- Chaleff, R. S. and E. B. Day. 1984. Herbicide resistant mutants from tobacco cell cultures. Science 223:1148-1151.
- Chaves, L., B. E. Valverde and I. Garita. 1997. Efecto del tiempo y la profundidad de entiero en el suelo sobre la persistencia de la semilla de *Echinochloa colona*. Manejo Integrado de Plagas 45:18-24.
- Cousens, R. and M. Mortimer. 1995. Dynamics of weed populations. Cambridge University Press, Cambridge, England, 332 p.
- Croughan, T., H. S. Utomo, D. E. Sanders and M. P. Braverman. 1996. Herbicide resistant rice offers potential solution to red rice problem. Louisiana Agriculture 39:10-13.
- Dayan, F. E. and S. O. Duke. 1997. Phytotoxicity of protoporphyrinogen oxidase inhibitors: phenomenology, mode of action, and mechanisms of resistance. Pages 11-35 in M. P. Roe, J. D. Burton and R. J. Kuhr, eds. Herbicide activity: Toxicology, biochemistry and molecular biology. IOS Press, Washington D.C., USA.
- De Datta, S. K. and A. M. Baltazar. 1996. Integrated weed management in rice in Asia. Pages 145-165 in R. Naylor, ed. Herbicides in Asian Rice. Institute for International Studies, Stanford University, Palo Alto, California, and International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

- De Miranda, J. R., M. Muñoz, J. Madriz, R. Wu and A. M. Espinoza. 1996. Sequence of *Echinochloa* hoja blanca tenuivirus RNA-3. *Virus Genes* 13:65-68.
- Dillon, T. L., F. L. Baldwin and E. P. Webster. 1998. Weed control in IMI-tolerant rice. *Proceedings Southern Weed Science Society* 51:268.
- Dingkuhn, M., D. E. Johnson, A. Sow and A. Y. Audebert. 1999. Relationships between upland rice canopy characteristics and weed competitiveness. *Field Crops Research* 61:79-95.
- Ellis, R. H., M. A. De Barros, T. D. Hong and E. H. Roberts. 1990. Germination of seeds of five cultivars of *Echinochloa colonum* (L.) Link in response to potassium nitrate and white light of varying photon flux density and photoperiod. *Seed Science and Technology* 18:119-130.
- Esqueda-Esquivel, V. A. and S. Acosta-Núñez. 1981. Las malezas y su control en el arroz *Oryza sativa* L. de temporal en el estado de Veracruz. *Memorias, II Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza, Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo; México*, pp. 136-155.
- Feng, P. C. C., S. R. Rao and D. E. Schafer. 1995. Inhibition of thiazopyr metabolism in plant seedlings by inhibitors of monooxygenases. *Pesticide Science* 45:203-207.
- Finley, C., M. Landes, B. Sievernich, U. Misslitz and U. Schöfl. 1999. BAS 625 H – A new post-emergence herbicide for the control of grass weeds in rice. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 1:65-70.
- Fischer, A. J. 1996. Integrated red rice management in Latin American rice fields. *Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark* 2:653-664.
- Fischer, A. J., C. M. Ateh, D. E. Bayer, and J. E. Hill. 2000. Herbicide-resistant *Echinochloa oryzoides* and *E. phyllopogon* in California *Oryza sativa* fields. *Weed Science, In press*.
- Fischer, A. J., E. Granados and D. Trujillo. 1993. Propanil resistance in populations of junglerice (*Echinochloa colona*) in Colombia rice fields. *Weed Science* 41:201-206.
- Fischer, A. J. and A. Ramírez. 1993. Mixed-weed infestations: Prediction of crop losses for economic weed management in rice. *International Journal of Pest Management* 39:354-357.
- Fischer, A. J., H. V. Ramírez and J. Lozano. 1997. Suppression of junglerice (*Echinochloa colona*) (L.) Link by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agronomy Journal* 89:516-521.
- Foloni, L. L. 1995. Adjuvant effects on sulfosate and glyphosate for control of red-rice in rice. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 2:743-746.
- Franco, P., J. C. Caseley, D. S. Kim, C. R. Riches and Y. Miyasato. 1999. Evaluation of response of fluazifop-*p* resistant carib grass (*Eriochloa punctata*) to other ACCase inhibitors and herbicides with other modes of action. *Abstracts Weed Science Society of America* 39:106.

- Frear, D. S. and G. G. Still. 1968. The metabolism of 3,4-dichloropropionanilide in plants. Partial purification and properties of an aryl acylamidase from rice. *Phytochemistry* 7:913-920.
- Früsch, H. 1999. Fentrazamide – new opportunities for weed control in seeded rice. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 1:99-104.
- Garita, I., B. E. Valverde, L. A. Chacón, R. de la Cruz, C. R. Riches and J. C. Caseley. 1995. Occurrence of propanil resistance in *Echinochloa colona* in Central America. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 1:193-196.
- Garrrity, D. P., M. Movillon and K. Moody. 1992. Differential weed suppression ability in upland rice cultivars. *Agronomy Journal* 84:586-591.
- Garro, J. E., R. de la Cruz and A. Merayo. 1993. Estudio del crecimiento de materiales de *Echinochloa colona* (L.) Link. susceptibles y tolerantes al propanil. *Manejo Integrado de Plagas* 26:39-43.
- Garro, J. E., R. de la Cruz and P. J. Shannon. 1991. Propanil resistance in *Echinochloa colona* populations with different herbicide use histories. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 3:1079-1083.
- Gasquez, J. and J. P. Compoin. 1981. Isoenzymic variation in populations of *Chenopodium album* L. resistant and susceptible to triazines. *Agro-Ecosystems* 7:1-10.
- Gealy, D. R., R. H. Dilday and J. N. Rutger. 1998. Interaction of flush irrigation timing and suppression of barnyardgrass with potentially allelopathic rice lines. *Research Series Arkansas Agricultural Experiment Station* 460:49-55.
- Giannopolitis, C. N. and G. Vassiliou. 1989. Propanil tolerance in *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Tropical Pest Management* 35:6-7.
- Gómez de Barreda, D., J. L. Carretero, A. del Busto, M. J. Asins, E. Carbonell and E. Lorenzo. 1996. Response of *Echinochloa* spp. (barnyardgrass) populations to quinclorac. Pages 157-158 in R. de Prado, J. Jorrín, L. García-Torres and G. Marshall, eds. *Proceedings of the International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides*, 3-6 April 1995. University of Cordoba, Spain.
- Graham, R. J., J. E. Pratley and P. D. Slater. 1994. Herbicide resistance in *Cyperus difformis*, a weed of New South Wales rice crops. *Temperate Rice - Achievements and Potential. Proceedings of a Conference Held at Leeton, New South Wales, Australia*, pp. 433-435.
- Graham, R. J., J. E. Pratley, P. D. Slater and P. R. Baines. 1996. Herbicide resistant aquatic weeds, a problem in New South Wales rice crops. *Proceedings 11th Australian Weeds Conference*, Melbourne, Australia, 30 September-3 October 1996, *Weed Science Society of Victoria*, 598 p.

