

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**  
**Ingeniería Agronómica**



Proyecto Especial de Graduación  
**Resistencia de Malezas a Herbicidas en Latinoamérica y Métodos de  
Manejo: Revisión de Literatura**

Estudiantes

Euribiades Noriel Broce Samaniego

Ramón Armando López Lobo

Asesores

Rony Francisco Muñoz Molina, M.Sc.

Rogelio Trabanino Young, M.Sc.

Honduras, agosto 2021

**Autoridades**

**TANYA MÜLLER GARCÍA**

Rectora

**ANA MARGARITA MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**ROGEL CASTILLO**

Director Departamento Académico

**HUGO ZAVALA MEMBREÑO**

Secretario General

## Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras .....	6
Resumen .....	7
Abstract.....	8
Metodología.....	12
Resultados y Discusión.....	13
Evolución de las Malezas Susceptibles a Resistentes .....	13
Principales Especies de Maleza Resistentes .....	13
Aumento de los Casos de Resistencia a Nivel Mundial.....	15
Herbicidas con Mayores Reportes de Resistencia .....	16
Tipos de Resistencia.....	18
Mecanismos de Resistencia a Herbicidas .....	19
Impacto Económico de las Malezas Resistentes.....	20
Casos más Relevantes de Resistencia en Latinoamérica .....	20
Casos de Resistencia de <i>Parthenium hysterophorus</i> L. a Glifosato .....	23
Manejo de la Resistencia de <i>Echinochloa colona</i> L en Cultivo de Arroz.....	25
Manejo Químico.....	25
Retrasar la Siembra.....	26
Rotación de Cultivo .....	26
Cultivares más Competitivos.....	26
Alelopatía .....	27
Manejo de la Resistencia de <i>P. hysterophorus</i> en Cítricos .....	27
Coberturas Vegetales.....	27
Alelopatía .....	27

Manejo de la Resistencia de <i>P. hysterophorus</i> L en Maíz .....	28
Manejo Químico.....	28
Preparación del Suelo .....	28
Cultivos de Cobertura .....	29
Conclusiones .....	30
Recomendaciones.....	31
Referencias.....	32

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Aspectos Importantes en la Revisión de Literatura sobre la Resistencia de Malezas a Herbicidas en Latinoamérica y Métodos de Manejo. ....	12
Cuadro 2 Casos de Resistencia de la Maleza Echinochloa colona L.....	21
Cuadro 3 Resultados de Resistencia a Propanil en Centroamérica Presentados por (Garita et al. 1995) .....	22
Cuadro 4 Panorama de Parthenium hysterophorus Resistente a Glifosato.....	23

## Índice de Figuras

Figura 1 Incremento Global de los Casos de Resistencia de Malezas a Herbicidas .....	14
Figura 2 Diez Principales Familias de Malezas Resistentes a Herbicidas.....	15
Figura 3 Distribución Mundial de los Casos de Resistencia .....	16
Figura 4 Principales Grupos de Herbicidas Resistentes. ....	17

## Resumen

El desarrollo de resistencia por parte de las malezas es un proceso de cambio que se da por la selección natural, donde las plantas desarrollan mecanismos para adaptarse a condiciones adversas del medio, un ejemplo son las plantas que pueden resistir la aplicación de herbicidas, dentro de las cuales los biotipos susceptibles mueren, mientras que los resistentes producen progenie y prosperan. Esto aumenta el porcentaje de biotipos resistentes, convirtiendo el control de malezas en una de las actividades más difíciles de ejecutar en los campos de producción agrícola. El objetivo principal de esta investigación fue analizar información sobre la resistencia de malezas a herbicidas, resaltando los principales casos de malezas resistentes en Latinoamérica específicamente países de América tropical y los métodos de manejo para prevenir o romper el desarrollo de esta condición. Para realizar esta investigación se utilizaron diversas bases de datos como AGORA, SCIELO, OARE, SpringerLink, eLibro, Google académico y WeedScience. Para filtrar la búsqueda se utilizaron las palabras claves: resistencia, herbicidas, tolerancia, importancia económica, malezas, mecanismos de resistencia, prevención y manejo. Se encontraron pocos reportes de casos de resistencia de malezas a herbicidas en Latinoamérica. El manejo de resistencia de *Echinochloa colona* al herbicida propanil en arroz, puede hacerse con mezclas de herbicidas, retrasando la siembra y utilizando cultivares más competitivos. Mientras que para manejar resistencia de *Parthenium hysterophorus* a glifosato en maíz, lo más conveniente es la eficiente labranza del suelo y el uso de cultivos de cobertura; en cítricos el manejo se hace mediante cobertura vegetal con *Arachis pintoi*.

*Palabras clave:* Herbicidas, malezas, manejo, resistencia.

### Abstract

The development of resistance by weeds is a process of change that occurs through natural selection, where plants develop mechanisms to adapt to adverse environmental conditions. An example of this are plants that can resist the application of herbicides, within which the susceptible biotypes die, while the resistant ones produce progeny and thrive. This increases the percentage of resistant biotypes, and therefore makes weed control one of the most difficult activities to perform in agricultural production fields. The main objective of this research was to analyze information on the resistance of weeds to herbicides, highlighting the main cases of resistant weeds in Latin America specifically countries of tropical America and the management methods to prevent or stop the development of this condition. To carry out this research, various databases such as AGORA, SCIELO, OARE, SpringerLink, eLibro, academic Google, and WeedScience were used. To filter the search, the keywords were used: resistance, herbicides, tolerance, economic importance, weeds, resistance mechanisms, prevention, and management. Few reports of weed resistance to herbicides were found in Latin America. Management of resistance of *Echinochloa colona* to propanil herbicide in rice can be done with herbicide mixtures, delaying planting, and using more competitive cultivars. While to manage resistance of *Parthenium hysterophorus* to glyphosate in corn, the most convenient is the efficient tillage of the soil and the use of cover crops; in citrus, the management is carry out by using a vegetal cover with *Arachis pintoi*.

*Keywords:* Herbicides, weeds, management, resistance.

## Introducción

Las malezas son especies de plantas que se presentan en todos los sitios destinados a la producción agrícola, muchas veces se controlan, pero las que permanecen en el campo de producción causan diversos problemas en cuanto a rendimiento lo que se refleja en el ingreso económico. A nivel mundial existen alrededor de ocho mil especies de malezas y de los daños causados por plagas en la agricultura las malezas ocasionan el 13 %. Entre los problemas que causan están: competencia por luz y nutrientes con el cultivo, son hospederas de plagas y enfermedades, liberan compuestos tóxicos para evitar el crecimiento de otras plantas y causan dificultades al momento de la cosecha pudiendo contaminarla (INTAGRI 2017).

El desarrollo de resistencia por parte de las malezas es un proceso de cambio que se da por la selección natural, las plantas desarrollan mecanismos para adaptarse a condiciones adversas del medio, es el caso de las plantas que pueden resistir la aplicación de herbicidas, dentro de las cuales los biotipos susceptibles sufren la muerte, mientras que los resistentes producen progenie y prosperan. De esta forma, es que aumenta el porcentaje de resistencia y simultáneamente hay una disminución de la susceptibilidad. Por esta razón, aumenta la población de plantas resistentes, convirtiendo el control de estas en una de las actividades más difíciles de ejecutar en los campos de producción agrícola. “En 1974 se introdujo en el mercado el herbicida Roundup® cuyo ingrediente activo es el glifosato, y 22 años después, en 1996, se informó el primer caso de resistencia a glifosato en *Lolium rigidum*” (Villalba 2009).

En la actualidad, las malezas son controladas por diversos métodos, uno de los más importantes es el control químico, ya que existe una gran cantidad de agricultores que lo utiliza. La producción de los organismos genéticamente modificados ha traído consigo avances tecnológicos, entre los cuales destaca el maíz resistente a glifosato, este cultivo genera la aplicación repetida de este potente herbicida a los campos de maíz y de ahí el surgimiento de malezas resistentes. Las constantes aplicaciones de glifosato en Australia provocaron una alteración genética en la maleza

*Lolium rigidum*, dándole resistencia al herbicida, ahora para su control se necesitan dosis supremamente altas. El tener que aplicar dosis altas además de generar pérdidas económicas, también ocasiona un mayor impacto en los ecosistemas del suelo, ya que puede causar intoxicaciones en la micro-flora y fauna.

Cuando hacemos aplicaciones de herbicidas calculando mal la dosis, ya sea aplicando más o menos de lo indicado, se pueden presentar problemas de resistencia, deficiencias en el cultivo por invasión de plantas no deseadas, y eso repercute en pérdidas de producción, además se provocaría que en el siguiente ciclo de cultivo tengamos una mayor incidencia de malezas.

Es importante conocer acerca de uno de los herbicidas más populares en el mundo y uno de los más utilizados por los agricultores, en este caso hablamos de glifosato. “El glifosato (N-fosfonometilglicina, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P) es un herbicida sistémico no selectivo desarrollado en los años 70 y originalmente comercializado bajo la marca Roundup® de la empresa Monsanto” (Herrera J et al. 2016).

