



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ÁREA DE CONSOLIDACIÓN
SISTEMAS AGRÍCOLAS DE PRODUCCIÓN EXTENSIVOS

TRABAJO ACADÉMICO INTEGRADOR

**EVALUACIÓN Y CONFIRMACION DE RESISTENCIA
DE *Amaranthus palmeri* S. WATSON A GLIFOSATO
E INHIBIDORES DE ALS**

de Asteinza, Nicolás Francisco

Tutor: Ing. Agr. MSc Enzo Bracamonte. FCA-UNC

2017

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	5
INTRODUCCION	6
MATERIALES Y METODOS.....	9
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Características Bioecológicas, Causas Agronómicas de Dispersión y Resistencia de <i>Amaranthus Palmeri</i> S. Watson a Herbicidas en Córdoba y el País.	13
Descripción botánica de <i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson y diferencias con <i>Amaranthus hybridus</i> (ex <i>quitensis</i>)	13
Características Bioecológicas	15
Resistencia de <i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson a herbicidas	17
Causas agronómicas de su dispersión en Córdoba y Argentina.....	18
Evaluación del nivel de resistencia de un biotipo de <i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson a glifosato en la región sudoeste de Córdoba, Argentina.....	21
Evaluación del nivel de resistencia directa y cruzada a herbicidas inhibidores de ALS de un biotipo de <i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson de la región sudoeste de Córdoba, Argentina ..	26
CONCLUSIONES	29
Estrategias de Manejo Integral de <i>Amaranthus palmeri</i> en Córdoba.....	30
CONSIDERACIONES FINALES	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXO	38

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento al Ing. Agr. MSc Enzo Bracamonte por aportar sus conocimientos, por las correcciones realizadas, su paciencia, su tiempo y su dedicación sobre el presente trabajo.

Al Laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, por brindar el espacio físico donde se realizó el ensayo.

Al Laboratorio de Semillas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, por permitirnos el uso de la cámara de germinación de semillas.

A mis familiares y amigos, por el apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

RESUMEN

Amaranthus palmeri S. Watson es una maleza originaria del hemisferio norte, siendo detectada y valorada como una maleza sumamente agresiva durante la campaña 2011/2012 en el sudoeste de Córdoba. Esta especie posee la sospecha de poseer en su genoma resistencia a herbicidas con diferentes modos de acción, entre ellos, los inhibidores a EPSPS y ALS, ampliamente utilizados en las principales regiones agrícolas del mundo. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar y valorar la presencia de resistencia simple y cruzada a herbicidas inhibidores de EPSPS y ALS, respectivamente, de un biotipo de difícil control en Vicuña Mackenna, sudoeste de Córdoba. El ensayo se desarrolló en condiciones semicontroladas en el Área de Ecotoxicología, FCA, UNC durante el periodo 2016/2017. Las evaluaciones se realizaron mediante cálculo de la Dosis Letal Media (DL50) utilizando el modelo de ajuste Probit y la relación dosis-respuesta mediante el modelo log-logístico propuesto por Seefeldt *et al.* (1995) que propone el valor de referencia GR50 R: dosis de herbicidas requeridas para reducir 50% la biomasa de la maleza en relación al testigo sin tratamiento. El nivel de resistencia se calculó utilizando el Factor de Resistencia que es el cociente entre el GR50 del biotipo resistente (R) y el GR50 del biotipo sensible (S). Los herbicidas objeto de la investigación fueron glifosato, imazetapir + imazapir (NC: Interfield®) y clorimuron etil. De acuerdo a los resultados obtenidos y a las condiciones en que se desarrollaron los ensayos es posible concluir que el biotipo Mackenna presenta resistencia a glifosato con Factores de Resistencia entre 11 y 30, y de Mortalidad de 68, respectivamente. El biotipo Mackenna en estadios fenológico tardío (≥ 15 hojas) presenta aumentada la DL50 y GR50 del 90% y 7%, respectivamente, en relación a los valores del tratamiento de 4-6 hojas. Además, evidencia resistencia a inhibidores de ALS con valores de FR y DL50 a imidazolinonas y sulfonilureas de 9 a 153 y $>300,3+100,1$ g i.a./ha, y 16 y 53 g i.a./ha, respectivamente. Los resultados obtenidos permiten confirmar, debido al manejo químico de malezas y a las propiedades bioecológicas de *A. palmeri*, la presencia de biotipos resistentes a glifosato y a herbicidas inhibidores de la ALS. Para obtener controles eficaces de *Amaranthus palmeri*, reducir su difusión y presión de selección a herbicidas es necesario llevar un plan correcto de monitoreo de la maleza, conocer sus características bioecológicas y priorizar establecer nuevas estrategias químicas, culturales y mecánicas para su manejo eficiente y sustentable en la región sudoeste de Córdoba.

Palabras clave: *Amaranthus palmeri*, resistencia a herbicidas, glifosato, resistencia a ALS.

INTRODUCCION

El manejo de las malezas en los sistemas agropecuarios constituye una de las actividades más importantes por el impacto que ocasionan sobre la producción de diferentes cultivos y pasturas. La presencia de malezas reduce la eficiencia de insumos como los fertilizantes y el agua de riego, favorecen y fortalecen la presencia y el desarrollo de otros organismos y plagas, pudiendo reducir severamente el rendimiento y calidad de los cultivos (Labrada y Parker, 1996).

En los últimos años, se ha observado en las diferentes regiones agrícolas de la República Argentina la aparición y dispersión de malezas de difícil control químico. La adopción de un herbicida de alta eficacia y espectro de control como el glifosato, la escasa rotación de productos en esquemas productivos de siembra directa con soja RR como cultivo casi único (Rainero, 2008), generó en pocos años, un importante incremento de especies con tolerancia y resistencia al mismo (Bracamonte *et al.*, 2016; Papa, 2009). A diferencia de las especies tolerantes, las malezas resistentes son especies cuyas poblaciones eran susceptibles al herbicida y como consecuencia de la presión de selección a lo largo del tiempo seleccionaron poblaciones que son insensibles con una dosis normal de glifosato en relación a la población original (Ustarroz, 2013). Actualmente, además de la resistencia de glifosato, existen en el país especies resistentes a herbicidas con otros modos de acción, y algunas con biotipos con resistencia múltiple (Figura 1 y 2).