- Gravois, K. A. and R. S. Helms. 1992. Path analysis of rice yield and yield components as affected by seeding rate. *Agronomy Journal* 84:1-4.
- Gressel, J. 1991. Why get resistance? It can be prevented or delayed. Pages 1-26 in J. C. Caseley, G. W. Cussans and R. K. Atkin, eds. *Herbicide Resistance in Weeds and Crops*. Butterworth-Heinemann, Oxford, England.
- Gressel, J. and L. A. Segel. 1990. Modelling the effectiveness of herbicide rotations and mixtures as strategies to delay or preclude resistance. *Weed Technology* 4:186-198.
- Griffin, J. L., S. D. Linscombe and W. Zhang. 1999. Tolerance of glufosinate-resistant rice lines to glufosinate. *Proceedings Weed Science Society of America* 39:11.
- Grossman, K. 1998. Quinclorac belongs to a new class of highly selective auxin herbicides. *Weed Science* 46:707-716.
- Hackworth, H. M., L. P. Sarokin and R. H. White. 1998. 1997-field evaluation of imidazolinone tolerant rice. *Proceedings Southern Weed Science Society* 51:221.
- Hall, L. M., J. A. M. Holtum and S. B. Powles. 1994. Mechanisms responsible for cross resistance and multiple resistance. Pages 243-261 in S. B. Powles and J. A. M. Holtum, eds. *Herbicide Resistance in Plants. Biology and Biochemistry*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hata, K., K. Okuda, M. Aoki and H. Kuramochi. 1998. Occurrence of *Elatine triandra* Sckk., resistant to sulfonylurea herbicides. *Journal of Weed Science and Technology* 43 (supplement):28-29.
- Heap, I. M. 2000. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Online. Internet. 15 February 2000. Available www.weedscience.com.
- Heap, I. M. 1999. International Survey of Herbicide Resistant Weeds: lessons and limitations. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 3:769-776.
- Heap, I. M. 1997. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. *Pesticide Science* 51:235-243.
- Hibino, H. 1996. Biology and epidemiology of rice viruses. *Annual Review of Phytopathology* 34:249-274.
- Hilton, H. W. 1957. Herbicide tolerant strains of weeds. *Hawaiian Sugar Planters Association Annual Report*, pp. 69.
- Hoagland, R. E. and G. Graf. 1972. Enzymatic hydrolysis of herbicides in plants. *Weed Science* 20:303-305.
- Holm, L. G., D. L. Plucknett, J. V. Pancho and J. P. Herberger. 1977. *The World's Worst Weeds. Distribution and biology*. East-West Center, University Press of Hawaii, Honolulu, Hawaii, pp. 32-46.

- Hsieh, Y.-N., L.-F. Liu and Y.-S. Wang. 1998. Uptake, translocation and metabolism of the herbicide molinate in tobacco and rice. *Pesticide Science* 53:149-154.
- Huang, B. and S. Lin. 1993. Study of the resistance of barnyardgrass to butachlor in paddy fields in China. *Journal of the South China Agricultural University* 14:103-108.
- Huang, B. and J. Gressel. 1997. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) resistance to both butachlor and thiobencarb in China. *Resistant Pest Management* 9:5-7.
- Huang, B. and X. Wang. 1998. Studies on resistance of barnyardgrass in the rice planting regions in China and its management. *Proceedings Conference of Integrated Pest Management (IPM) –Theory and Practice, Developing Sustainable Agriculture, Guanzhou, China*, p. 210.
- Itoh, K., ed. 1991. Life cycles of rice field weeds and their management in Malaysia. *Tropical Agriculture Research Center, Tsukuba, Japan*, 92 p.
- Itoh, K., Y. Takagai, M. E. Blancaver, H. Odan and P. M. Chang. 2000. A sulfonylurea resistant biotype of *Sagittaria guyanensis* H.B.K. Val., in paddy fields of Malaysia. *Journal of Weed Science and Technology* 45 (Supplement):102-103.
- Itoh, K., A. Uchino, G. X. Wang and S. Yamakawa. 1997. Distribution of *Lindernia* spp. resistant biotypes to sulfonylurea herbicides in Yuza Town, Yamagata Prefecture. *Journal of Weed Science and Technology* 42 (supplement):22-23.
- Itoh, K., A. Uchino and H. Watanabe. 1998. A resistant biotype to sulfonylureas in *Rotala indica* (Wild.) Koehn, in Omagari, Akita Prefecture. *Journal of Weed Science and Technology* 43 (supplement):40-41.
- Itoh, K. and G. X. Wang. 1997. An outbreak of sulfonylurea herbicide resistance in Scrophulariaceae paddy weeds in Japan. *Proceedings 16th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 219-221.
- Itoh, K., G. X. Wang and S. Ohba. 1999. Sulfonylurea resistance in *Lindernia micrantha*, an annual paddy weed in Japan. *Weed Research* 39:413-423.
- Jutsum, A. R. and J. C. Graham. 1995. Managing weed resistance: the role of the agrochemical industry. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Weeds* 2:557-566.
- Khatua, D. C. 1982. Weed host of *Rhizoctonia solani* Kuhn, a rice sheath blight pathogen. *International Rice Research Newsletter* 7:13.
- Kikushima, J. M. 1976. Estudio de competencia de las malezas con el cultivo de arroz en el Valle del Fuerte Sinaloa, México. *Trabajos y Resúmenes, III Congreso Asociación Latinoamericana de Malezas "ALAM" y VIII Reunión Argentina de Malezas y su Control, "ASAM", Mar del Plata* 1:136.