Caracterizar morfológicamente mediante estudios de diferenciación de especie y determinación de los mecanismos de resistencia, es importante ya que las plantas no solo desarrollan resistencia por cambios en su metabolismo, sino que también cambian algunas características físicas como la cantidad de pelos y los niveles de cera en sus hojas. “El desarrollo de resistencia a herbicidas mediante mecanismos no específicos puede deberse a la combinación de uno o varios mecanismos que limitan la cantidad de herbicida que interactúa con el sitio activo. Es decir, se provoca una reducción de la cantidad de herbicida que llega al sitio de acción, ya sea por disminución de la penetración del herbicida en la planta, menor translocación, o incrementos en los niveles de secuestro-metabolización del herbicida” (Diez, De Ulzurrun 2013).

El objetivo principal de esta investigación fue analizar la información de diversas bases de datos sobre la resistencia de malezas a herbicidas, resaltando los principales casos de malezas

resistentes en Latinoamérica, así como los métodos de manejo de la resistencia más efectivos que se halla probado para prevenir o romper el desarrollo de esta condición.

## Metodología

La revisión de literatura se desarrolló utilizando como método de recolección de información de las bases de datos: AGORA, SCIELO, OARE, SpringerLink, eLibro, Google académico y la base de datos internacional sobre resistencia a los herbicidas (<http://www.weedscience.org/in.asp>). Para la búsqueda de información se utilizaron las palabras claves: resistencia, herbicidas, tolerancia, importancia económica, malezas, mecanismos de resistencia, transgénicos, prevención y manejo.

Para el desarrollo de esta revisión de literatura se decidió estudiar varios aspectos para analizar la situación de la resistencia de las especies de malezas en Latinoamérica (Cuadro 1).

### Cuadro 1

*Aspectos Importantes en la Revisión de Literatura sobre la Resistencia de Malezas a Herbicidas en Latinoamérica y Métodos de Manejo.*

Número	Aspectos sobre la resistencia de malezas
1	Evolución de las malezas susceptibles a resistentes
2	Principales especies de maleza resistentes
3	Aumento de los casos de resistencia a nivel mundial
4	Herbicidas con mayores reportes de resistencia
5	Mecanismos de resistencia a herbicidas
6	Tipos de resistencia
7	Impacto económico de las malezas resistentes
8	Casos más relevantes de resistencia en Latinoamérica
9	Casos de resistencia de <i>Parthenium hysterophorus</i> L a glifosato
10	Manejo de resistencia

## Resultados y Discusión

### Evolución de las Malezas Susceptibles a Resistentes

Una maleza resistente es aquel individuo al cual la presión de la selección natural le permite desarrollar mecanismos para adaptarse a condiciones adversas del medio, es el caso de las plantas que pueden resistir la aplicación de herbicidas, dentro de las cuales los biotipos susceptibles sufren muerte, mientras que los resistentes producen progenie y prosperan. De esta forma, es que aumenta el porcentaje de resistencia y simultáneamente hay una disminución de la susceptibilidad. Por esta razón, “si está presión de selección se mantiene en el tiempo, es de esperar entonces que la frecuencia de dichos individuos aumente, dificultando entonces el control de la maleza” (De La Vega 2013).

Resistencia es la capacidad hereditaria de una especie de sobrevivir y reproducirse después de ser expuesta a una dosis de herbicida que normalmente es letal para el tipo silvestre. En una planta la resistencia puede ocurrir de forma natural o inducida por técnicas como la ingeniería genética o la selección de variantes producidas por cultivos de tejidos o mutagénesis (WSSA 1998).

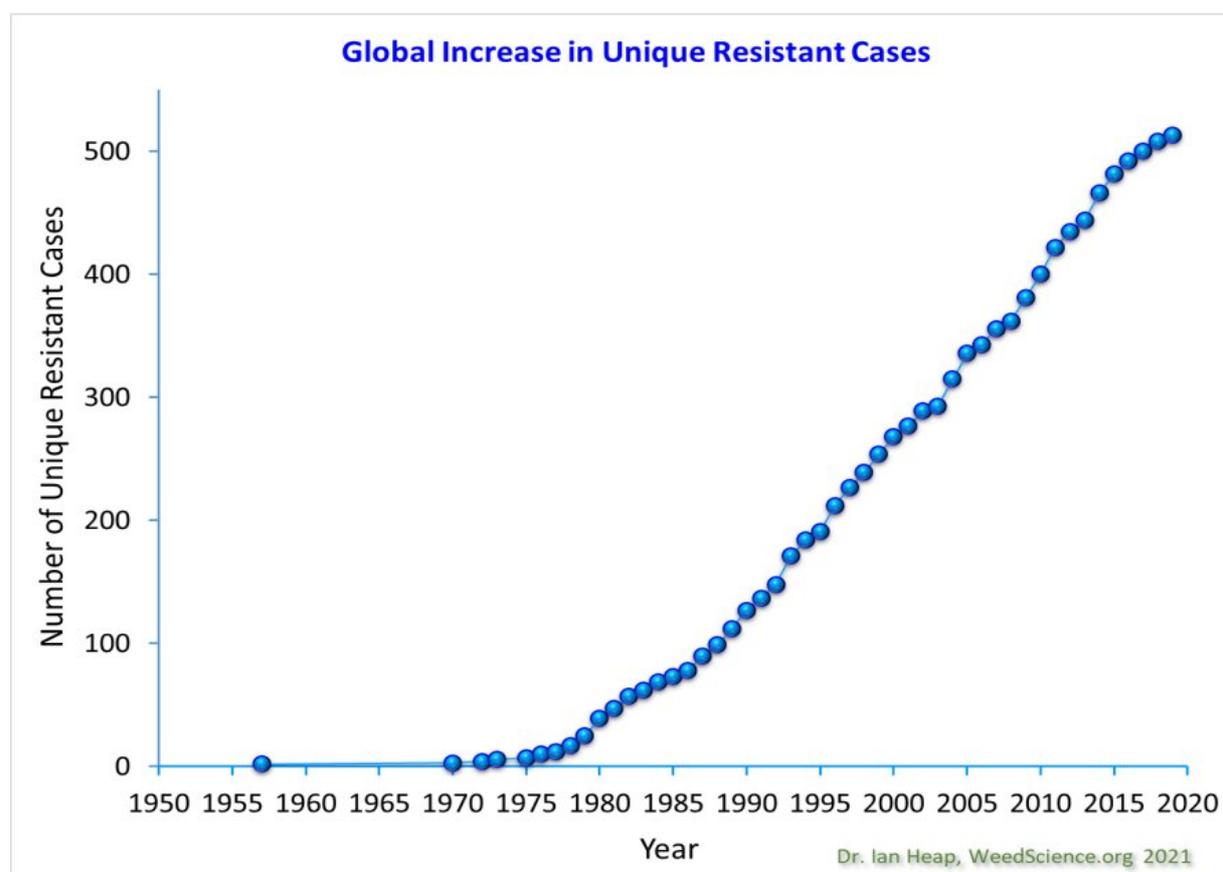
La resistencia a uno o varios herbicidas es una característica hereditaria de la maleza, cuya transmisión a las generaciones depende de la naturaleza del gen o de los genes involucrados que puede ser por dominancia, pseudo-dominancia o recesividad (Fuentes et al. 2010). Los biotipos de malezas resistentes se convierten en un problema más grave que la propia maleza, ya que se está en presencia de una plaga con una peligrosidad aumentada debido a la dificultad de su eliminación (Taberner P et al. 2007).

### Principales Especies de Maleza Resistentes

El número de malezas resistentes a herbicidas aumenta cada año según los datos estadísticos son proporcionados por la base de datos [weedscience.com](http://weedscience.com), quienes manejan datos internacionales de malezas resistentes como se observa en la (Figura 1).