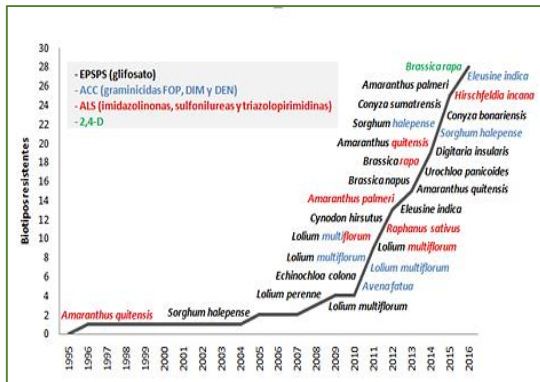


Figura 1. Biotipos de especies resistentes detectados en Argentina (REM, 2016).

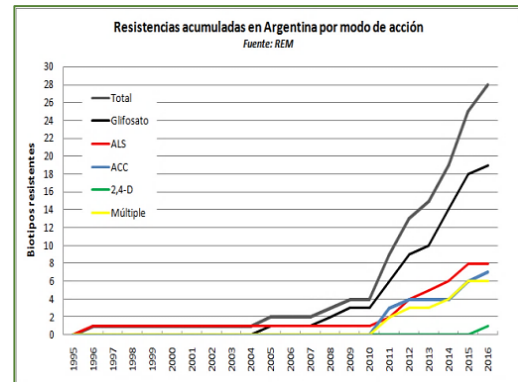


Figura 2. Biotipos de especies resistentes acumulados por modo de acción en Argentina (REM, 2016).

Entre las malezas de difícil control en los sistemas agrícolas de Argentina, los “yuyos colorados” (*Amaranthus* spp.) constituyen unas de las especies de latifoliadas más problemáticas en los cultivos estivales (Tuesca *et al.*, 2016). Su impacto sobre la producción agrícola es importante, debido a su distribución, abundancia y dificultad de manejo. Dentro de este género, *Amaranthus hybridus* L. (ex *quitensis*) y *Amaranthus palmeri* S. Watson se encuentran como especies dominantes en la región central del país. *A. palmeri* fue detectada y valorada como una maleza sumamente agresiva durante la campaña 2011/2012 en el sudoeste de Córdoba (Morichetti *et al.*, 2013),

difundiéndose posteriormente a San Luis, La Pampa, Santa Fe, Tucumán, Chaco, Salta, y probablemente en otras provincias del país (Montoya *et al.*, 2015) (Figura 3).

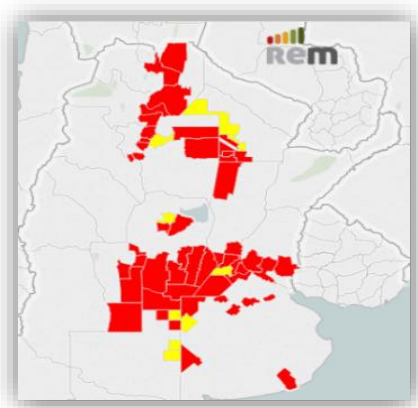


Figura 3. Área de distribución de *Amaranthus palmeri* en Argentina en 2015 (REM, 2017).

Amaranthus palmeri es originario del norte de México y de las regiones áridas del centro y sur de los Estados Unidos, tornándose en una maleza importante debido a sus características biológicas y resistencia a herbicidas con diferentes mecanismos de acción (Ward *et al.*, 2013). En nuestro país, hasta el momento, se ha confirmado la presencia de resistencia a Inhibidores de ALS, y a glifosato, y existe la sospecha de que hay resistencia múltiple a ALS+glifosato, aunque esto todavía no se confirmó científicamente (REM AAPRESID; 2017).

Las sulfonilureas y las imidazolinonas son herbicidas que actúan bloqueando la síntesis de aminoácidos esenciales por inhibición de la enzima acetolactato sintetasa (ALS). Se caracterizan por poseer alta eficacia, baja toxicidad en mamíferos, amplio espectro de control, selectividad en algunos cultivos y sus dosis de uso son relativamente bajas. Su empleo está muy extendido y, como consecuencia de ello, la resistencia a herbicidas pertenecientes a estos grupos constituye un serio problema. (Saari *et al.*, 1994; Lovell *et al.*, 1996).

En el sudoeste de Córdoba, *Amaranthus palmeri* genera mucha preocupación a productores y técnicos la presencia de “escapes” de esta maleza a aplicaciones de glifosato. La falta de control efectivo de esta maleza promueve la existencia de un importante banco de semillas en el suelo, lo que compromete los cultivos de las campañas posteriores (Morichetti *et al.*, 2013). Estas fallas de control podrían deberse en parte, a que muchas de esas aplicaciones se realizan sin considerar la biología de las malezas (Papa, 2013). Faccini y Puricelli (2007), demostraron que varias malezas consideradas de “difícil control” con glifosato eran controladas satisfactoriamente en estadios vegetativos, pero este se reducía cuando alcanzaban la etapa reproductiva, lo que sugiere que estas especies evaluadas no serían tolerantes o resistentes, sino que existe un error en cuanto a la oportunidad de control.