- Kim, K. U. 1994. Ecophysiology of *Echinochloa* species and their management. Pages 18-26 in S. S. Sastroutomo and B. A. Auld, eds. Appropriate weed control in southeast Asia. Proceedings of an FAO-CAB International workshop, Kuala Lumpur, Malaysia, 17-18 May 1994. CAB International, Wallingford, UK.
- Kim, K. U. and J. E. Park. 1997. Selective mechanism of cyhalofop-butyl ester between rice (*Oryza sativa* L.) and *Echinochloa crus-galli*. III. Uptake, translocation, and metabolism of ¹⁴C-cyhalofop-butyl ester. Korean Journal of Weed Science 17:185-191.
- Knights, J. S. 1995. The activity of graminicides alone and in mixture for the control of herbicide resistant junglerice (*Echinochloa colona* (L.) Link). MSc. Project. University of Bath, U.K., 135 pp.
- Koarai, A. 2000. Diagnosis of susceptibility of sulfonylurea herbicides on *Monochoria vaginialis*, an annual paddy weed in Japan. Journal of Weed Science and Technology 45 (supplement):40-41.
- Kohara, H., K. Konno and M. Takekawa. 1999. Occurrence of sulfonylurea-resistant biotypes of *Scirpus juncoides* Roxb. var. *ohwianus* T. Koyama in paddy fields of Hokkaido prefecture, Japan. Journal of Weed Science and Technology 44 (supplement):228-235.
- Kohara, H., H. Yamashita and N. Yamazaki. 1996. Resistance to sulfonylurea herbicides in *Monochoria korsakowii* Regel et Maack in Hokkaido. Weed Research (Japan) 41 (supplement):236-237.
- Krishnamurthy, K., R. Devendra, T. V. Ramachandra-Prasad and S. L. Mohan. 1989. Growth pattern of *Echinochloa* species in relation to rice and bioefficacy of 2,4-D and dicamba combinations. Proceedings Brighton Crop Protection Conference-Weeds 2:683-688.
- Leah, J. M., J. C. Caseley, C. R. Riches and B. E. Valverde 1995. Age-related mechanisms of propanil tolerance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. Pesticide Science 43:347-354.
- Leah, J. M., J. C. Caseley, C. R. Riches and B. E. Valverde 1994. Association between elevated activity of aryl acylamidase and propanil resistance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. Pesticide Science 42:281-289.
- Lehnen, L. P. Jr. and K. C. Vaughn. 1991. Immunofluorescence and electron microscopic investigations of the effects of dithiopyr on onion root tips. Pesticide Biochemistry and Physiology 40:58-67.
- Madriz, J. A., J. R. de Miranda, E. Cabezas, H. Oliva, M. Hernández and A. M. Espinoza. 1998. *Echinochloa* hoja blanca and rice hoja blanca viruses occupy distinct ecological niches. Phytopathologische Zeitschrift 146:305-308.
- Malik, R. K. and S. Singh. 1995. Littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) resistance to isoproturon in India. Weed Technology 9:419-425.

- Mallory-Smith, C. A., D. C. Thill and M. J. Dial. 1990. Identification of sulfonylurea herbicide-resistant prickly lettuce (*Lactuca serriola*). Weed Technology 4:163-168.
- Maneechote, C. and P. Krasaesindhu. 1999. Propanil resistance in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.). Proceedings 17th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Bangkok, Thailand, Abstracts, p.97.
- Marambe, B., L. Amarasinghe and G. R. Senaratne. 1997. Propanil resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* L. Beauv.) in Sri Lanka. Proceedings 16th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 222-224.
- Matsunaka, S. 1968. Propanil hydrolysis: Inhibition in rice plants by insecticides. Science 160:1360-1361.
- Matthes, B., J. Schmalfuss and P. Böger. 1998. Chloroacetamide mode of action, II: Inhibition of very long chain fatty acid synthesis in higher plants. Zeitschrift für Naturforschung C 53:1004-1011.
- Maxwell, B. D. and A. M. Mortimer. 1994. Selection for herbicide resistance. Pages 1-26 in S. B. Powles and J. A. M. Holtum, eds. Herbicide Resistance in Plants. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Mayer, P., H. -P. Kriemler, H. Hamböck and T. L. Laanio. 1981. Metabolism of *O,O*-dipropyl S-[2-(2'-methyl-1'-piperidinyl)-2-oxo-ethyl] phosphorodithioate (C 19 490) in paddy rice. Agricultural and Biological Chemistry 45:355-360.
- Michael, P. W. 1983. Taxonomy and distribution of *Echinochloa* species with special reference to their occurrence as weeds of rice. Proceeding of the Conference on Weed Control in Rice, 31 August-4 September 1981, Philippines. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 291-306.
- Migo, T. R., B. L. Mercado and S. K. de Datta. 1986. Response of *Sphenoclea zeylandica* to 2,4-D and other recommended herbicides for weed control in lowland rice. Philippines Journal Weed Science 13:28-38.
- Miranda-Medrano, R. 1984. Densidad y composición florística potencial de malezas en un campo agrícola en La Chontalpa, Tabasco. Memorias, V Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza, Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo; México, pp. 330-336.
- Morrison, I. N. and L. F. Friesen. 1996. Herbicide resistant weeds: mutation, selection and misconceptions. Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark 2:377-386.
- Moss, S. 1992. Herbicide resistance in the weed *Alopecurus myosuroides* (Blackgrass): the current situation. Pages 28-47 in I. Denholm, A. L. Devonshire and D. Hollomon, eds. Achievements and Developments in Combating Pesticide Resistance. Elsevier, London.

- Moss, S. R. and J. J. Clarke. 1994. Guidelines for the prevention and control of herbicide-resistant black-grass (*Alopecurus myosuroides*). Crop Protection 13:230-234.
- Moss, S. R. and G. W. Cussans. 1991. The development of herbicide resistant populations of *Alopecurus myosuroides* in England. Pages 45-56 in J. C. Caseley, G. W. Cussans and R. K. Atkin, eds. Herbicide Resistance in Weeds and Crops. Butterworth-Heinemann, Oxford, England.
- Mujer, C. V., M. E. Rumpho, J-J. Lin and R. A. Kennedy. 1993. Constitutive and inducible aerobic and anaerobic stress proteins in the *Echinochloa* complex and rice. Plant Physiology 101:217-226.
- Murillo-Vargas, J. I. and R. González-Venegas. 1982. Manual de producción para arroz de secano en Costa Rica, CAFESA, San José, 132 p.
- Nakayama, S., M. Azmi and A. G. Ruslan. 1999. *Limnocharis flava* (L.) Buchenau resistant to 2,4-D and bensulfuron-methyl. Pages 129-140. in MARDI, MADA and JIRCAS, eds. The Management of Biotic Agents in Direct Seeded Rice Culture in Malaysia.
- Norris, R. 1996. Morphological and phenological variation in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in California. Weed Science 44:804-814.
- Olofsdotter, M., D. Navarez, M. Rebulanan and J. C. Streibig. 1999. Weed-suppressing rice cultivars – does allelopathy play a role? Weed Research 39:441-454.
- Ormeño, J. 1983. Prospección de las principales malezas asociadas al cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.). Agricultura Técnica (Chile) 43:285-287.
- Orson, J. H. 1999. The effect of labeling herbicides with their mode of action: A European perspective. Weed Technology 13:653-654.
- Orson, J. and D. Harris. 1997. The technical and financial impact of herbicide-resistant blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) on individual farm business in England. Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds 3:1127-1132.
- Ortiz, A., M. Pacheco, V. Pérez, R. Ramos and E. Seijas. 2000. Identificación de biotipos de *Echinochloa colona* (L.) Link. potencialmente resistentes al propanil en Venezuela. Revista COMALFI (Colombia), In press.
- Pappas-Fader, T., J. F. Cook, T. Butler, P. J. Lana and J. Hare. 1993. Resistance of California arrowhead and smallflower umbrella plant to sulfonylurea herbicides. Proceedings Western Weed Science Society 46:76.
- Park, T. S., C. S. Kim, J. P. Park, Y. K. Oh and K. U. Kim. 1999. Resistant biotype of *Monochoria korsakowii* against sulfonylurea herbicides in the reclaimed paddy fields in Korea. Proceedings 17th Asian-Pacific Weed Science Society Conference, Bangkok, Thailand 1A:251-254.