**Figura 1**

*Incremento Global de los Casos de Resistencia de Malezas a Herbicidas.*

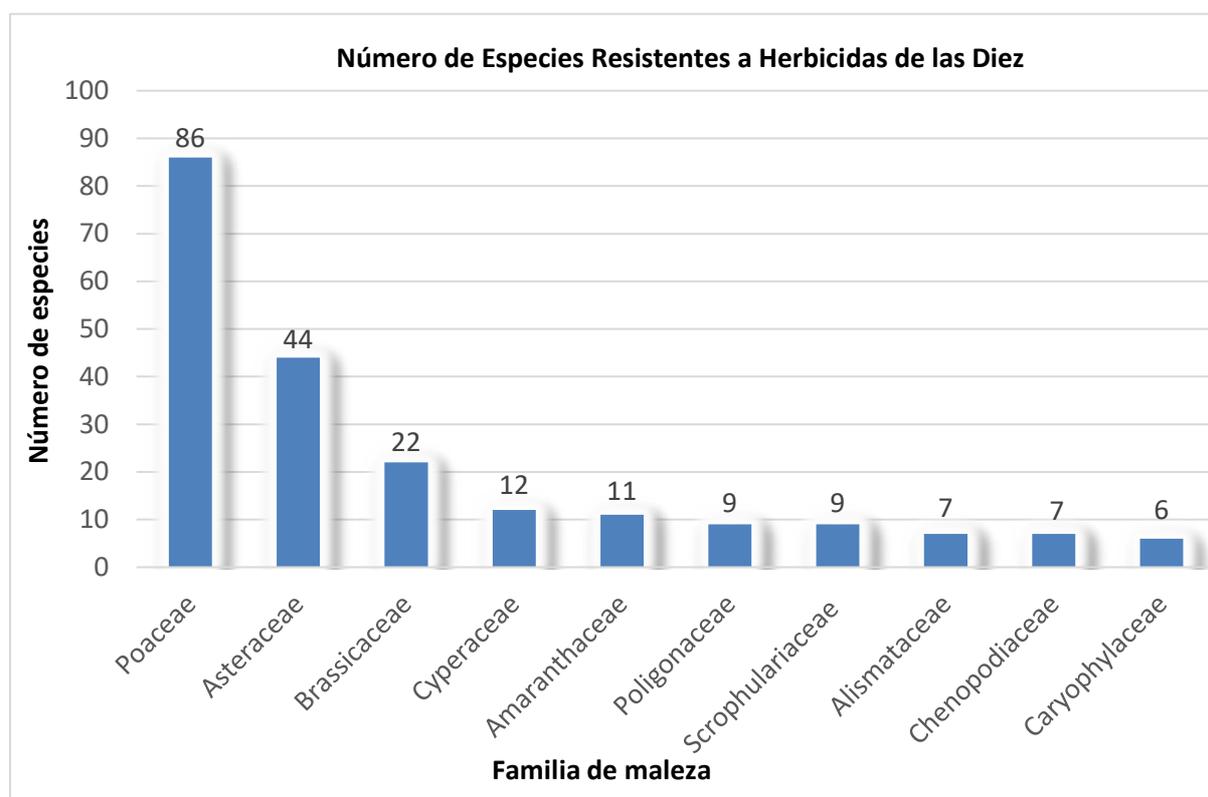


Nota. Tomada de (Heap 2021a)

En las últimas tres décadas el aumento en los casos de resistencia ha sido exponencial, teniendo malezas resistentes a varios herbicidas con diferentes modos de acción, fenómeno que está provocando que el control químico se encuentre en un estado de desequilibrio. Para poder tener una idea de la dinámica de las poblaciones resistentes debemos conocer las familias de malezas que están siendo afectadas por esta condición (Figura 2).

**Figura 2**

*Diez Principales Familias de Malezas Resistentes a Herbicidas.*



*Nota.* Tomada de (Heap 2021b)

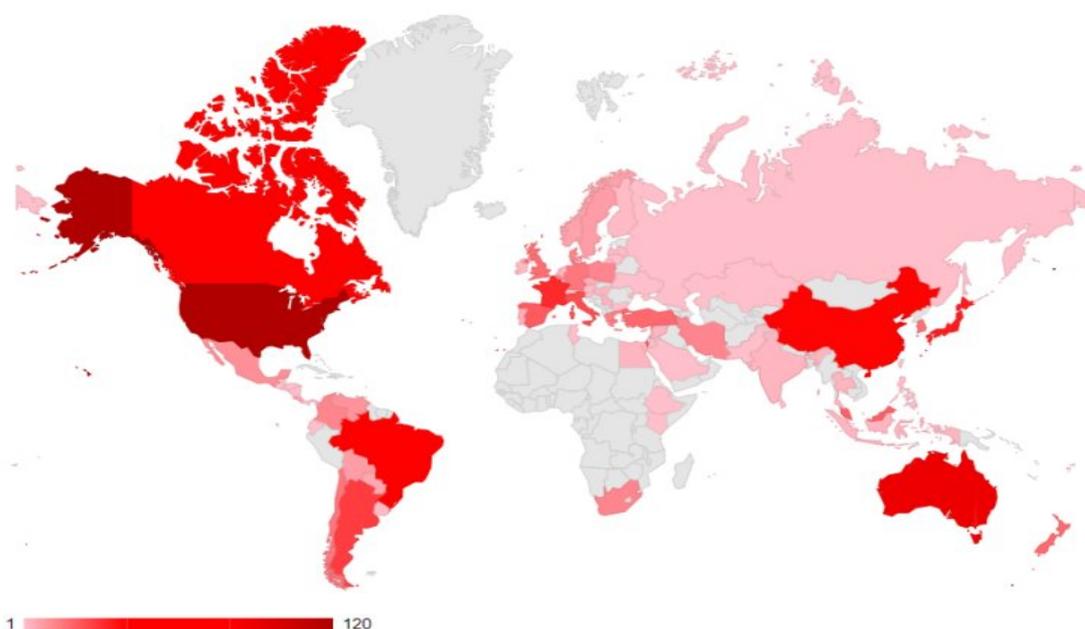
En la Figura 2, se observa que las familias Poaceae, Asteraceae, Brassicaceae, Amaranthaceae y Cyperaceae, son las que presentan un mayor número de especies con resistencia. Las especies de malezas pertenecientes a las familias Poaceae, Asteraceae y Brassicaceae, son las más propensas a evolucionar a resistentes que las demás familias, debido a su alta prevalencia como malezas en los campos agrícolas y muchas veces presentan adaptaciones a diversos estreses abióticos; además de que son especies muy eficientes en su reproducción.

#### **Aumento de los Casos de Resistencia a Nivel Mundial**

Los casos de resistencia aumentan cada año, es un fenómeno que sigue cobrando auge en distintas regiones del mundo. El área total afectada, aunque no estimada, puede ser de varios miles de hectáreas en aquellos cultivos regularmente tratados con herbicidas en países como Estados Unidos de América, Canadá, de la Unión Europea, Australia y de la América del Sur (Taberner P et al. 2007) (Figura 3).

### Figura 3

#### *Distribución Mundial de los Casos de Resistencia*



Nota. Tomada de Heap (2021b)

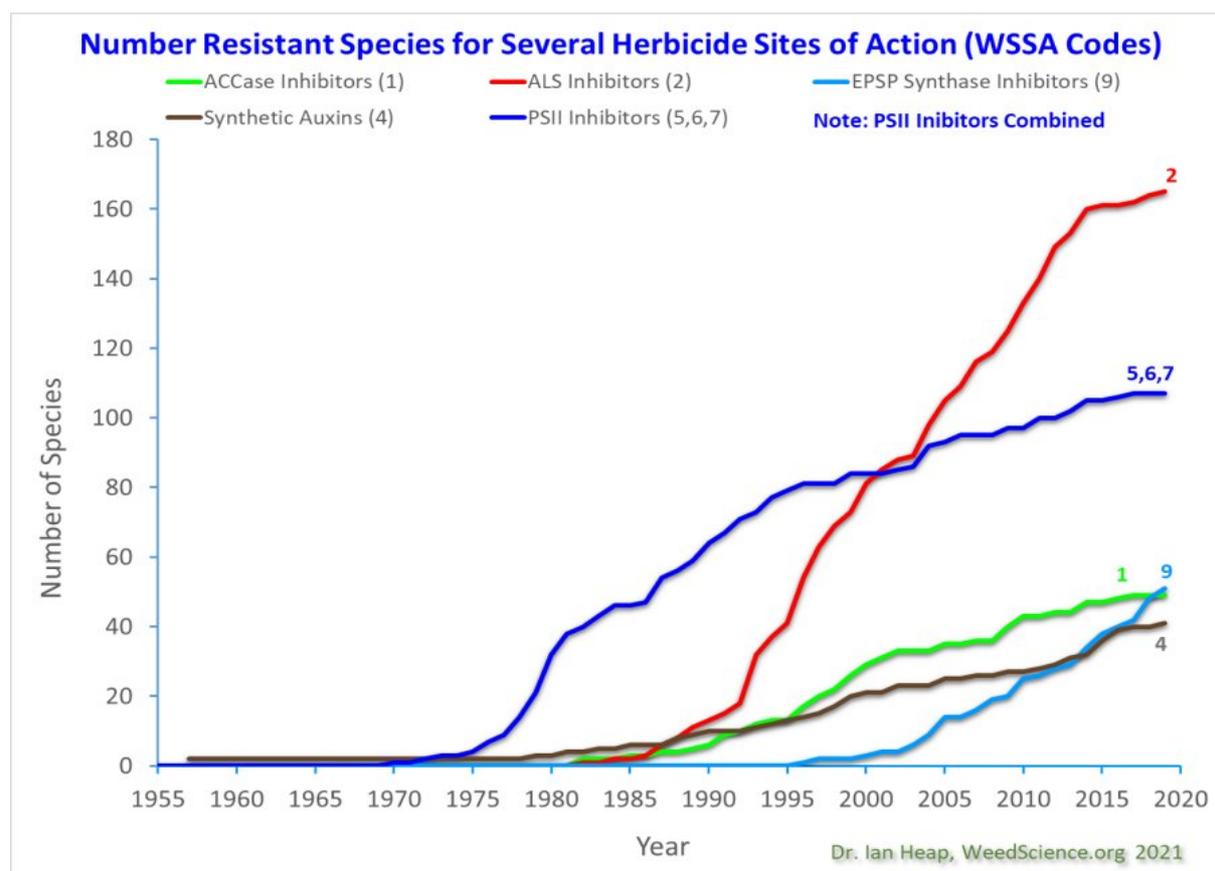
En 2004 se tenía confirmada resistencia en 291 biotipos de 174 especies de malezas: 104 dicotiledóneas y 70 monocotiledóneas. Actualmente hay 522 casos únicos (especie x sitio de acción) de malezas resistentes a herbicidas a nivel mundial, con 263 especies (152 dicotiledóneas y 111 monocotiledóneas). Las malas hierbas han desarrollado resistencia a 23 de los 26 sitios de acción de herbicidas conocidos y a 164 herbicidas diferentes. Se han reportado malezas resistentes a herbicidas en 94 cultivos en 71 países (Heap 2021b).