Por ello, para conocer el grado de sensibilidad de una maleza a un determinado principio activo es necesario establecer la relación entre la dosis y la respuesta de la especie al herbicida. Esta metodología evalúa la reacción de una maleza a distintas dosis de un mismo herbicida, solo o en mezcla, determinando valores de sensibilidad o resistencia en relación a un testigo sin control químico comprobable (Seefeldt *et al.*, 1995; Streibig *et al.*, 1993). Para esto, el método más apropiado es la regresión no lineal descrito por Streibig *et al.*, (1993). Una adaptación de este modelo fue propuesto por Seefeldt *et al.*, (1995), cuya principal ventaja del modelo log-logística es que uno de los términos que integran la ecuación no lineal es la C50, ED50, GR50 o IC50, facilitando de esta manera la comparación del nivel de resistencia de biotipos de la misma especie. En este tipo de estudios se utiliza la respuesta binaria, como por ejemplo “Dosis-Respuesta”, usado para determinar la dosis letal 50 (DL50) de un herbicida. Si un individuo muere cuando es desafiado con una dosis $x > T$, se dice que el individuo tiene una tolerancia T. La tolerancia de las malezas puede considerarse una variable aleatoria y $F(t)=P(T<t)$. El método apropiado para analizar estos ensayos es ajustando un modelo de regresión logística como el probit (Balzarini *et al.*, 2008).

Por lo anteriormente citado, se plantean los siguientes objetivos:

General

Evaluar el nivel de resistencia de un biotipo de *Amaranthus palmeri* S. Watson a herbicidas inhibidores de EPSPS y ALS en la región sudoeste de Córdoba, Argentina.

Específicos

- A-** Determinar las características bioecológicas de *Amaranthus palmeri* S. Watson y las causas agronómicas de su presencia, dispersión y resistencia en nuestro país.
- B-** Evaluar el nivel de resistencia de un biotipo de *Amaranthus palmeri* S. Watson de la región sudoeste de Córdoba, Argentina, a herbicidas inhibidores de EPSPS en dos estadios fenológicos.
- C-** Evaluar el nivel de resistencia cruzada a herbicidas inhibidores de ALS sulfonilureas e imidazolinonas de un biotipo de *Amaranthus palmeri* S. Watson. de la región sudoeste de Córdoba, Argentina.
- D-** Diseñar y establecer estrategias de manejo integrado de *Amaranthus palmeri* S. Watson en la región centro y sudoeste de Córdoba.

MATERIALES Y METODOS

Para determinar las características bioecológicas y causas agronómicas de dispersión y resistencia a herbicidas de *Amaranthus palmeri* S. Watson se utilizaron publicaciones de extensión e investigación tecnológica y científica nacionales e internacionales sobre características bioecológicas de la especie, y modelo productivo de la región predominante en los últimos años.

Para evaluar el nivel de resistencia de *Amaranthus palmeri* a herbicidas inhibidores de EPSPS y ALS se realizó un ensayo en el Área de Ecotoxicología, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, durante el periodo 2016/2017. La maleza fue seleccionada y recolectada por su alta difusión, densidad y dificultad para su control durante el periodo de barbecho en la zona rural de Vicuña Mackenna, Córdoba (Figura 4 y 5). Para validar botánicamente el género y especie de la maleza se acondiciono y envió para su determinación al laboratorio ACOR de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, los que informaron que la especie corresponde a *Amaranthus palmeri* S. Watson.

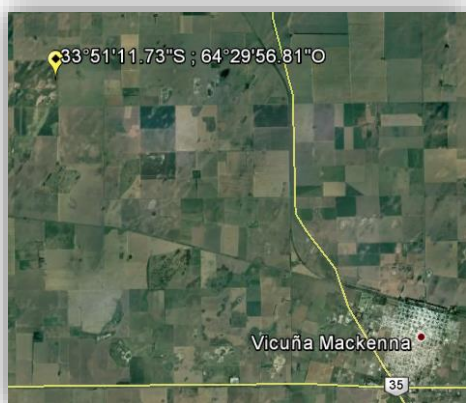


Figura 4. Ubicación geográfica del lote donde se recolectó el material vegetal, 2016.



Figura 5. *Amaranthus palmeri* en lote con maíz. 2017.

Las semillas recolectadas fueron sometidas a un proceso de preenfriado, según normas ISTA para especies del género *Amaranthus*, y luego se las llevó a cámara de germinación bajo condiciones óptimas de luz (16hs de luz) y temperaturas (30/20°C). Una vez germinadas, las plántulas se trasplantaron a macetas definitivas (unidades experimentales) con un volumen de un litro. Estas unidades contenían un sustrato compuesto de tierra negra y arena en proporción de 1:1, quedando 4 plantas por unidad experimental. Posteriormente, las macetas fueron llevadas a invernadero y mantenidas bajo condiciones controladas hasta su evaluación final. En este periodo se efectuaron riegos a requerimiento para evitar estrés hídrico.

Para los tratamientos herbicidas, se seleccionaron 3 principios activos con diferentes modos de acción:

1. Glifosato (Inhibidores de EPSPS);
2. Interfield®: imazetapir+Imazapir (Imidazolinonas; Inhibidores de ALS);
3. Clorimuron etil (Sulfonilureas; Inhibidores de ALS).

Los datos de dos ensayos repetidos en invernadero fueron combinados para su análisis. Las aplicaciones se realizaron en postemergencia de las malezas en dos estadios fenológicos: con glifosato en 4-6 hojas (aplicaciones tempranas) y ≥ 15 hojas (aplicaciones tardías: plantas ≥ 30 cm) (Figura 6 y 7). Tratamientos con imazetapir+imazapir y clorimuron etil, se realizaron en el estadio fenológico de 4-6 hojas.



Figura 6. Tratamientos de *Amaranthus palmeri* con plantas con 4-6 hojas verdaderas.



Figura 7. Tratamientos de *Amaranthus palmeri* con plantas de ≥ 15 hojas (≥ 30 cm).

Las aplicaciones se realizaron en condiciones semicontroladas (campo-invernadero) y consistieron en cinco tratamientos herbicidas (Dosis) y un tratamiento sin herbicida (T), tomando como referencia la dosis recomendada por marbete (Tabla 1). El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado, con 4 repeticiones por tratamiento. Las condiciones ambientales durante la aplicación fueron: $T^{\circ}=20^{\circ}\text{C}$, $\text{HR}=55\%$ y velocidad del viento= 8km/h.