- Park, J. E., I. Y. Lee, T. S. Park, G. H. Ryu, Y. K. Kim and K. U. Kim. 1997. Selective mechanism of cyhalofop-butyl ester between rice (*Oryza sativa* L.) and *Echinochloa crus-galli*. IV. Effect on enzyme activity, biosynthesis of fatty acid and protein in rice and *Echinochloa crus-galli*. Korean Journal of Weed Science 17:192-198.
- Plaisance, K. L. and J. W. Gronwald. 1999. Enhanced catalytic constant for glutathione S-transferase (atrazine) activity in an atrazine-resistant *Abutilon theophrasti* biotype. Pesticide Biochemistry and Physiology 63:34-49.
- Pons, T. L. 1982. Factors affecting weed seed germination and seedling growth in lowland rice in Indonesia. Weed Research 22:155-161.
- Powles, S. B. and J. A. M. Holtum, eds. 1994. Herbicide Resistance in Plants: Biology and Biochemistry. Lewis Publishers, Boca Raton, FL., 353 p.
- Powles, S. B., D. F. Lorraine-Colwill, J. J. Dellow and C. Preston. 1998. Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. Weed Science 46:604-607.
- Pratley J., N. Urwin, R. Stanton, P. Baines, J. Broster, K. Cullis, D. Schafer, J. Bohn and R. Krueger. 1999. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*. I. Bioevaluation. Weed Science 47:405-411.
- Ramakrishnan, P. S. 1960. Ecology of *Echinochloa colonum* Link. Proceedings of the Indian Academy of Sciences 11:73-92.
- Rao, S. R., P. C. C. Feng and D. E. Schafer. 1995. Enhancement of thiazopyr bioefficacy by inhibitors of monooxygenases. Pesticide Science 45:209-213.
- Retzinger, E. J. and C. Mallory-Smith. 1997. Classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. Weed Technology 11:384-393.
- Riches, C. R., J. C. Caseley, B. E. Valverde and V. M. Down. 1996. Resistance of *Echinochloa colona* to ACCase inhibiting herbicides. Pages 14-16 in R. de Prado, J. Jorrín, L. García-Torres and G. Marshall, eds. Proceedings of the International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides, 3-6 April 1995. University of Cordoba, Spain.
- Riches, C. R., J. S. Knights, L. Chaves, J. C. Caseley and B. E. Valverde. 1997. The role of pendimethalin in the integrated management of propanil-resistant *Echinochloa colona* in Central America. Pesticide Science 51:341-346.
- Ritenour, G. L., C.-C. Lo, S. Wright and M. Hile. 1999. Dinitroaniline resistance in barnyard-grass (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.). Proceedings California Weed Science Society 51:120-121.
- Roder, W., B. Keoboulapha, S. Phengchanh, J. C. Prot and D. Matias. 1998. Effect of residue management and fallow length on weeds and rice yield. Weed Research 38:167-174.

- Rojas, M. y R. Agüero. 1996. Malezas asociadas a canales de riego y terrenos colindantes de arroz anegado en Finca El Cerrito, Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 7:9-19.
- Saari, L. L. 1999. A prognosis for discovering new herbicide sites of action. Pages 207-220 in G. T. Brooks and T. R. Roberts, eds. *Pesticide Chemistry and Bioscience. The Food-Environment Challenge*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, England.
- Sahid, I. B. and M. S. Hossain. 1995. The effects of flooding and sowing depth on the survival and growth of five rice-weed species. *Plant Protection Quarterly* 10:139-142.
- Sanderman, H., R. Schmidt, H. Eckley and T. Bauknecht 1991. Plant biochemistry of xenobiotics: Isolation and properties of soybean *O*- and *N*-glucosyl and *O*- and *N*-malonyl-transferases for chlorinated phenols and anilines. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 287:341-350.
- Sanders, D. E., R. E. Strahan, S. D. Linscombe and T. P. Croughan. 1998. Control of red rice (*Oryza sativa*) in imidazolinone tolerant rice. *Proceedings Southern Weed Science Society* 51:36-37.
- Sandmann, G. and P. Böger. 1997. Phytoene desaturase as a target for bleaching herbicides. Pages 1-10 in M. P. Roe, J. D. Burton and R. J. Kuhr, eds. *Herbicide activity: Toxicology, biochemistry and molecular biology*. IOS Press, Washington.
- Sankula, S., M. P. Braverman, F. Jodari, S. D. Linscombe and J. H. Oard. 1997a. Evaluation of glufosinate on rice (*Oryza sativa*) transformed with the BAR gene and red rice (*Oryza sativa*). *Weed Technology* 11:70-75.
- Sankula, S., M. P. Braverman and S. D. Linscombe. 1997b. Response of BAR-transformed rice (*Oryza sativa*) and red rice (*Oryza sativa*) to glufosinate application timing. *Weed Technology* 11:303-307.
- Sankula, S., M. P. Braverman and S. D. Linscombe. 1997c. Glufosinate-resistant, BAR-transformed rice (*Oryza sativa*) and red rice (*Oryza sativa*) response to glufosinate alone and in mixtures. *Weed Technology* 11:662-666.
- Sattin, M., D. Berto, G. Zanin and M. Tabacchi. 1999. Resistance to ALS inhibitors in weeds of rice in north-western Italy. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 3:783-790.
- Schmidt, B., B. Thiede and C. Rivero. 1994. Metabolism of the pesticide metabolites 4-nitrophenol and 3,4-dichloroaniline in carrot (*Daucus carota*) cell suspension cultures. *Pesticide Science* 40:231-238.
- Schmidt, O., O. Aurich, N. López, R. de Prado and H. Walter. 1998. Botanical identification of Spanish *Echinochloa* biotypes with differential responses to quinclorac. *Proceedings 6th EWRS Mediterranean Symposium, Montpellier, France*. European Weed Research Society, pp. 232-233.