#### **Herbicidas con Mayores Reportes de Resistencia**

Según Heap (2006), los grupos de herbicidas que han presentado la mayor incidencia de casos de resistencia son los inhibidores de la ACCasa que afectan la síntesis de lípidos inhibiendo la enzima carboxilasa del acetyl coenzima A, las triazinas que inhiben la fotosíntesis y los inhibidores de la ALS que afectan la síntesis de proteínas, aminoácidos de cadena ramificada y cambiando su conformación y luego inhibiendo la acción enzimática de la acetolactato sintetasa (Figura 4). Destaca también el reciente pero incesante incremento de las resistencias a los herbicidas del grupo de las glicinas, glifosato en concreto (Powles y Preston 2006).

**Figura 4**

*Principales Grupos de Herbicidas Resistentes.*



*Nota.* Tomada de Heap (2021b)

Según el gráfico anterior, podemos darnos cuenta de que los casos de resistencia se empezaron a reportar pocos años después de la aparición de los primeros herbicidas. Según Powles y

Preston (2006), existe un incesante incremento de las resistencias a los herbicidas del grupo de las glicinas, como lo es el glifosato.

Los herbicidas como “sulfonilureas, imidazolinones y graminicidas ejercen una gran presión de selección y pueden crear problemas de resistencia en períodos de 4 a 6 años de aplicación repetida” (Papa y Tuesca 2014).

La evolución de las malezas a resistentes no es un fenómeno que se da solo por hacer repetidas aplicaciones de un determinado herbicida, sino que también implica que se utilice sobre-dosis o sub-dosis; en ambos casos se da la condición.

### **Tipos de Resistencia**

La evolución de un organismo a resistente depende del mecanismo de acción que le confiere la resistencia. La resistencia cruzada se define como aquella por la que un individuo es resistente a dos o más herbicidas debido a un sólo mecanismo de resistencia; la resistencia cruzada negativa se interpreta como aquella especie resistente a cierta molécula que experimenta un aumento en la sensibilidad a otras moléculas con diferente modo de acción (De Prado et al. 1992).

El empleo de mezclas o las aplicaciones secuenciadas con herbicidas de distinto modo de acción es una forma efectiva de retardar la evolución de resistencia, pues los mutantes resistentes a un herbicida serían controlados por el otro y viceversa. Claro está que el uso recurrente de una misma mezcla podría seleccionar biotipos que hayan acumulado mecanismos de resistencia a ambos herbicidas categorizada como resistencia múltiple (Fischer 2013).

Según Ormeño N (2001), un ecotipo de maleza con resistencia simple es aquel que desarrolla mecanismos de resistencia a una molécula de herbicida que tiene un solo modo de acción; también afirma que los dos tipos de resistencia que se encuentran con más frecuencia en el campo son la cruzada y la simple.

## Mecanismos de Resistencia a Herbicidas

Los mecanismos de resistencia son aquellos procesos que la planta utiliza para anular la fitotoxicidad del herbicida. Según Taberner P et al. (2007), hay dos tipos de mecanismos para la que confieren resistencia a las malezas, el primero es una alteración en el sitio de acción, otro es debido a un cambio en cualquiera de los procesos que intervienen en la acción del herbicida y se conoce como resistencia de tipo metabólico. También existe la resistencia por secuestro del herbicida o reducción en la absorción.

Los estudios de Singh et al. (1997), indicaron que para la maleza *Phalaris minor*, una mutación en el lugar-objetivo no está implicada en el mecanismo de resistencia a isoproturon. La absorción de isoproturon y su traslocación no difieren entre los biotipos susceptibles y resistentes (Yaduraju y Bhowmik 2005); pero la resistencia parece ser conferida por una capacidad fortalecida de las plantas resistentes para metabolizar el herbicida como resultado de un incremento de la actividad de las enzimas de monooxygenasa (Singh et al. 1998). Otro ejemplo es la de la maleza *Abutilon theophrasti*, cuya resistencia a la atrazina también se debe a un metabolismo acelerado del herbicida en la planta (Plaisance y Gronwald 1999).

Kaundun et al. (2011), identificaron una nueva mutación (Pro106-Leu) en un biotipo de *Lolium rigidum* C de Sudáfrica. El desarrollo de la resistencia a glifosato en *Echinochloa colona* L en California involucra también mutaciones que causan sustitución de Pro106 por serina o por treonina (Alarcón Reverte et al. 2011). La resistencia conferida por la mutación en Pro106 de la EPSPS se hereda como un gene nuclear con dominancia incompleta (Fischer 2013).

Existen “complejas resistencias multifactoriales que probablemente sean expresión de una sobrerregulación de mecanismos de tolerancia a estreses resultan sumamente complicadas de manejar pues involucran múltiples herbicidas, incluso herbicidas a los cuales las plantas nunca han sido expuestas” (Fischer 2013). Un dramático ejemplo de resistencia multifactorial fuera del sitio activo es la de *Echinochloa phyllopogon* L en California que ha evolucionado resistencia a

tiocarbamatos, diversos herbicidas inhibidores de la ALS y la ACCasa, así como a clomazone y a paraquat (Fischer et al. 2000; Osuna et al. 2002; Fischer et al. 2004; Yasuor et al. 2008).

### **Impacto Económico de las Malezas Resistentes**

Un campo agrícola en el que no se pueden controlar las malezas porque son resistentes, causa pérdidas económicas no solo por la competencia que tiene con el cultivo, sino que también puede liberar sustancias químicas que pueden inhibir el crecimiento del cultivo, esto repercute en los rendimientos y en la calidad de la producción.

Se estima que el costo total de control de malezas resistentes en la Argentina es de 1.300 millones de dólares, el cual a los niveles actuales de producción y con retenciones del 35% sería viable controlar las mismas una vez que el porcentaje de infestación de malezas sea del 20% (Palau et al. 2018). Las malezas resistentes entonces son una realidad incipiente en la Argentina, mientras que en los EE.UU. y Australia la problemática es aún más grave (Palau et al. 2018).

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 (Valverde et al. 2000). 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 (Valverde et al. 2000).

### **Casos más Relevantes de Resistencia en Latinoamérica**

En América central existen pocos casos de resistencia reportados, de estos que se han presentado existe una especie que presenta una evolución a resistente muy particular; es el caso de la maleza *Echinochloa colona* L, principal maleza gramínea en los cultivos de arroz de los trópicos (Cuadro 2).

El propanil es un herbicida post-emergente selectivo al arroz y de amplio espectro de acción, contra las principales malezas que afectan el cultivo. Actúa rápidamente por contacto, obligando a que las malezas deban estar emergidas en el momento de la aplicación. Las aplicaciones deben realizarse en las primeras fases de desarrollo de las malezas, que es cuando las malezas tienen de dos a tres hojas. Controla gramíneas, hoja ancha y ciperáceas (ADAMA 2016). El modo de acción del propanil es inhibiendo el fotosistema II, al actuar el herbicida se presentan manchas cloróticas y luego se vuelven necróticas.

## Cuadro 2

### Casos de Resistencia de la Maleza *Echinochloa colona* L.

Referencia	Especie	País	Sitio de acción	Herbicida	Cultivo
(Fischer et al. 1993)	<i>E. colona</i> L	Colombia	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz
(Garro et al. 1991)	<i>E. colona</i> L	Costa Rica	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz
(Garita et al. 1995)	<i>E. colona</i> L	Costa Rica	Inhibición de la ALS, Inhibición del acetil CoA carboxilasa,	Azimsulfuron Fenoxaprop-ethyl	Arroz
(Garita et al. 1995)	<i>E. colona</i> L	El Salvador	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz
(Garita et al. 1995)	<i>E. colona</i> L	Guatemala	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz
(Garita et al. 1995)	<i>E. colona</i> L	Honduras	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz
(Garita et al. 1995)	<i>E. colona</i> L	Panamá	Inhibidores de PSII - Serina	Propanil	Arroz

Garro et al. (1991), reportó el primer caso de resistencia de *Echinochloa colona* L a propanil, en Costa Rica; donde sometió siete poblaciones de esta maleza proveniente de diferentes lotes de producción de arroz; de las cuales seis presentaron una RC<sub>50</sub> (dosis necesaria para reducir el crecimiento al 50% de la población), esto sobre la población testigo la cual no había recibido antes una aplicación de propanil. Dos poblaciones a las que se les había aplicado propanil 15 años dos veces al año, y otra que se le aplicó el mismo tiempo, pero solo una aplicación al año; ambas demostraron ser ocho veces más resistente a propanil que la población testigo. Luego Fischer et al. (1993), reportó resistencia de la misma maleza al mismo herbicida, pero en Colombia.

Garita et al. (1995), reportó resistencia de *E. colona* a propanil en varios países de Centroamérica. En este estudio tomó muestras de zonas arroceras en América central para determinar la resistencia (Cuadro 3).

### Cuadro 3

*Resultados de Resistencia a Propanil en Centroamérica Presentados por (Garita et al. 1995).*

País	Número de muestras	Porcentaje de muestras resistentes a propanil
Costa Rica	22	90
El Salvador	23	18
Guatemala	6	La mayoría susceptibles
Nicaragua	24	61
Panamá	15	50

Garita et al. (1995), en el cuadro anterior se puede observar que hubo poblaciones que demostraron ser hasta 70 veces más resistentes que la población testigo, pero algunas prácticas de manejo de malezas en fincas específicas aparentemente han retrasado la evolución de resistencia aún después de muchos años de monocultivo de arroz.