Tabla 1: Tratamientos herbicidas y dosis utilizadas para evaluar resistencia de *A. palmeri* a inhibidores de EPSP Y ALS

Tratamiento	Principio Activo	Dosis (l PC/ha) (g PC/ha)	Dosis de Principio activo		Referencia
			(g i.a./ha)	g e.a./ha)	
Testigo	-	-	-	-	T
0,25x	Glifosato	0,5	323,5	240	G1
0,5x	Glifosato	1	647	480	G2
1x	Glifosato	2	1294	960	G3
2x	Glifosato	4	2588	1920	G4
4x	Glifosato	8	5176	3840	G5
Testigo	-	-	-	-	T
0,25x	Imazetapir+imazapir	35,75	18,77+6,25	-	I1
0,5x	Imazetapir+imazapir	71,5	37,52+12,51	-	I2
1x	Imazetapir+imazapir	143	75,05+25,02	-	I3
2x	Imazetapir+imazapir	286	150,15+50,05	-	I4
4x	Imazetapir+imazapir	572	300,3+100,1	-	I5
Testigo	-	-	-	-	T
0,25x	Clorimuron etil	4	3	-	CI1
0,5x	Clorimuron etil	8	6	-	CI2
1x	Clorimuron etil	16	12	-	CI3
2x	Clorimuron etil	32	24	-	CI4
4x	Clorimuron etil	64	48	-	CI5

La dosis **1x** corresponde a la dosis de uso recomendada por marbete para *Amaranthus* spp.

Los tratamientos herbicidas se realizaron con mochila equipada con pastilla de abanico plano 80-01, que erogaba un caudal de 100l/ha. Las evaluaciones de control se realizaron a los 10 y 21 días después de las aplicaciones (DDA). Con los datos obtenidos se determinó el control (%) y la sobrevivencia (%), con los que se calculó la Dosis Letal Media (DL50) mediante el modelo de ajuste Probit, que representa la dosis (g i.a./ha) capaz de matar al 50 % de la población expuesta en relación a un tratamiento sin herbicida (T).

A los 21 DDA, se evaluó la reducción de peso fresco (%) de las plantas tratadas con respecto a un control no tratado (T) para obtener la relación dosis-respuesta. Para ello, se realizó un corte en la base de cada planta (al ras del suelo), y posteriormente fueron pesadas en balanza de precisión para determinar biomasa (gramo/planta) de peso húmedo.

Con los datos obtenidos se evaluó la relación dosis-respuesta utilizando el modelo log-logístico propuesto por Seefeldt *et al.* (1995) que relaciona la respuesta de la planta con las dosis del herbicida evaluadas:

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + \exp(b(\log(x) - \log(\text{GR50}))}$$

Donde:

Y: representa el peso fresco como porcentaje con respecto al control.

D: límite superior de la curva

C: límite inferior de la curva.

b: pendiente de la curva en el punto GR50.

GR50: Dosis de herbicidas requeridas para reducir en un 50% la biomasa de las plantas de la maleza en relación al testigo.

El límite D corresponde a la respuesta media de la dosis control. El límite inferior de la curva corresponde a la respuesta media de la dosis más alta empleada.

El nivel de resistencia de las poblaciones evaluadas se calculó utilizando el Factor de Resistencia que es el cociente entre el GR50 del biotipo resistente y el GR50 del biotipo sensible.

Para establecer el Factor de Resistencia relativa (FR) de la población de *Amaranthus palmeri* utilizada (Biotipo Mackenna) se comparó con dos biotipos sensible (S) a glifosato e imazamox, provenientes de México, y con valores comprobados y publicados en ensayos previos a nivel nacional e internacional.

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante el software Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2015). Para la significancia de los tratamientos se utilizó el ANAVA y para las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos se utilizó el Test de LSD al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características Bioecológicas, Causas Agronómicas de Dispersión y Resistencia de *Amaranthus Palmeri* S. Watson a Herbicidas en Córdoba y el País.

Descripción botánica de *Amaranthus palmeri* S. Watson y diferencias con *Amaranthus hybridus* (ex *quitensis*)

Debido a la dificultad de control de esta especie en los sistemas productivos, es importante la correcta identificación de *Amaranthus palmeri* S. Watson para lograr una detección temprana y facilitar en una rápida toma de decisiones para prevenir su dispersión y frenar su establecimiento en nuevas áreas.

Amaranthus palmeri S. Watson es una especie anual, dioica, que puede llegar a más de 3m de altura bajo ciertas circunstancias. No presenta pubescencia en sus órganos, y sus tallos pueden volverse rojizos en estadios fenológicos avanzados. Las hojas presentan pecíolos largos, de igual o mayor longitud de la lámina (Figura 9). Presenta forma rómbica a lanceolada, a veces casi elíptica y en ocasiones presenta un mucrón terminal (Figura 10). Las flores están rodeadas de una bráctea y 2 bractéolas. En las flores femeninas esta bráctea es largamente excurrente, de 4-6mm, muy gruesa, de mayor longitud que los tépalos, con ápice mucronulado o acuminado. En masculinas, de 4mm, gruesa, de igual longitud que los tépalos, con el ápice largamente acuminado. Las flores pistiladas poseen 5 tépalos espatulados, con nervadura central conspicua y ramificada, estramíneos a rojizos; estilo con 2-3 estigmas. Las flores estaminadas poseen 5 tépalos desiguales, de ápice agudo con 3-5 estambres. Las inflorescencias terminales son alargadas (Figura 12), de 10 a 40cm de longitud, densas, en forma de tirso espiciforme o paniculoide, generalmente péndula, a menudo con algunos racimos axilares, en la parte proximal de la planta. El fruto es un utrículo castaño a castaño-rojizo, ovoide a subgloboso. De 1,5 a 3mm de longitud, con paredes lisas a rugosas. Semillas obovadas, lenticulares, rojizas a castaño-rojizas, oscuras, brillantes, de 1-1,2mm de diámetro (Figura 8). (Morichetti *et al.*, 2013).



Figura 8. Semillas (izquierda) y plántulas (derecha) de *Amaranthus palmeri* S. Watson



Figura 9. Hojas de *A. palmeri* S. Watson. Se puede apreciar el peciolo de mayor longitud que la lámina.