- Schmidt, R. R. 1997. HRAC classification of herbicides according to mode of action. Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Weeds 3:1133-1140.
- Seefeldt, S. S., J. E. Jensen and E. P. Fuerst. 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. Weed Technology 9: 218-227.
- Shibaie, H., K. Itoh and A. Uchino. 1999. Genetic variation and relationships of herbicide-resistant and -susceptible biotypes of *Lindernia micrantha*. Proceedings Brighton Crop Protection Conference – Weeds 1:197-202.
- Shibayama, H. 1994. Integrated management of paddy weeds in Japan: Current status and prospects for improvement. Pages 78-87 in Food and Fertilizer Technology Center. Integrated management of paddy and aquatic weeds in Asia. FFTC Book Series No. 45. Taipei, Taiwan.
- Smith, R. J. 1961. 3,4-Dichloropropionanilide for control of barnyardgrass in rice. Weeds 3:318-322.
- Smith, R. J. Jr. 1974. Competition of barnyardgrass with rice cultivars. Weed Science 22:423-426.
- Smith, R. J. Jr. 1968. Weed competition in rice. Weed Science 16:252-255.
- Smith, R. J. Jr., R. E. Talbert and A. M. Baltazar. 1992. Control, biology and ecology of propanil-tolerant barnyardgrass. Arkansas Rice Research Studies. University of Arkansas, pp. 46-50.
- Stauber, L. G., R. J. Smith Jr. and R. E. Talbert. 1991. Density and spatial interference of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) with rice (*Oryza sativa*). Weed Science 39:163-168.
- Still, C. C. and O. Kuzirian. 1967. Enzyme detoxication of 3',4'-dichloropropionanilide in rice and barnyard grass, a factor in herbicide selectivity. Nature 216:799-800.
- Strehl, T. and M. Pavao Vianna. 1997. *Echinochloa colona* (L.) Link, o capim arroz em nossas lavouras. Lavoura Arrozadeira 30:8-11.
- Streibig, J. C. 1988. Herbicide bioassay. Weed Research 28:479-484.
- Sugimoto, M., Y. Ohashi and K. Kawase. 1999. An occurrence of paddy weeds resistant to sulfonylurea herbicides in Kyoto and an effect of several herbicides on them. Journal of the Kinki-Sakuiku-Kenkyu 44:43-48.
- Sy, S. J. and B. L. Mercado. 1983. Note: Comparative response to 2,4-D of *Sphenoclea zeylandica* collected from two locations. Philippines Journal Weed Science 10:90-93.
- Taylor, M. 1995. Rice weed control developments. Farmers'Newsletter Large-Area 145:10-11.
- Tena, M. P. 1981. Distribución de las malezas en los cultivos de arroz en el estado de Campeche. Memorias, II Congreso Nacional de la Ciencia de la Maleza, Sociedad Mexicana de la Ciencia de la Maleza, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo; Mexico, pp. 34-60.

- Usui, K., F. Deng, I. S. Shim and K. Kobayashi. 1999. Differential contents of pretilachlor, fenclorim and their metabolites between rice and early watergrass (*Echinochloa oryzicola*) seedlings leading to selectivity and safening action. *Journal of Weed Science and Technology* 44:37-42.
- Valverde, B. E. 1996. Management of herbicide resistant weeds in Latin America: The case of propanil-resistant *Echinochloa colona* in rice. *Proceedings Second International Weed Control Congress*, Copenhagen, Denmark 2:415-420.
- Valverde, B. E. and A. Bolaños-Espinoza. 1999. La resistencia a herbicidas dificulta el manejo de la maleza. *Agro-Síntesis* (Mexico), February 28:7-8, 10, 12.
- Valverde, B. E., L. Chaves, I. Garita, F. Ramírez, E. Vargas, J. Carmiol, C. R. Riches and J. C. Caseley. 2000. Modified herbicide regimes for propanil-resistant *Echinochloa colona* control in rice. *Weed Science* *In press*.
- Valverde, B. E., P. Chaves, I. Garita, E. Vargas, C. R. Riches and J. C. Caseley. 1997. From theory to practice: Development of piperophos as a synergist to propanil to combat herbicide propanil resistance in Junglerice, *Echinochloa colona*. *Abstracts Weed Science Society of America* 37:33.
- Valverde, B. E., L. Chaves, J. González and I. Garita. 1993. Field-evolved imazapyr resistance in *Ixophorus unisetus* and *Eleusine indica* in Costa Rica. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 3:1189-1194.
- Valverde, B. E., I. Garita, E. Vargas, L. Chaves, F. Ramírez, A. J. Fischer and H. Pabón. 1999. Anilofos as a synergist to propanil for controlling propanil-resistant junglerice, *Echinochloa colona*. *Abstracts Weed Science Society of America* 39:318.
- Villa-Casarez, J. T. 1998. Repuesta de *Echinochloa colona* (L.) Link a propanil en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en áreas selectas de México. Tesis MSc. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 140 p.
- Wang, G. X., H. Kohara and K. Itoh. 1997. Sulfonylurea resistance in a biotype of *Monochoria korsakowii*, an annual paddy weed in Japan. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds* 1:311-318.
- Watanabe, H., M. Z. Ismail and N. A. Ho. 1997. Response of 2,4-D resistant biotype of *Fimbristylis miliacea* (L.) Vahl. to 2,4-D dimethylamine and its distribution in the Muda Plain, peninsular Malaysia. *Weed Research* (Japan) 42:240-249.
- Webster, E. P., J. A. Masson and W. Zhang. 2000. Imazethapyr rates and timings in water-seeded rice. *Abstracts Weed Science Society of America* 40:271.
- Wheeler, C. C., F. L. Bladwin, R. E. Talbert and E. P. Webster. 1998. Weed control in glufosinate-resistant rice. *Proceedings Southern Weed Science Society* 51:34.

- Williams, B. J. 2000. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control in Clearfield rice. Abstracts Weed Science Society of America 40:273.
- Winkler, R. and H. Sanderman. 1989. Plant metabolism of chlorinated anilines: Isolation and identification of *N*-glucosyl and *N*-malonyl conjugates. Pesticide Biochemistry and Physiology 33:239-248.
- Wrubel, R. P. and J. Gressel. 1994. Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. Weed Technology 8:635-648.
- Wu, J., H. Omokawa and K. K. Hatzios. 1996. Glutathione *S*-transferase activity in unsafened and fencloim-safened rice (*Oryza sativa*). Pesticide Biochemistry and Physiology 54:220-229.
- Yabuno, T. 1983. Biology of *Echinochloa* species. Proceeding of the Conference on Weed Control in Rice, 31 August-4 September 1981, Philippines. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, pp. 307-318.
- Yamamoto, E., L. Zeng and W. V. Baird. 1998. α -Tubulin missense mutations correlate with antimicrotubule drug resistance in *Eleusine indica*. Plant Cell 10:297-308.
- Yasui, K., T. Goto, H. Miyauchi, A. Yagani, D. Feucht and H. Frösch. 1997. BAY YRC 2388: A novel herbicide for control of grasses and some major species of sedges and broadleaf weeds in rice. Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds 1:67-72.
- Yih, R. Y., D. H. McRae and H. F. Wilson. 1968. Mechanism of selective action of 3',4'-dichloropropionanilide. Plant Physiology 43:1291-1296.
- Yoshida, S., K. Onodera, T. Soeda, Y. Takeda, S. Sasaki and H. Watanabe. 1999. Occurrence of *Scirpus juncoides* subsp. *juncoides*, resistant to sulfonylurea herbicides in Miyagi Prefecture. Journal of Weed Science and Technology 44 (supplement):70-71.
- Zhang, W. M., K. Moody and A. K. Watson. 1996. Responses of *Echinochloa* species and rice (*Oryza sativa*) to indigenous pathogenic fungi. Plant Disease 80:1053-1058.