Otro dato interesante es que las poblaciones de *E. colona* L puede que evolucionen resistencia a otros herbicidas alternativos en arroz; esto lo confirma Garita et al. (1995), quién demuestra la resistencia de esta maleza a fenoxaprop-etilo en Costa Rica.

Según Leah et al. (1994), la resistencia *E. colona* se origina porque algunos individuos presentan de forma natural un elevado nivel y expresión de la enzima aril-acilmidasa como ocurre en el arroz, así se desdobla la molécula del propanil y la planta no sufre daño. Ortiz y López (2014), reportó la resistencia múltiples de *E. colona* a tres diferentes sitios de acción.

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) y (Garita et al. 1995).

### Casos de Resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. a Glifosato

La evolución a resistente de *Parthenium hysterophorus* a glifosato presenta un particular comportamiento ya que se repite en los cultivos de cítricos (Cuadro 4).

#### Cuadro 4

##### *Panorama de Parthenium hysterophorus Resistente a Glifosato.*

Autor	Especie	País	Herbicida	Cultivo
(Rosario et al. 2009)	<i>P. hysterophorus</i> L	Colombia	Glifosato	Cítricos
(Jiménez et al. 2014)	<i>P. hysterophorus</i> L	República Dominicana	Glifosato	Cítricos
(Palma Bautista et al. 2018)	<i>P. hysterophorus</i> L	México	Glifosato	Cítricos

Se comprobó la resistencia a glifosato en Colombia y México en 2009 y 2008 respectivamente (Heap 2021b). Jiménez et al. (2014), determinaron el primer caso de resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. en República Dominicana en cítricos, también evaluaron en el mismo estudio la maleza *Phaseolus lathyroides* L, la cual presentó cierto nivel de resistencia; pero descartaron que la resistencia se debía a la presión de selección impuesta por glifosato, ya que la población testigo de esta maleza también presentó un nivel parecido de resistencia, esto sugiere que esta maleza posee una tolerancia natural al herbicida.

Las repetidas aplicaciones de glifosato, “sumadas la poca labranza del suelo, carencia de rotación de cultivos y de métodos de control de malezas, resultan en una intensa presión, la cual puede acelerar la evolución de malezas resistentes al herbicida” (Dinelli et al. 2008).

El glifosato se ha usado repetidamente en áreas de cultivos perennes y campos en barbecho en las islas del Caribe durante muchos años para manejar *P. hysterophorus* L. y otras malezas problemáticas (Bracamonte 2018). Según Sammons y Gaines (2014), los países Latinoamericanos han utilizado este herbicida alrededor de 40 años, ya que es considerado el más usado para el control de malas hierbas, lo que pone las poblaciones de malezas bajo una constante presión de selección.

Anteriormente se pensaba que la evolución de malezas resistentes a glifosato sería muy lenta y que los niveles de resistencia serían muy bajos (Bradshaw et al. 1997). No obstante, para el año 2015, se había reportado con malezas resistentes grandes extensiones de terreno sembradas con

granos básicos y algodón en países como EU, Brasil y Argentina. En Costa Rica se reportan plantas resistentes a glifosato en campos de pejibaye para palmito y banano después de 8 años de utilizarlo como método principal o único de control de malezas, no así en cultivos como cítricos o palma africana, donde además del glifosato se utilizan otros herbicidas y métodos mecánicos, físicos y culturales para manejar las malezas (Ramírez-Muñoz et al. 2017).

Actualmente México es el segundo mayor productor y principal exportador de Lima persa (*Citrus latifolia* Tan.)(USDA 2020). Por lo tanto, no es de extrañar que se halla reportado resistencia en 2018, ya que para poder convertirse en un gran exportador necesita tener un eficiente control químico, al hacerlo varias veces al año lo que indica una mayor presión de selección.

La preocupación por la evolución de *Parthenium hysterophorus*, nos lleva a un panorama diferente, en cultivos de maíz transgénico. El desarrollo de cultivos tolerantes a herbicidas como glifosato supone una ventaja, ya que se pueden hacer constantes repeticiones del herbicida a largo del ciclo del cultivo; un efecto adverso de esto es el aumento de la presión de selección, factor que acelera la evolución de la resistencia. Según Secretaría de Agricultura y Ganadería (1998), Honduras aprueba el uso de Organismos genéticamente modificados (OGM), especialmente plantas transgénicas, mediante el Reglamento de Bioseguridad emitida por la Secretaria de Agricultura y Ganadería en el Acuerdo 1570-98, especialmente el uso de maíz OGM el 16 de septiembre de 1998 . En Latinoamérica existen siete países que utilizan OGM, pero de la región centroamericana solo Honduras lo utiliza. Los departamentos Honduras con mayor área sembrada de maíz OGM son: Olancho, Comayagua, El Paraíso y Francisco Morazán. James (2017), reporta que honduras presenta ingresos agrícolas con US\$11.5 millones del año 2002 al 2016 y US\$1.1 millones en el año 2016 beneficiando a 7000 agricultores y sus familias, todo esto debido al uso de OGM.

Nina L. y Toc M. (2020), desarrollaron una investigación para determinar la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras, este estudio consistió en evaluar semillas de la maleza, provenientes de un lote de producción de maíz OGM y vegetales de Comayagua, el cual fue

sometido durante varios años a aplicaciones constantes de Glifosato (biotipo con posible resistencia). Para el tratamiento control recolectaron semillas del campus de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano que no tenía reportes de aplicación del glifosato (biotipo susceptible), después de realizados los experimento se confirmó el primer caso de resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras, ya que el biotipo de Comayagua obtuvo solamente un 25% de fitotoxicidad, mientras que el biotipo de Zamorano presento un 100% de fitotoxicidad.

### **Manejo de la Resistencia de *Echinochloa colona* L en Cultivo de Arroz**

Mitigar la evolución de la resistencia a herbicidas depende de reducir la selección mediante la diversificación de las técnicas de control de malezas, minimizar la propagación de genes y genotipos de resistencia a través de la dispersión de polen o propágulos y eliminar las adiciones de semillas de malezas al banco de semillas del suelo (Norsworthy et al. 2012).

#### **Manejo Químico**

Según la literatura revisada, muchos autores llegan a la conclusión de que la resistencia en mejor prevenirla, reduciendo la presión de selección podemos lograr retrasar la evolución, una buena estrategia para esto es mezclar herbicidas que se complementen para el control de las malezas, tal es el caso de mezclar propanil con 2,4 D o triclopir que mejoran el control de hoja ancha. Sin embargo, lo que se busca es mezclar herbicidas con diferentes mecanismos de acción o vías de degradación. “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) y (Garita et al. 1995). En una investigación hecha en México, “se determinó que tanto cihalofop-butilo como bispiribac-sodio, solos y en mezcla con clomazone, son mejores alternativas para el control de *E. colona*” (Esqueda, E. y Tosquy, V. 2013). El enfoque de control de las malezas debe cambiar a un enfoque de disciplinas múltiples no solo basarse en conceptos como el umbral de daño económico.

### **Retrasar la Siembra**

Usar diferentes tipos de herbicidas no es una opción, porque no contamos con una extensa variedad de tipos de acción de herbicidas, ni se están creando nuevos, esto se da porque para el desarrollo de nuevos herbicidas los costos son muy altos y demora demasiado tiempo. Por lo tanto, lo mejor que podemos hacer es utilizar un efectivo manejo integrado de malezas. En Colombia se controla malezas retrasando la fecha de siembra del arroz y estimulando el crecimiento de malezas y luego aplican glifosato. Esta misma técnica la hacen en Brasil, pero en sistemas de arroz en labranza mínima y cero. Como el suelo no se voltea, se obtiene un excelente control antes de la siembra del cultivo (Foloni 1995). También “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*” (Valverde et al. 2000).

La siembra retrasada que permite que las malezas emerjan y sean eliminadas con los herbicidas es una práctica muy usada en algunos países de América Latina para el control del arroz maleza (*Oryza spp.*) y el manejo de *Echinochloa colona L.*, especialmente en el arroz de secano (Fischer et al. 1996).

### **Rotación de Cultivo**

Implementar sistemas de rotación de cultivos, representa una alternativa viable, ya que con esto se puede variar de cultivo, lo que no ayuda a usar herbicidas de distinto modo de acción y otras prácticas culturales. Pero según Fischer et al. (1996), la implementación de esta alternativa no es muy frecuente en América central.

### **Cultivares más Competitivos**

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 L.* que emergen en forma tardía (Fischer y Ramirez 1993). Fischer et al. (1996), determinaron que el

cultivar CICA 8 produjo más grano y fue mejor en su capacidad de suprimir *E. colona L* 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.

### **Alelopatía**

El uso de extractos acuosos metanólicos de hojas de neem *Azadirachta indica*. A. Juss, provocaron fitotoxicidad y poseen una capacidad inhibidora del crecimiento de las arvenses nocivas del cultivo de arroz incluyendo *E. colona* (Salam y Noguchi 2010).