Figura 10. Planta de *A. palmeri*. Con presencia de mucrón en el ápice de la hoja.



Figura 11. Patrón de crecimiento meristemático en apariencia de roseta.



Figura 12. Inflorescencias masculina (izquierda) y femenina (derecha) de *Amaranthus palmeri* S. Watson.



Figura 13. Lote de soja con una alta infestación de *Amaranthus palmeri* S. Watson (Maleza Cero, 2014).

Tabla 2. Características diferenciales entre *Amaranthus palmeri* y *Amaranthus hybridus*.

Especie	<i>Amaranthus palmeri</i> S. Watson	<i>Amaranthus hybridus</i> L.
Reproducción	Dioica	Diclino Monoica
Presencia de pubescencia	Plantas glabras.	Plantas con pelos en tallos y hojas.
Hojas	Hojas con pecíolos de longitud igual o mayor a la de la lámina; Glabras. (Figura 9)	Hojas con pecíolos más cortos que la lámina; pubescentes.
Patrón de crecimiento de los meristemas apicales	El patrón de crecimiento le da una apariencia de “roseta” (o también “poinsettia”), cuando se observa la planta desde arriba. Esto se debe a que la planta desarrolla sus estructuras para captar la mayor cantidad de luz (Figura 11).	No se observa un patrón de crecimiento definido
Inflorescencias	Presenta pies masculinos y femeninos. Los primeros presentan son suaves al tacto. Las inflorescencias femeninas son duras y punzantes al tacto. Ambas son de longitud mayor a 10 cm, a menudo péndulas, y poco ramificadas. (Figura 12).	Inflorescencias cortas, de 4-12cm, con frecuencia ramificadas. Ambos sexos se encuentran en la misma planta.

Características Bioecológicas

Amaranthus palmeri S. Watson es una especie con gran capacidad de adaptación a diferentes condiciones debido a sus características biológicas, las que aseguran su éxito al establecerse en una nueva área. Esta especie posee atributos que la convierten en una maleza sumamente agresiva y muy difícil de manejar eficazmente con los recursos tecnológicos actualmente disponibles (Tuesca *et al.*, 2016).

Es una especie con vía fotosintética C4, con alta tasa metabólica y eficiencia fotosintética, teniendo sus máximos a temperaturas superiores a 36°C (Ehleringer, 1983), condiciones adversas para la mayoría de los cultivos. Se ha registrado un crecimiento diario de 2-4 cm/día, siendo este crecimiento y también su ganancia de biomasa mayor al de otras especies del género *Amaranthus* (Horak & Loughin, 2000; Sellers *et al.*, 2003). Este rápido crecimiento implica un mayor consumo de agua y nutrientes, favorecido por su sistema radicular profundo y ramificado, que puede alcanzar profundidades mayores que el de soja (Sosnoskie *et al.*, 2011b); y una mayor competencia por el espacio y la luz, para lo cual *A. palmeri* destina gran parte de su biomasa hacia sus hojas (Hartzler, 2014), resultando en un aparato fotosintético de gran capacidad y eficiencia de uso de la luz.

Es una especie sumamente prolífica, siendo capaz de producir de 200.000 a 600.000 semillas (Keeley *et al.*, 1987; Sellers *et al.*, 2003). Puede germinar dentro de un amplio rango de condiciones de suelo, agua a partir de los 16,6°C (Steinmaus *et al.*, 2000), por lo que su periodo de emergencia es prolongado. Bajo condiciones óptimas, una gran proporción del banco de semillas puede germinar en tan solo un día, mientras que otras

especies amarantáceas completan su germinación en 3-7 días. (Steckel *et al.*, 2004) (Figura 14 y 15). Debido a la necesidad de luz (Sosnoskie *et al.*, 2011b), las semillas necesitan estar en los primeros centímetros de suelo para emerger exitosamente (Keeley *et al.*, 1987). A medida que la profundidad se incrementa hasta 10 centímetros, la viabilidad de las semillas disminuye en el tiempo. A mayores profundidades, la viabilidad de las semillas es mayor, aún 36 meses después de enterradas (Sosnoskie *et al.*, 2013).



Figura 14 y 15. Germinación de *A. palmeri* (izq.) y *A. hybridus* (der.) 3DDS bajo condiciones óptimas.

Amaranthus palmeri germina rápidamente y completa su ciclo de vida en respuesta a la humedad del suelo (Ehleringer, 1985). Este comportamiento oportunista le permite prosperar en un amplio rango de condiciones edafoclimáticas, logrando así colonizar nuevas áreas cuando se la introduce, esto producto de la actividad del hombre mediante el uso de semillas contaminadas con las de *A. palmeri* para la siembra de los cultivos, movimiento de implementos de labranza, cosechadoras, traslado de ganado, etc.; por gravedad, por el agua, migraciones de aves, entre otras causas (Ward *et al.*, 2013).

Al ser una especie dioica, la polinización es cruzada, dando lugar a una gran variabilidad genética en la descendencia producida. Esto, sumado a su gran prolificidad, le da la capacidad de adaptarse y sobrevivir a condiciones extremas, y de que aparezcan nuevos biotipos resistentes a herbicidas (Legleither, 2013). Se ha reportado que esta especie posee la capacidad de hibridarse con otras especies del género *Amaranthus*, aunque generalmente la descendencia de estos cruzamientos son poco viables (<0,2% del total) (Trucco *et al.*, 2007; Gaines *et al.*, 2012). Los híbridos que se originan por el cruzamiento entre *A. palmeri* y *A. spinosus* poseen mayor viabilidad (aproximadamente 0,4% del total) (Gaines *et al.*, 2012). Está demostrado que es factible que los genes que codifican los mecanismos de resistencia a herbicidas puedan transferirse entre especies de este género (Wetzel *et al.*, 1999; Nandula *et al.* 2014), por lo que, aunque el porcentaje de híbridos viables originados sea bajo, la aparición de nuevos biotipos resistentes por esta vía puede considerarse motivo de preocupación (Tuesca *et al.*, 2016).