Índice de materias

A

Abutilon theophrasti. Ver Especies
ACCasa. Ver Acetil coenzima-Acarboxilasa
Acetil coenzima-A carboxilasa, 3
 inhibición, 11
Acetolactato sintetasa, 3, 12
 inhibidores, 12, 32
Ácidos quinolin-carboxílicos, 19. Ver Herbicidas, quinclorac
Acifluorfen. Ver Herbicidas
Adaptabilidad al medio, 6, 7
Aeschynomene sensitiva. Ver Especies
AFP. Ver Ariloxi-fenoxi propanoatos
AHAS. Ver Acetolactato sintetasa
Alelopatía. Ver Definiciones
Alisma plantago lanceolata. Ver Especies
Alisma plantago-aquatica. Ver Especies
Alopecurus myosuroides. Ver Especies
ALS. Ver Acetolactato sintetasa
Ammania auriculata. Ver Especies
Ammania coccinea. Ver Especies
Análogos de auxinas, 19. Ver también ingredientes activos específicos
Anilofos. Ver Herbicidas
Aril acilamidasa, 14, 79
Ariloxi-fenoxi propanoatos, 3, 11. Ver también ingredientes activos específicos
Arroz
 control químico dentro del cultivo, 72–82
 densidad de siembra, 69
 malezas resistentes, 27, 31
 retraso de la siembra, 65
 rotación de cultivo, 69
 toxicidad de herbicidas

 clomazone, 74
 fenoxaprop-*p*-etilo, 77
 glufosinato de amonio, 83
 imidazolinonas, 83
 nicosulfurón, 77
 pendimetalina, 73
 propanil a dosis elevadas, 90
 propanil con sinergistas, 80
 propanil más insecticidas, 80
 variedades alelopáticas, 70
 variedades competitivas, 33, 69
 variedades tolerantes a herbicidas, 84
Arroz tolerante a herbicidas, 8, 84
Avena fatua. Ver Especies
Azimsulfurón. Ver Herbicidas

B

Bacopa rotundifolia. Ver Especies
Banco de semillas del suelo, 6, 7, 69, 84–85
BAY YRC 2388. Ver fentrazamida
Bensulfurón-metilo. Ver Herbicidas
Bentazón. Ver Herbicidas
Bifenox. Ver Herbicidas
Bioanálisis, 40
 aplicación del herbicida, 51
 planta entera, 48–53
 procedimientos de invernadero, 40
 propagación de plantas, 50
 prueba con semillas pre-germinadas, 53
 prueba de culmos con nudos, 57
 pruebas con hijos, 55
 pruebas con plántulas, 54
 pruebas rápidas, 53–59
Bispiribac-sodio. Ver Herbicidas
Brachiaria platyphylla. Ver Especies

Butaclor. *Ver* Herbicidas
Butroxdim. *Ver* Herbicidas

C

Capacidad adaptativa, 71
Carbamilúreas. *Ver* Tetrazolinonas
Carbaryl, 79
CGA279233. *Ver* piritalid
CHD. *Ver* ciclohexanodionas
Ciclohexanodionas, 3, 11. *Ver también ingre -
dientes activos específicos*
Ciclosulfamurón. *Ver* Herbicidas
Cicloxidim. *Ver* Herbicidas
Cihalofof-butilo. *Ver* Herbicidas
Cinosulfurón. *Ver* Herbicidas
Cleome viscosa. *Ver* Especies
Clodinafof-propargil. *Ver* Herbicidas
Clomazone. *Ver* Herbicidas
Cloroacetamidas, 17. *Ver también ingre -
dientes activos específicos*
Clorsulfurón. *Ver* Herbicidas
Clortolurón. *Ver* Herbicidas
Comité de Acción sobre Resistencia a Her-
bicidas, 100–102
clasificación de herbicidas por su modo
de acción, 9, 11, 107
Cultivos resistentes a herbicidas por modifi-
cación genética. *Ver* Definiciones
Curva de respuesta a dosis crecientes, 44
Cyperus difformis. *Ver* Especies
Cyperus ferax. *Ver* Especies
Cyperus iria. *Ver* Especies

D

2,4-D. *Ver* Herbicidas
Damasonium minus. *Ver* Especies
Definiciones
alelopatía, 70
cultivos resistentes a herbicidas por mo-
dificación genética, 2
índice de resistencia, 43
cálculo, 45
RC₅₀, 43
resistencia, 1
resistencia cruzada, 2

resistencia cruzada negativa, 2
resistencia múltiple, 2
sinergismo, 79
tolerancia, 1

Diagnóstico de resistencia, 40, 47–59
bioanálisis con plantas enteras, 48–53
pruebas rápidas, 53–59
Dicamba. *Ver* Herbicidas
Difenil-éteres, 16, 104. *Ver también ingre -
dientes activos específicos*
Digitaria sp. *Ver* Especies
Dimepiperate. *Ver* Herbicidas
Dimetametrina. *Ver* Herbicidas
Dinitroanilinas, 17. *Ver también ingredien -
tes activos específicos*
Diseminación de la resistencia, 7
Ditiocarbamatos, 18. *Ver también ingre -
dientes activos específicos*
Ditiopir. *Ver* Herbicidas
DPX-A8947. *Ver* azimsulfurón

E

Echinochloa colona. *Ver* Especies
Echinochloa crus-galli. *Ver* Especies
var. *oryzicola*. *Ver* *Echinochloa
phyllopogon*
Echinochloa crus-pavonis. *Ver* Especies
Echinochloa hispidula. *Ver* Especies
Echinochloa obtusiflora. *Ver* Especies
Echinochloa oryzicola. *Ver* Especies
Echinochloa oryzoides. *Ver* Especies
Echinochloa phyllopogon. *Ver* Especies
Echinochloa pyramidalis. *Ver* Especies
Eclipta alba. *Ver* Especies
Eclipta prostrata. *Ver* Especies
Elatine triandra var. *pedicellata*. *Ver* Especies
Eleusine indica. *Ver* Especies
Especies
Abutilon theophrasti, 15
Aeschynomene sensitiva, 97
Alisma plantago lanceolata, 13, 28
Alisma plantago-aquatica, 28, 29, 63
Alopecurus myosuroides, 7, 62, 72, 73,
104, 106
Ammania auriculata, 28, 29
Ammania coccinea, 28, 29, 84