### **Manejo de la Resistencia de *P. hysterophorus* en Cítricos**

Al ser cultivos perenes, los cítricos no dejan paso a muchas estrategias y mucho menos a la rotación de cultivo, por lo tanto, las mejores estrategias son:

### **Coberturas Vegetales**

Entre las principales especies está *Arachis pintoi* K, especie leguminosa perenne es utilizada en plantaciones de cítricos, ya que la principal “ventaja de estas leguminosas es su capacidad para crecer en condiciones de sombra” (Fisher y Cruz 1995). Pérez-Jiménez et al. (1996) en Veracruz, México, encontraron en plantaciones de naranja variedad Valencia con cobertura de *A. pintoi* K una mayor producción de frutos, una cobertura más rápida del suelo y una menor competencia de malezas con el cultivo. Investigaciones hechas por Rincón y Orduz (2004), dieron como resultado que debido al rápido establecimiento de los ecotipos de *A. pinto* K, la invasión de malezas en el cultivo de cítricos fue menor lo que se tradujo en un menor costo por control de malezas.

### **Alelopatía**

Diversas especies de *Eucalyptus* han mostrado fitotoxicidad frente a arvenses, lo que les confiere un gran potencial para su manejo y control, entre ellos *Eucalyptus citriodora* (Singh et al. 2005). Kohli et al. (1998), utilizaron *Eucalyptus globulus* y *E. Citriadora*, en los cuales los aceites

esenciales de diversas especies de *Eucalyptus* han mostrado fitotoxicidad frente a arvenses y han causado efectos nocivos sobre poblaciones de *Parthenium hysterophorus*. En esa investigación encontraron que se inhibió la germinación de la maleza, también le disminuyó la cantidad de clorofila y la respiración celular. Los biotipos de *Parthenium hysterophorus* sufrieron marchitez completa a los 15 días de aplicación de los aceites. “El aceite de *E. citriodora* fue más eficaz para dañar la maleza en comparación con el aceite de *E. globulus*. Por lo tanto, se deben hacer esfuerzos para diseñar una estrategia para controlar la maleza a través de aceites de eucalipto” (Kohli et al. 1998).

### **Manejo de la Resistencia de *P. hysterophorus* L en Maíz**

En el cultivo de maíz se pueden utilizar diversas estrategias para manejar poblaciones resistentes entre las más importantes están:

#### **Manejo Químico**

Para este método de manejo se pueden hacer mezclas de diferentes herbicidas, para lograr el control deseado tanto en gramíneas como en hoja ancha, ya que la resistencia es a glifosato y este controla ambas lo que tenemos es que utilizar herbicidas de diferente modo de acción a este. Investigaciones hechas por Garcia y Mejia (2005), encontró que la utilización tratamientos post-emergentes al maíz, mezclando nicosulfuron + atrazina o nicosulfuron + bentazon son efectivos para el control de malezas gramíneas y de hoja ancha respectivamente.

#### **Preparación del Suelo**

La labranza afecta la emergencia de las malezas cambiando la densidad de los bancos de semillas en el suelo; como sabemos que las semillas de *Parthenium hysterophorus* L. “no son capaces de germinar de estar ubicadas por debajo de los primeros 5 cm del suelo” (Muñiz, Moreno 2017), esto indica que podemos utilizar sistemas de labranza convencional para reducir la población de la maleza. Las especies de malezas cuyas semillas pueden germinar sobre o cerca la superficie del suelo y que

finalmente se establecen, tienen el mayor potencial para proliferar bajo los sistemas de labranza de conservación (Buhler et al. 1997).

### **Cultivos de Cobertura**

Según Anderson et al. (1997), los cultivos de cobertura que se pueden utilizar en maíz son: *Canavalia ensiformis*, *Mucuna pruriens*, *Phaseolus vulgaris*, *Vigna unguiculata* en Salvador, Nicaragua y Honduras, ya que no solo son eficientes en el manejo de malezas por medio de la supresión, sino que también son utilizados con doble propósito como es el caso de *Phaseolus vulgaris*, que es utilizado en alimentación humana o el caso de *Mucuna pruriens* utilizada como forraje para mulas. Zanettini y Orden (2019), determinó que los cultivos de cobertura (*Triticum aestivum*) variedad Serpiente y Vicia (*Vicia villosa*) poseen un muy eficiente control sobre las malezas si se utilizan una densidades objetivo de 250 y 90 plantas/m<sup>2</sup> respectivamente.

### Conclusiones

Se encontraron pocos reportes de casos de resistencia de malezas a herbicidas en Latinoamérica, esto indica que existen pocas iniciativas de investigación por parte de las universidades agrícolas.

La evolución de resistencia de *Echinochloa colona* L. a propanil y de *Parthenium hysterophorus* a glifosato en los países de Centroamérica es preocupante, por lo tanto, el desarrollo de un plan para el manejo integrado de malezas para estas especies es imperativo.

Para el manejo de *Parthenium hysterophorus* L. en maíz se encontró que el método más conveniente es la eficiente labranza del suelo y el uso de cultivos de cobertura, mientras que para el control de esta maleza en cultivos de cítricos es el manejo mediante cobertura vegetal con *Arachis pintoi*.

El manejo de *Echinochloa colona* L. resistente a propanil se puede hacer mediante la utilización de mezclas de herbicidas, retrasar la siembra y uso de cultivares más competitivos.

### Recomendaciones

Hacer investigación de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas en los cultivos de mayor auge en América central.

Formar la creación de una red científica de universidades, empresas de agroquímicos y con la colaboración de la Asociación Latinoamericana de Malezas para la creación de la base de datos de resistencia en Latinoamérica.

Hacer gestiones para la publicación del caso de resistencia confirmado de resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras, en la plataforma [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)

Evaluar experimentalmente diferentes cultivos de cobertura para la supresión de malezas en plantaciones de maíz.

## Referencias

- Acuerdo No. 1570-98, FAO (1998 sep. 16).
- ADAMA. 2016. Propanil 480 ADAMA. Colombia: Departamento técnico de ADAMA ANDINA; [consultado 1/07/21]. [https://www.adama.com/documents/392363/402407/FT\\_PROPANIL\\_480\\_ADAMA](https://www.adama.com/documents/392363/402407/FT_PROPANIL_480_ADAMA).
- Alarcón Reverte R, García A, Jasieniuk M, Lanini T, Hanson BD, Fischer AJ. 2011. Meeting of the Weed Science Society of America. Portland: University of California; [consultado 5/06/21]. <http://wssaabstracts.com/public/4/abstract-114.html>.
- Anderson S, Ferráes N, Gundel S, Keane, B. y Pund, B. 1997. Taller Regional Latino-Americano: cultivos de cobertura: componentes de sistemas integrados: 3 al 6 de febrero de 1997. México: Universidad Autónoma de Yucatán; [consultado 3/07/21]. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?isisscript=uady.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005597>.
- Bracamonte ER. 2018. Resistencia de Glifosato en el género *Chloris* y *Parthenium* en Latinoamérica: Mecanismos de resistencia y control alternativo [Tesis]. Córdoba, España: Universidad de Córdoba; [consultado el 29 de jun. de 2021]. <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/17587>.
- Bradshaw LD, Padgett SR, Kimball SL, Wells BH. 1997. Perspectives on Glyphosate Resistance. *Weed Technology*; [consultado 1/07/21]. 11(1):189–198. en. doi:10.1017/s0890037x00041567.
- Buhler DD, Hartzler RG, Forcella F. 1997. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Science*; [consultado 5/07/21]. 45(3):329–336. en. doi:10.1017/s0043174500092948.
- De La Vega M. 2013. Resistencia de malezas a herbicidas. *Revista Especial Maleza*; [consultado 21/06/21]. [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/REMSD12\\_005.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/REMSD12_005.pdf).

- De Prado R de, Sanchez M, Jorriin J, Dominguez C. 1992. Negative cross-resistance to bentazone and pyridate in atrazine-resistant *Amaranthus cruentus* and *Amaranthus hybridus* biotypes. *Pesticide Science*; [consultado 7/07/21]. 35(2):131–136. en. doi:10.1002/ps.2780350206.
- Diez, De Ulzurrun. 2013. Manejo de malezas problema: Modos de acción herbicidas. Universidad Nacional de Mar del Plata; [consultado 30/06/21]. [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/AAP167289/AAP-Manual\\_Rem\\_Herbicidas.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/AAP167289/AAP-Manual_Rem_Herbicidas.pdf).
- Dinelli G, Marotti I, Bonetti A, Catizone P, Urbano M, Barnes J. 2008. Physiological and molecular bases of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* biotypes from Spain. *European Weed Research Society*; [consultado 1/07/21]. (48):257–265. <http://www.ask-force.org/web/HerbizideTol/Dinelli-Pysiological-Conyza-2008.pdf>.
- Esqueda, E. VA, Tosquy, V. OH. 2013. Control químico de *Echinochloa colona* (L.) Link resistente al propanil y *Cyperus iria* L. en arroz (*Oryza sativa* L.) de temporal en Tres Valles, Veracruz. *Universidad y Ciencia*; [consultado 1/7/21]. 29(2). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-29792013000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-29792013000200002).
- Fischer A, Ramírez HV, Lozano J. 1996. Suppression of Junglerice [*Echinochloa colona* (L.) Link] by Irrigated Rice Cultivars in Latin America. *Agronomy Journal*; [consultado 30/6/21]. 89(3):516–521. doi:10.2134/agronj1997.00021962008900030023x.
- Fischer AJ. 2013. Resistencia a herbicidas: mecanismos y mitigación. SpringerLink; [consultado 29/06/21]. 13–19. [https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/REMSD12\\_002.pdf](https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/REMSD12_002.pdf).
- Fischer AJ, Bayer DE, Carriere MD, Ateh CM, Yim K-O. 2000. Mechanisms of Resistance to Bispyribac-Sodium in an *Echinochloa phyllopogon* Accession. *Pesticide Biochemistry and Physiology*; [consultado 10/7/21]. 68(3):156–165. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048357500925112>. doi:10.1006/pest.2000.2511.