Resistencia de *Amaranthus palmeri* S. Watson a herbicidas

Amaranthus palmeri S. Watson presenta una notable facilidad para desarrollar resistencia a herbicidas (Ward *et al.* 2013). Hasta el momento, se ha confirmado la presencia a nivel mundial de 58 biotipos de esta especie con resistencia a diferentes herbicidas, incluyendo resistencia a inhibidores de ALS (imidazolinonas, sulfonilureas, triazolpirimidinas), de HPPD (mesotrione, topramezone), de la mitosis (dinitroanilinas), de EPSPS (glifosato), del Fotosistema II (Triazinas) y de PPO (difeniléteres, pirazoles, oxadiazoles), y biotipos con resistencia múltiple, como por ejemplo en EE.UU. hay casos de resistencia a ALS+glifosato, ALS+Fotosistema II+HPPD y glifosato+ALS+Fotosistema II (Heap, 2017).

El primer caso reportado de *Amaranthus palmeri* resistente fue para el grupo de las dinitroanilinas. En 1989, se confirmó la resistencia a la trifluralina de diversas poblaciones de esta maleza en 8 lugares diferentes de Carolina del Sur (EE.UU.). En 1993, se detectó la existencia de biotipos resistentes a las triazinas en Texas (Heap, 2017). Para estos 2 grupos químicos, los mecanismos de resistencia involucrados aún no fueron esclarecidos (Ward *et al.*, 2013).

Para los casos de resistencia de *Amaranthus palmeri* a inhibidores de la acetolactato sintetasa (ALS), ésta se debe a cambios en la secuencia de bases del gen que codifica esta enzima, resultando en una proteína con menor afinidad a la unión con estos herbicidas. Esta alteración se hereda como un alelo individual con un alto grado de dominancia (Saari *et al.*, 1994; Tranel & Wright 2002). Burgos *et al.* (2001), sugieren que además pueden existir otros mecanismos involucrados, como una reducción en la absorción y translocación, o un incremento en el metabolismo de estas moléculas herbicidas. Es común encontrar resistencia cruzada a imidazolinonas, sulfonilureas y triazolpirimidinas en esta especie (Burgos *et al.*, 2001; Wise *et al.*, 2009).

La resistencia a glifosato se reportó por primera vez en Georgia (EE.UU.), en 2004 (Culpepper *et al.*, 2006), encontrándose actualmente biotipos resistentes a este herbicida en gran parte del área agrícola del sur y centro estadounidense y otros países (Heap, 2017). La resistencia estaría asociada a la amplificación del gen que codifica la enzima EPSPS, el cual se encontraría en cantidades 100 veces superiores a lo normal, lo que permitiría que la planta absorba la dosis de glifosato aplicada y continúe con vida (Gaines *et al.*, 2011; Powles, 2010). Este mecanismo es hereditario, y puede ser transferido a través del polen de los pies masculinos resistentes, a la descendencia de los pies femeninos susceptibles, y también puede transmitirse a otras especies del género *Amaranthus* (Gaines *et al.*, 2012). Es posible que este mecanismo haya evolucionado independientemente en las diferentes regiones productivas por el uso repetido del glifosato, ya que en lugares distantes como Georgia (Gaines *et al.*, 2010), Michigan (Korht *et al.*, 2017) y Nebraska (Chahal *et al.*, 2017), se encontró este mecanismo como responsable de la resistencia a glifosato en *A. palmeri*. Otros autores

encontraron que la resistencia a glifosato podría deberse a una reducción en la translocación del herbicida en la planta (Steckel *et al.*, 2008).

La resistencia a inhibidores de HPPD involucra mecanismos desconocidos hasta el momento. A la fecha, solo se conocen 2 especies que presentan biotipos resistentes a este MOA: *Amaranthus palmeri* S. Watson y *Amaranthus tuberculatus* (= *Amaranthus rudis*) (Heap, 2017). En el caso de *A. palmeri*, Thompson *et al.* (2012) encontraron que algunos biotipos del centro de Kansas no eran controlados con aplicaciones de pyrasulfotole+bromoxinil (NC: Huskie®), siendo estos 7-11 veces más resistentes que un biotipo susceptible a esta mezcla. Estas poblaciones que se evaluaron, presentaban a su vez resistencia a inhibidores de ALS y Fotosistema II, no habiendo sido tratados nunca con inhibidores de HPPD a campo. Esto sugiere que la resistencia a estas moléculas podría haberse transmitido a través del polen, desde otras regiones, o por hibridación con *A. tuberculatus* (Chahal *et al.*, 2015).

Recientemente se ha confirmado la resistencia de *Amaranthus palmeri* a inhibidores de PPO. Salas *et al.* (2016), demostraron la resistencia a fomesafen de una población sospechosa de Arkansas (EE.UU.), y evaluaron el mecanismo responsable de la resistencia de *A. palmeri* a inhibidores de PPO. En la misma publicación, comprobaron que especies con gran producción de semillas, como lo es *A. palmeri*, bajo una presión de selección constante por parte de herbicidas de un solo modo de acción, pueden originar una población resistente al cabo de 2 años. Esta situación lleva que para el momento en que se detecta el problema, ya es demasiado tarde, debido a que el suelo posee un banco de semillas abundante que preservará la resistencia en el tiempo. El mecanismo que confiere resistencia sería una mutación en el gen que codifica la enzima PPO, la cual también está presente en *A. tuberculatus* resistente (Thinglum *et al.*, 2011), llamado ΔG_{210} , que altera la arquitectura de la unión entre los inhibidores de PPO y la enzima, dando como resultado una proteína con menor afinidad a estos principios activos.

Causas agronómicas de su dispersión en Córdoba y Argentina.

Los primeros registros de *Amaranthus palmeri* S. Watson en Argentina provienen de La Pampa, en 1966, cuando fue coleccionada, y luego no volvió a incluirse ni fue incluida dentro de la flora adventicia, quizás porque no logró establecerse exitosamente (Morichetti *et al.*, 2013). Covas (1984), cita 10 especies en base a material herborizado, entre ellas *A. palmeri*, aclarando que se trataba de una especie que había sido hallada solo una vez en cultivos de especies forrajeras introducidas desde EE.UU. y que no debía ser incluida en la flora pampeana. (Morichetti *et al.*, 2013).