Avena fatua, 104
Bacopa rotundifolia, 28, 29
Brachiaria platyphylla, 83
Cleome viscosa, 75, 88
Cyperus difformis, 28, 29, 32
Cyperus ferax, 88
Cyperus iria, 92
Cyperus rotundus, 88, 92
Damasonium minus, 28, 29
Digitaria sp., 74, 78
Echinochloa colona, 12, 15
 biología, 21
 casos de resistencia, 29
 crecimiento, desarrollo y reproducción, 25
 diagnóstico de resistencia, 47–59
 distribución, 23, 33
 ecología, 21
 germinación, 24
 habitat, 24
 hospedero alterno, 26
 importancia económica, 33
 latencia de semillas, 26
 manejo agronómico, 64–72
 manejo de poblaciones resistentes, 61–85, 87–97
 manejo de resistencia a propanil con sinergistas, 79–82
 opinión del productor, 97
 propagación vegetativa, 26
 resistencia a fenoxaprop-*p*-etilo, 37
 manejo, 79
 resistencia a propanil, 34
 en América Latina, 36, 33–38
 mecanismo, 15
 resistencia a quinclorac, 39
 resistencia múltiple, 40
Echinochloa crus-galli, 15, 38
 casos de resistencia, 29, 30
 resistencia a butachlor, 39
 resistencia a dinitroanilinas, 17
 resistencia a propanil, 38
 resistencia a quinclorac, 39
 resistencia a tiobencarbo, 39
 resistencia a trifluralina, 40
 var. *austro-japonensis*, 21
 var. *crus-galli*, 22
 var. *praticola*, 21
Echinochloa crus-pavonis, 30, 38, 39
Echinochloa hispidula, 19, 30, 38
Echinochloa obtusiflora, 26
Echinochloa oryzicola, 22, 30, 38
Echinochloa oryzoides, 30, 38, 39
Echinochloa phyllopogon, 22, 30, 38
Echinochloa pyramidalis, 26
Eclipta alba, 75, 84
Eclipta prostrata, 83
Elatine triandra var. *pedicellata*, 28, 30
Eleusine indica, 17
Eriochloa punctata, 69
Fimbristylis miliacea, 30, 32, 75, 85
Heteranthera limosa, 97
Ischaemum rugosum, 30, 32, 78, 88
Ixophorus unisetus, 32
Lactuca serriola, 3
Leptochloa filiformis, 88
Leptochloa spp., 78
Limnocharis flava, 28, 30
Limnophila sessiliflora, 30
Lindernia dubia, 28, 30
Lindernia micrantha, 8, 28, 31
Lindernia procumbens, 31
Lolium rigidum, 62, 72, 102, 104
Ludwigia sp., 75, 84, 88
Mazus japonica, 84
Mecardonia sp., 84
Monochoria korsakowii, 28, 31
Monochoria vaginalis, 28, 31
Murdannia nudiflora, 75, 91
Oryza latifolia, 88
Oryza sativa (arroz rojo), 82, 88
Phalaris minor, 102
Physalis angulata, 75, 88
Pycnus macrostachyos, 85
Rotala indica var. *uliginosa*, 28, 31
Rottboellia cochinchinensis, 88, 91, 94, 96
Sagittaria guyanensis, 28, 31
Sagittaria montevidensis, 13, 28, 31, 32, 111
Scirpus juncoides var. *ohwianus*, 28, 31
Scirpus maritimus, 28, 31
Scirpus mucronatus, 13, 28, 31, 63
Senecio vulgaris, 2
Sesbania exaltata, 83
Setaria viridis, 104
Sphenoclea zeylandica, 31, 32

Esprocarb. *Ver* Herbicidas
Etoxisulfurón. *Ver* Herbicidas

F

Federación Global para la Protección de los Cultivos, GCPF, 100
Fenclorim, 9, 18
Fenoxaprop-*p*-etilo. *Ver* Herbicidas
 E. colona resistente, 37
Fentrazamida. *Ver* Herbicidas
Fimbristylis miliacea. *Ver* Especies
Fluazifop-*p*-butilo. *Ver* Herbicidas
Flumetsulam. *Ver* Herbicidas
Fluroxipir. *Ver* Herbicidas
Foramsulfurón. *Ver* Herbicidas
Frecuencia de genes, 6

G

GIFAP. *Ver* Federación Global para la Protección de los Cultivos
Glifosato. *Ver* Herbicidas
 y manejo de resistencia a propanil, 92
Glufosinato de amonio. *Ver* Herbicidas
Graminícidas sistémicos, 77–78

H

Halosulfurón-metilo. *Ver* Herbicidas
Haloxifop-butilo. *Ver* Herbicidas
Herbicidas
 2,4-D, 1, 19, 63, 95
 resistencia, 32
 acifluorfen, 83, 104
 anilofos, 9, 18, 73, 74, 80
 azimsulfurón, 9, 13, 40, 63
 bensulfurón-metilo, 3, 12, 27, 32, 63
 bentazón, 13
 bifenox, 9, 16, 73
 bispiribac-sodio, 3, 9, 13, 39, 73, 74, 77, 78, 79, 91, 97
 resistencia en *E. phyllopogon*, 40
 butaclor, 9, 17, 73, 75
 resistencia en *E. crus-galli*, 39
 butroxidim, 12
 ciclosulfamurón, 12, 28, 97

cicloxidim, 37
cihalofop-butilo, 9, 11, 36, 37, 73, 77, 79, 91, 96
cinosulfurón, 12, 63
clasificación por modo de acción, 9, 11, 107
clefoxidim, 9, 39
clodinafop-propargil, 9, 12, 37
clomazone, 9, 16, 39, 73, 74, 75, 79, 91
clorsulfurón, 3, 7
clortolurón, 73
dicamba, 19
dimepiperate, 9
dimetametrina, 13, 95
ditiopir, 9, 17
esprocarb, 9
etoxisulfurón, 13, 63
fenoxaprop-*p*-etilo, 9, 12, 36, 37, 39, 73, 77, 78, 95
 manejo de resistencia, 79
 resistencia, 32
 resistencia en *E. phyllopogon*, 40
fentrazamida, 9, 18
fluazifop-*p*-butilo, 37, 69, 95
flumetsulam, 3
fluroxipir, 19
foramsulfurón, 13
glifosato, 2, 10, 82, 92
 para manejo de resistencia a propanil, 66–69
glufosinato de amonio, 10, 82, 83
halosulfurón-metilo, 13
haloxifop-butilo, 95
imazapir, 3
imazaquin, 83
imazetapir, 8, 83
imazosulfurón, 13, 28
iodosulfurón, 13
ioxinil, 13, 95
MCPA, 1, 19, 63
mefenacet, 10
metosulam, 63
metsulfurón-metilo, 13, 97
mezclas
 en la prevención de la resistencia, 63
 formuladas, 28
molinate, 9, 18, 73, 95
 resistencia en *E. oryzoides*, 39, 40