- Fischer AJ, Granados E, Trujillo D. 1993. Propanil Resistance in Populations of Junglerice (*Echinochloa colona*) in Colombian Rice Fields. *Weed Science*; [consultado 30/06/21]. 41(2):201–206. doi:10.1017/S0043174500076062.
- Fischer AJ, Ramirez A. 1993. Mixed-weed infestations: Prediction of crop losses for economic weed management in rice. *International Journal of Pest Management*; [consultado 30/06/21]. 39(3):354–357. doi:10.1080/09670879309371820.
- Fischer JA, Cheetham D, Vidotto F, Pradoo RD. 2004. Enhanced effect of thiobencarb on bispyribac-sodium control of *Echinochloa phyllopogon* (Stapf) Koss. in California rice (*Oryza sativa* L.). *Weed biology and management*; [consultado 10/7/21]. 4(4):206–212. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10020520291/>.
- Fisher MJ, Cruz PA. 1995. Algunos aspectos de la ecofisiología de *Arachis pintoii*. Cali: [sin editorial] (Publicación CIAT; vol. 245). <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IisScript=catalco.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=014709>.
- Foloni LL. 1995. Efectos coadyuvantes sobre el sulfosato y el glifosato para el control del arroz rojo en el arroz. Consejo Británico de Protección de Cultivos. Farnham, Reino Unido: BCPC Registered Office. XXIII, S. 421 - 780 (vol. 2). ISBN: 0-948404-91-4; [consultado 30/06/21].
- Fuentes CL, Osorio A, Granados JC, Piedrahíta W. 2010. Malezas de los arrozales de América Latina. En: Degiovanni B. V, Martínez R. CP, Motta FO, editores. *Producción Eco-Eficiente del Arroz en America Latina*. 1ª ed. Colombia: CIAT. p. 365–390 ; [consultado 29/06/21]. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos\\_Ciat/2010\\_Degiovanni-Produccion\\_eco-eficiente\\_del\\_arroz.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf).
- García PM, Mejía J. 2005. Control químico de malezas en maíz en un sistema de siembra directa. *Agronomía Tropical*. 5(3). [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2005000300003](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2005000300003).
- Garita I, Valverde BE, Vargas E, Chacén LA, De La Cruz R, Riches CR, Caseley JC. 1995. Occurrence of propanil resistance in *Echinochloa Colona* in Central America. Brighton, England: [sin editorial] ;

[consultado 30/06/21]. [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/9430/ocurrence\\_of\\_propanil\\_resistance.pdf?sequence=1&isallowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/9430/ocurrence_of_propanil_resistance.pdf?sequence=1&isallowed=y).

Garro JE, De La Cruz R, Shannon PJ. 1991. Propanil resistance in *Echinochloa colona* populations with different herbicide use histories. Brighton Crop Protection Conference - Weeds (Brighton, England, 18-21 November 1991); [consultado 30/06/21]. 1079–1083. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10024287378/>.

Heap I. 2021a. Chronological Increase in Resistant Weeds Globally. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2021; consultado el 30 de jun. de 2021]. <http://www.weedscience.org/Pages/ChronologicalIncrease.aspx>.

Heap I. 2021b. Estudio internacional de malezas resistentes a herbicidas. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 30 de jun. de 2021; consultado el 30 de jun. de 2021]. <http://www.weedscience.org/Pages/FAQ.aspx>.

Herrera J, Beltran K, Garzón J, González L, Herrera L, Torres A. 2016. Toxicidad aguda de una formulación comercial de glifosato sobre *Poecilla reticulata* (pisces: poecilidae) en condiciones de laboratorio. Elementos; [consultado 30/06/21]. (6):91–98. <https://journal.poligran.edu.co/index.php/elementos/article/viewFile/837/647>.

[INTAGRI] Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. 2017. Los Riesgos de una Mala Aplicación de Herbicidas. [sin lugar]: Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura; [actualizado el 30 de jun. de 2021; consultado el 30 de jun. de 2021]. Fitosanidad. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/los-riesgos-de-una-mala-aplicacion-de-herbicidas>.

James C. 2017. Informe ISAAA 53-2017: Resumen ejecutivo: La adopción de cultivos biotecnológicos aumenta a medida que los beneficios económicos se acumulan en 22 años. ISAAA; [consultado 12/7/21]. (53). <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/executivesummary/default.asp>.

- Jiménez F, Fernández P, Rosario J, Gonzales F, De Prado R. 2014. Primer caso de resistencia a glifosato en la República Dominicana. *Revista Agropecuaria y Forestal*; [consultado 29/06/21]. 3(1):17–22. [http://www.sodiaf.org.do/revista/sodiaf/vol3\\_n1\\_2014/articulo/APF\\_V03\\_N01\\_2014.pdf](http://www.sodiaf.org.do/revista/sodiaf/vol3_n1_2014/articulo/APF_V03_N01_2014.pdf).
- Kaundun SS, Dale RP, Zelaya IA, Dinelli G, Marotti I, McIndoe E, Cairns A. 2011. A novel P106L mutation in EPSPS and an unknown mechanism(s) act additively to confer resistance to glyphosate in a South African *Lolium rigidum* population. *J Agric Food Chem*; [consultado 10/7/21]. 59(7):3227–3233. doi:10.1021/jf104934j.
- Kohli RK, Batish DR, Singh HP. 1998. Eucalypt oils for the control of *Parthenium hysterophorus* L.). *Crop Protection*; [consultado 2/7/21]. 17(2):119–122. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219497000951>. doi:10.1016/S0261-2194(97)00095-1.
- Leah JM, Caseley JC, Riches CR, Valverde B. 1994. Association between elevated activity of aryl acylamidase and propanil resistance in Jungle-rice, *Echinochloa colona*. *Pesticide Science*; [consultado 30/06/21]. 42(4):281–289. doi:10.1002/ps.2780420405.
- Muñiz, Moreno L. 2017. Manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales manejo de herbicidas sintéticos y extractos vegetales para controlar malezas en cultivos básicos: maíz, frijol y sorgo [Tesis]. Nuevo León, Mexico: Universidad Autónoma de Nuevo León; [consultado 5/07/21]. <http://eprints.uanl.mx/16024/1/1080290871.pdf>.
- Nina L. RR, Toc M. DG. 2020. Determinación de la resistencia de *Parthenium hysterophorus* L. al glifosato en Honduras [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado 30/06/21]. <http://hdl.handle.net/11036/6826>.
- Norsworthy J, Ward S, Shaw D, Llewellyn R, Nichols R, Webster T, Bradley K, Frisvold G, Powles S, Burgos NR. 2012. Reducción de los riesgos de resistencia a herbicidas: mejores prácticas y recomendaciones de manejo. *Weed Science*; [consultado 3/07/21]. 60(1):31–62. <https://www.cambridge.org/core/journals/weed-science/article/reducing-the-risks-of-herbicide->

resistance-best-management-practices-and-recommendations/  
2E46792A8800CB7B292EB1AAAE3ACE9.

Ormeño N J. 2001. Malezas Resistentes a Herbicidas. Tierra Adentro; [consultado el 30 de jun. de 2021]. (36). <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/5792/NR26126.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Ortiz A, López A. 2014. Resistencia de *Echinochloa colona* (L.) Link al herbicida cyhalofop-butilo en arrozales de Venezuela [Tesis]. Venezuela: Universidad Central de Venezuela; [consultado 7/07/21]. [https://www.researchgate.net/profile/aida-ortiz/publication/264046777\\_resistencia\\_de\\_echinochloa\\_colona\\_l\\_link\\_al\\_herbicida\\_cyhalofop-butilo\\_en\\_arrozales\\_de\\_venezuela/links/0deec53cbd40306159000000/resistencia-de-echinochloa-colona-l-link-al-herbicida-cyhalofop-butilo-en-arrozales-de-venezuela.pdf](https://www.researchgate.net/profile/aida-ortiz/publication/264046777_resistencia_de_echinochloa_colona_l_link_al_herbicida_cyhalofop-butilo_en_arrozales_de_venezuela/links/0deec53cbd40306159000000/resistencia-de-echinochloa-colona-l-link-al-herbicida-cyhalofop-butilo-en-arrozales-de-venezuela.pdf).

Osuna MD, Vidotto F, Fischer AJ, Bayer DE, Prado R de, Ferrero A. 2002. Cross-resistance to bispyribac-sodium and bensulfuron-methyl in *Echinochloa phyllopogon* and *Cyperus difformis*. Pesticide Biochemistry and Physiology; [consultado 10/7/21]. 73(1):9–17. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004835750200010x>. doi:10.1016/S0048-3575(02)00010-X.