En 2011, se detecta nuevamente esta especie en el sudoeste de la provincia de Córdoba (Figura 16) teniendo ese año una gran difusión debido a la sequía que afectó a los cultivos de soja, maíz y maní de la región (Morichetti *et al.*, 2013). Es probable que esta

maleza haya estado presente en la región desde hace mucho tiempo (Figura 17 y 18), ya que asesores de la región cuentan que esta especie comenzó a ser considerada como maleza en campos en el verano de 2004-2005 y que usualmente se la nombraba como “yuyo colorado” asimilándola con un taxón anual muy frecuente, *A. hybridus* ssp. *hybridus*. Según estos mismos testimonios, los flujos de germinación ocurrieron en forma tardía respecto al ciclo del cultivo y generó grandes complicaciones para su control (Morichetti *et al.*, 2013).

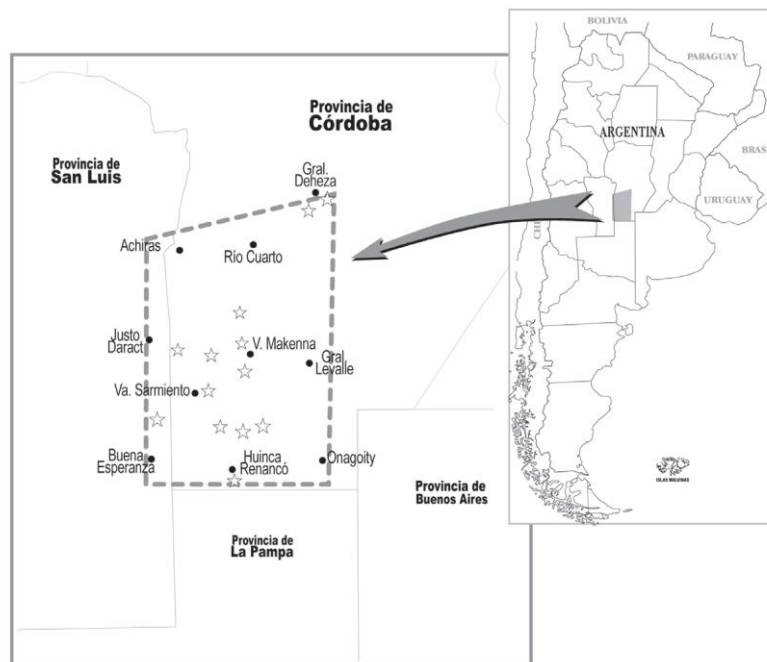


Figura 16. Área de distribución de *A. palmeri* durante la campaña 2011/2012. (Morichetti *et al.*, 2013).



Figura 17. Plantas de *A. palmeri* en un lote cosechado de soja. Vicuña Mackenna, mayo 2009.



Figura 18. Plantas de *A. palmeri* en soja. Vicuña Mackenna, abril 2010.

La introducción de esta especie en el sur de Córdoba probablemente este asociada con la importación de semillas de cultivos contaminadas con esta maleza o a través de maquinaria agrícola introducida al país desde EE.UU. (Morichetti *et al.*, 2013).

Los flujos de germinación de esta especie son muy evidentes luego de las aplicaciones de herbicidas en alambrados y bordes de caminos. Al quedar eliminadas las malezas sensibles, especialmente gramíneas estivales, *A. palmeri* germina abundantemente y se establece como especie dominante, generando una fuente local muy importante de diásporas. En maní, esta maleza encuentra un ambiente adecuado para su germinación y establecimiento. Al ser un cultivo de bajo porte y poco competitivo, es muy susceptible a los efectos de la competencia con esta especie. La presencia de individuos de *A. palmeri* durante las labores finales de arrancado y descapotado, complica mucho estas actividades. Es en este cultivo donde se presenta como el mayor problema para su control (Morichetti *et al.*, 2013).

En 2013-2014 se detectó la presencia de esta maleza en la Provincia de Santa Fe, Salta y Tucumán, sospechándose que el ingreso estuvo asociado al movimiento de maquinarias y/o siembra de pasturas contaminadas con *A. palmeri* (Tuesca *et al.*, 2016).

Considerando el modelo productivo predominante, caracterizado por la elevada dependencia del control químico utilizando pocos herbicidas, la escasez de rotaciones y una alta proporción de la superficie agrícola bajo arrendamiento con contratos de corta duración, y las características que posee *Amaranthus palmeri*, las consecuencias que puede ocasionar su presencia en los sistemas agrícolas son potencialmente significativas. En este escenario es necesario adicionar la sobreestimación de los herbicidas como herramienta única, y la subestimación de las malezas como adversidad biótica. Esto determina que no se realicen monitoreos adecuados, y por lo tanto la aplicación de herbicidas se realice en forma inoportuna sobre plantas muy desarrolladas, con baja eficacia; lo que conlleva a que la maleza continúe reproduciéndose y colonizando nuevos espacios (Tuesca *et al.*, 2016).

Evaluación del nivel de resistencia de un biotipo de *Amaranthus palmeri* S. Watson a glifosato en la región sudoeste de Córdoba, Argentina

Los resultados obtenidos mostraron que no se obtuvieron controles satisfactorios con prácticamente ninguna de las dosis evaluadas.

Tratamientos con glifosato, en plantas de 4-6 hojas, mostraron a los 10 DDA un valor de DL50 de 1319 g e.a./ha (Figura 19 y 20).

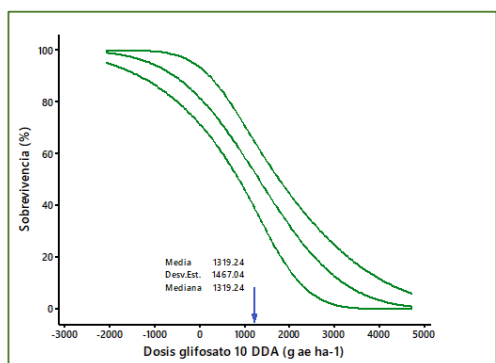


Figura 19. Dosis Letal50 de glifosato, 10 DDA en el control de *A. palmeri* con 4-6 hojas



Figura 20. Tratamientos con glifosato 10 DDA sobre plantas de *A. palmeri* con 4-6 hojas.