resistencia en *E. phyllopogon*, 40
 nicosulfurón, 77, 78
 oxadiargil, 9, 16, 97
 oxadiazón, 9, 16, 73
 oxaziclomefone, 10
 oxifluorfen, 10, 16
 paraquat, 10
 pendimetalina, 9, 17, 35, 40, 73, 74, 75, 77, 79, 94, 95
 en el manejo de resistencia a propanil, 63
 pentoxazone, 16
 picloram, 19
 piperofos, 9, 18, 74, 80, 95
 pirazosulfurón-etilo, 13, 27, 28
 resistencia, 13
 piribenzoxim, 9, 13, 74, 75, 77, 78, 79
 pirifitalid, 10
 piriminobac-metilo, 13, 79
 pretilaclor, 9, 17, 73, 77, 91
 propanil, 9, 13, 39, 74, 77
 co-formulación con piperofos, 82, 89
 hidrólisis, 14
 mecanismo de resistencia, 15
 resistencia en América Latina, 36, 33–38
 resistencia en *E. crus-galli*, 38
 selectividad, 14
 sinergistas para el manejo de resistencia, 79–82
 quinclorac, 9, 19, 73, 74, 75, 77, 79, 97
 especies de *Echinochloa* resistentes, 39
 resistencia en *E. colona*, 39
 resistencia en *E. crus-pavonis*, 39
 resistencia en *E. hispidula*, 39
 resistencia en *E. oryzicola*, 39
 resistencia en *E. oryzoides*, 39
 quizalofop, 37
 setoxidim, 9, 12, 37, 79, 95
 simazina, 7
 tiazopir, 17
 tiobencarbo, 9, 18, 73, 75, 77, 79, 95
 resistencia en *E. crus-galli*, 39
 resistencia en *E. oryzoides*, 39, 40
 resistencia en *E. phyllopogon*, 40
 triclopir, 19, 63, 83
 tridiphane como sinergista, 81

trifluralina, 40
 uso de mezclas en el manejo de la resistencia, 72
 Herbicidas organofosforados, 18
Heteranthera limosa. Ver Especies
 HRAC. Ver Comité de Acción sobre Resistencia a Herbicidas

I

Imazapir. Ver Herbicidas
 Imazetapir. Ver Herbicidas
 Imazosulfurón. Ver Herbicidas
 Imidazolinonas, 3, 10, 12, 82. Ver también *ingredientes activos específicos*
 Índice de resistencia. Ver Definiciones
 Inhibidores de fotosíntesis, 13
 Inhibidores de la biosíntesis de carotenoides, 16
 Inhibidores de la división celular, 17
 Inhibidores de la oxidasa del protoporfirinógeno, 15
 Inhibidores de la síntesis de lípidos, 18
 Insecticidas carbamatos, 14, 79
 Insecticidas organofosforados, 14, 79
 Iodosulfurón. Ver Herbicidas
 Ioxinil. Ver Herbicidas
Ischaemum rugosum. Ver Especies
 Isoxazolidinonas, 16. Ver también *ingredientes activos específicos*
Ixophorus unisetus. Ver Especies

L

Labranza mínima, 67
Lactuca serriola. Ver Especies
Leptochloa filiformis. Ver Especies
Leptochloa spp. Ver Especies
Limnocharis flava. Ver Especies
Limnophila sessiliflora. Ver Especies
Lindernia dubia. Ver Especies
Lindernia micrantha. Ver Especies
Lindernia procumbens. Ver Especies
Lindernia pyxidaria. Ver *L. procumbens*
Lolium rigidum. Ver Especies
Ludwigia sp. Ver Especies

M

Manejo de resistencia a herbicidas, 64–85, 87–97, 111–14
Manejo del rastrojo de arroz, 64
Manejo integrado, 61–85, 87–97, 104–5
Mazus japonica. Ver Especies
MCPA. Ver Herbicidas
Mecanismos of resistencia, 8
Mecardonia sp. Ver Especies
Mefenacet. Ver Herbicidas
Metabolismo acelerado, 12
Metil-paratión, 79
Metosulam. Ver Herbicidas
Metsulfurón-metilo. Ver Herbicidas
Mimetismo, 22
Modo de acción, 11–19
clasificación de herbicidas, 9, 107
Molinate. Ver Herbicidas
Monochoria korsakowii. Ver Especies
Monochoria vaginalis. Ver Especies
Mono-oxigenasas, 17
Murdannia nudiflora. Ver Especies
MY100. Ver oxaziclomefone

N

Nicosulfurón. Ver Herbicidas

O

Oryza latifolia. Ver Especies
Oryza sativa (arroz rojo). Ver Especies
Oxadiargil. Ver Herbicidas
Oxadiazoles, 16. Ver también ingredientes activos específicos
Oxadiazón. Ver Herbicidas
Oxaziclomefone. Ver Herbicidas
Oxazolidinedionas, 16. Ver también ingredientes activos específicos
Oxifluorfen. Ver Herbicidas

P

Paraquat. Ver Herbicidas
Pendimetalina. Ver Herbicidas
Pentoxazone. Ver Herbicidas

Phalaris minor. Ver Especies
Physalis angulata. Ver Especies
Picloram. Ver Herbicidas
Piperofos. Ver Herbicidas
Pirazosulfurón-etilo. Ver Herbicidas
Piribenzoxim. Ver Herbicidas
Piridinas, 17. Ver también ingredientes activos específicos
Piriftalid. Ver Herbicidas
Pirimidinil benzoatos, 3, 12, 13. Ver también ingredientes activos específicos
Piriminobac-metilo. Ver Herbicidas
Presión de selección, 6, 61, 62
dosis del herbicida, 61
Pretilaclor. Ver Herbicidas
Prevención de la resistencia, 61–64
Propanil. Ver Herbicidas
Pycnus macrostachyos. Ver Especies

Q

Quinclorac. Ver Herbicidas
Quizalofop. Ver Herbicidas

R

RC₅₀, 43
definición, 43
determinación, 44
Recolección de semilla para bioanálisis, 40, 49
Recuento Internacional de Resistencia a Herbicidas, 106
Resistencia. Ver Definiciones
diagnóstico, 40
manejo, 61–85, 87–97, 111–14
mecanismos, 11–19
Resistencia cruzada. Ver Definiciones
en poblaciones de *E. colona*, 37
Resistencia cruzada negativa. Ver Definiciones
Resistencia múltiple. Ver Definiciones
en *E. colona*, 40
en *E. phyllopogon*, 40
Rotación de cultivos, 69
Rotala indica var. *uliginosa*. Ver Especies
Rottboellia cochinchinensis. Ver Especies

S

Sagittaria guyanensis. Ver Especies
Sagittaria montevidensis. Ver Especies
Scirpus juncooides var. *ohwianus*. Ver Especies
Scirpus maritimus. Ver Especies
Scirpus mucronatus. Ver Especies
Senecio vulgaris. Ver Especies
Sesbania exaltata. Ver Especies
Setaria viridis. Ver Especies
Setoxidim. Ver Herbicidas
Simazina. Ver Herbicidas
Sinergismo, 18. Ver Definiciones
y manejo de resistencia a propanil, 79–82
Sintetasa del ácido hidroxiaacético. Ver Acetolactato sintetasa
Sphenoclea zeylandica. Ver Especies
Sulfonilúreas, 3, 12. Ver también *ingredientes activos específicos*
resistencia, 27

T

Tetrazolinonas, 18. Ver también *ingredientes activos específicos*
Tiazopir. Ver Herbicidas
Tiobencarbo. Ver Herbicidas
Tolerancia. Ver Definiciones
Triazolopirimidinas, 3, 12. Ver también *ingredientes activos específicos*
Triclopir. Ver Herbicidas
Tridiphane, 81
Trifluralina. Ver Herbicidas
Tubulina, 17

W

WSSA, Weed Science Society of America
clasificación de herbicidas por su modo de acción, 9, 11, 107