Palau H, Senesi S, Moggi L, Ordoñez I. 2018. Impacto económico macro y micro de malezas resistentes en el agro argentino. Argentina: [sin editorial] ; [consultado 30/06/21]. [https://www.adama.com/documents/345258/345805/libro-digital-adama-fauba-150422\\_tcm41-61105.pdf](https://www.adama.com/documents/345258/345805/libro-digital-adama-fauba-150422_tcm41-61105.pdf).

Palma Bautista C, Domínguez Valenzuela JA, Fernández Moreno PT, Cruz Hipólito H. 2018. *Parthenium hysterophorus*: Una nueva maleza resistente al glifosato en México. ResearchGate; [consultado 29/06/21]. [https://www.researchgate.net/publication/328355555\\_Parthenium\\_hysterophorus\\_A\\_New\\_Glyphosate-Resistant\\_Weed\\_in\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/328355555_Parthenium_hysterophorus_A_New_Glyphosate-Resistant_Weed_in_Mexico).

Papa JC, Tuesca D. 2014. El doble golpe como táctica para controlar malezas “difíciles”. Oliveros, Santa fé: Aapresid (Siembra directa); [consultado 30/06/21]. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?isisscript=inta2.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=075171>.

- Pérez-Jiménez SC, Castillo E, Escalona MA, Valles B, Jarillo J. 1996. Evaluación de *Arachis pintoi* CIAT 17434 como cultivo de cobertura en una plantación de naranja var. Valencia. En: Argel PJ, Ramirez P. A, editores. Experiencias Regionales con *Arachis pintoi* y Planes Futuros de Investigación y Promoción de la Especie en México, Centroamérica y el Caribe. Xalapa, Veracruz, México: CIAT. p. 188–193 ; [consultado el 1 de jul. de 2021]. [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos\\_ciat/Digital/SB205.A7E9C.3\\_Experiencias\\_regionales\\_con\\_Arachis\\_pintoi\\_y\\_planes\\_futuros\\_de\\_investigaci%C3%B3n.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/Digital/SB205.A7E9C.3_Experiencias_regionales_con_Arachis_pintoi_y_planes_futuros_de_investigaci%C3%B3n.pdf).
- Plaisance KL, Gronwald JW. 1999. Enhanced Catalytic Constant for GlutathioneS-Transferase (Atrazine) Activity in an Atrazine-Resistant *Abutilon theophrasti* Biotype. Pesticide Biochemistry and Physiology; [consultado 10/07/21]. 63(1):34–49. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048357598923872>. doi:10.1006/pest.1998.2387.
- Powles B, Preston C. 2006. Resistencia evolucionada al glifosato en plantas: base bioquímica y genética de la resistencia. Allen Press; [consultado 30/06/21]. 20(2):282–289. <http://www.jstor.org/stable/4495678>.
- Ramírez-Muñoz F, Bravo-Durán V, Herrera-Ledezma G. 2017. Uso del herbicida glifosato en Costa Rica en el periodo 2007 a 2015. Uniciencia; [consultado 1/07/21]. 31(1):59. doi:10.15359/ru.31-1.7.
- Rincón AC, Orduz JO. 2004. Usos alternativos de *Arachis pintoi*: Ecotipos promisorios como cobertura de suelos en el cultivo de cítricos. Pasturas Tropicales; [consultado 1/07/21]. 26(2):2–62. [https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/2004-vol26-rev1-2-3/Vol\\_26\\_rev2\\_04\\_Completa.pdf](https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Elements/DOCUMENTS/2004-vol26-rev1-2-3/Vol_26_rev2_04_Completa.pdf).
- Rosario J, Fuentes CL, De Prado RA. 2009. Resistencia de "Parthenium hysterophorus" al herbicida glifosato: un nuevo caso de resistencia a herbicidas en Colombia. Herbologia e biodiversidade numa agricultura sustentável: Lisboa, 10 a 13 de Novembro de 2009; [consultado 8/07/21]. 455–458. spa. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3218190>.

- Salam A, Noguchi H. 2010. Evaluation of allelopathic potential of neem (*Azadirachta indica*. A. Juss) against seed germination and seedling growth of different test plant species. International Journal of Sustainable Agriculture; [consultado 2/07/21]. 2(2):20–25. [https://www.researchgate.net/profile/md-abdus-salam-2/publication/323053578\\_evaluation\\_of\\_allelopathic\\_potential\\_of\\_neem\\_azadirachta\\_indica\\_a\\_juss\\_against\\_seed\\_germination\\_and\\_seedling\\_growth\\_of\\_different\\_test\\_plant\\_species/links/5feef518299bf140886126c0/evaluation-of-allelopathic-potential-of-neem-azadirachta-indica-a-juss-against-seed-germination-and-seedling-growth-of-different-test-plant-species.pdf](https://www.researchgate.net/profile/md-abdus-salam-2/publication/323053578_evaluation_of_allelopathic_potential_of_neem_azadirachta_indica_a_juss_against_seed_germination_and_seedling_growth_of_different_test_plant_species/links/5feef518299bf140886126c0/evaluation-of-allelopathic-potential-of-neem-azadirachta-indica-a-juss-against-seed-germination-and-seedling-growth-of-different-test-plant-species.pdf).
- Sammons RD, Gaines TA. 2014. Glyphosate resistance: state of knowledge. Pest Manag Sci; [consultado 29/06/21]. 70(9):1367–1377. eng. doi:10.1002/ps.3743.
- Singh HP, Batish DR, Setia N, Kohli RK. 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. Annals of Applied Biology; [consultado 2/07/21]. 146(1):89–94. en. doi:10.1111/j.1744-7348.2005.04018.x.
- Singh S, Kirkwood RC, Marshall G. 1997. Effects of isoproturon on photosynthesis in susceptible and resistant biotypes of *Phalaris minor* and wheat. Weed Res; [consultado 10/7/21]. 37(5):315–324. en. doi:10.1046/j.1365-3180.1997.d01-54.x.
- Singh S, Kirkwood RC, Marshall G. 1998. Effect of ABT on the activity and rate of degradation of isoproturon in susceptible and resistant biotypes of *Phalaris minor* and in wheat. Pestic. Sci; [consultado 10/7/21]. 53(2):123–132. en. doi:10.1002/(SICI)1096-9063(199806)53:2<123:AID-PS755>3.0.CO;2-J.
- Taberner P A, Ranzenberger A, Zaragoza Larios C. 2007. Manejo de poblaciones resistentes a herbicidas: 100 preguntas de resistencia. Roma: FAO. 78 p. ; [consultado el 30 de jun. de 2021]. <http://www.fao.org/3/a1422s/a1422s.pdf>.

- [USDA] United States Department of Agriculture. 2020. EU and UK Production, Supply and Distribution (PSD) Datasets and "Brexit". [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado 30/06/21]. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html>.
- Valverde BE, Riches CR, Caseley JC. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en América Central con *Echinochloa colona*. 1ª ed. San José, Costa Rica: San José C.R. ISBN: 9968-9951-1-8; [consultado 30/06/21]. [https://www.researchgate.net/profile/bernal-valverde/publication/32924635\\_prevencion\\_y\\_manejo\\_de\\_malezas\\_resistentes\\_a\\_herbicidas\\_en\\_arroz/links/00b4951e7e4f92681b000000/prevencion-y-manejo-de-malezas-resistentes-a-herbicidas-en-arroz.pdf](https://www.researchgate.net/profile/bernal-valverde/publication/32924635_prevencion_y_manejo_de_malezas_resistentes_a_herbicidas_en_arroz/links/00b4951e7e4f92681b000000/prevencion-y-manejo-de-malezas-resistentes-a-herbicidas-en-arroz.pdf).
- Villalba A. 2009. Resistencia a herbicidas: Glifosato. Ciencia, Docencia y Tecnología; [consultado 29/06/21]. 20(39):169–186. <https://www.redalyc.org/pdf/145/14512426010.pdf>.
- WSSA. 1998. Herbicide Resistance and Herbicide Tolerance Definitions | Weed Science Society of America. Weed Technology; [consultado el 30 de jun. de 2021]. 12(4):789. <https://wssa.net/wssa/weed/resistance/herbicide-resistance-and-herbicide-tolerance-definitions/>.
- Yaduraju NT, Bhowmik PC. 2005. Uptake, translocation and metabolism of <sup>14</sup>C isoproturon in wheat, susceptible and resistant biotypes of *Phalaris minor* and Wheat (*Triticum aestivum*). Pesticide Research Journal; [consultado 10/07/21]. 17(1):529–534. <http://indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:prj&volume=17&issue=1&article=020>.
- Yasuor H, TenBrook PL, Tjeerdema RS, Fischer AJ. 2008. Responses to clomazone and 5-ketoclomazone by *Echinochloa phyllopogon* resistant to multiple herbicides in Californian rice fields. Pest Manag Sci; [consultado 30/06/21]. 64(10):1031–1039. eng. doi:10.1002/ps.1604.
- Zanettini JL, Orden N. 2019. Cultivo de cobertura de trigo/vicia (*Triticum aestivum/Vicia villosa*) en el control del número de malezas. Argentina: AER 25 de Mayo, EEA Pergamino, INTA. AER 25 de Mayo, EEA Pergamino, INTA. spa; [consultado 5/07/21]. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/7140>.