La DL50 obtenida a los 21 DDA mediante un ajuste con un modelo Probit (Figura 21 y 22) mostro un valor de 1269 g e.a./ha, evidenciando que se necesitan 68 veces más de ingrediente activo de glifosato para matar al 50% de la población del biotipo evaluado en relación al biotipo S (18.6 g e.a./ha).

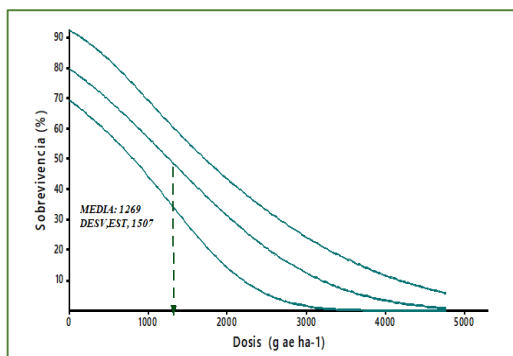


Figura 21. Dosis Letal50 de glifosato, 21 DDA, en el control de *A. palmeri* con 4-6 hojas.



Figura 22. Tratamientos con glifosato 21 DDA sobre plantas de *A. palmeri* con 4-6 hojas.

Este valor es similar al reportado por Sosnoskie *et al.* (2011a), que obtuvieron valores de DL50 entre 1100 y 1440 g e.a./ha, alcanzando FR de 12 a 15, en relación al biotipo sensible (91 g e.a. /ha), respectivamente. Carvalho *et al.* (2015), estudió la resistencia de *A. palmeri* a glifosato en Brasil y encontró que la DL50 de un biotipo del estado de Mato Grosso fue de 1448 g e.a. /ha. Otros autores obtuvieron valores superiores de este

parámetro para esta maleza, lo que indicaría que existen diferentes niveles de resistencia a glifosato por parte de *A. palmeri*.

Los datos de la evaluación de resistencia con plantas de 4-6 hojas con glifosato a los 21 DDA mostraron una reducción del peso fresco a dosis crecientes, no observándose diferencias significativas de la dosis comercial con las dosis mayores evaluadas (Tabla 3).

Tabla 3. Pesos frescos de los diferentes tratamientos de glifosato en el estadio de 4-6 hojas verdaderas de *Amaranthus palmeri*, 21DDA.

Tratamientos	Dosis (g e.a./ha)	N	Media	
T	0	4	6,495	A
G1	240	4	5,680	B
G2	480	4	3,400	C
G3	960	4	0,615	D
G4	1920	4	0,378	D
G5	3840	4	0,395	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

La GR50 estimada para este tratamiento fue de 476 g e.a./ha (Figura 23), mientras que para los biotipos sensibles (S) fue de 15.7 g e.a./ha y 44 g e.a./ha. Estos resultados muestran un FR=30 y FR= 11, respectivamente. Considerando este valor, se puede afirmar que este biotipo presenta un nivel de resistencia alto a glifosato ($FR > 2.5$).

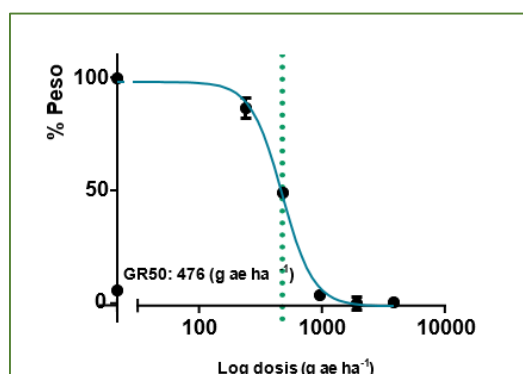


Figura 23. Reducción de Peso fresco (%) de *A. palmeri* en el estadio de 4-6 hojas, en función de la dosis de glifosato, a los 21 días DDA.

Valores similares de GR50 fueron obtenidos por Mohseni-Moghadam *et al.* (2013) con biotipos de Nuevo México (EE.UU.), donde la GR50 fue de 457,6 g e.a. /ha, 7,2 veces mayor que la GR50 del susceptible (65,9 g e.a./ha). En Tennessee, Steckel *et al.* (2008) determinaron que 2 poblaciones de *A. palmeri* eran 1,5 a 5 veces menos sensible a glifosato que un biotipo sensible. Culpepper *et al.* (2006), estimó que la GR50 de un biotipo de Georgia fue 6 veces (560 g e.a./ha) mayor que la del susceptible evaluado (90 g e.a./ha). Whitaker (2013), por su parte, estimó que para una población de Carolina del Norte fue 18 veces (2565 g e.a./ha) superior la dosis necesaria para disminuir al 50% el peso fresco, respecto a un sensible (146 g e.a. /ha).

Estas diferencias en el grado de resistencia nos sugieren que la disminución en la susceptibilidad a este herbicida evolucionó de manera independiente en cada caso, a lo largo de los diferentes países y estados mencionados. Sin embargo, también puede deberse a variaciones en la metodología utilizada, a las condiciones en las que se realizaron dichos estudios, y en el biotipo susceptible evaluado por cada autor. De todas maneras, estaríamos en condiciones de concluir que el biotipo estudiado de *Amaranthus palmeri* presenta un nivel medio a alto de resistencia a glifosato, sin ser controlado satisfactoriamente con ninguno de los tratamientos evaluados del ensayo. Estos resultados implican que glifosato ya no sería un herbicida efectivo para controlar *A. palmeri* biotipo Mackenna, ya que las cantidades necesarias para obtener un control adecuado de esta maleza serían económicamente inviables, y potencialmente perjudiciales para el ambiente.

Los tratamientos de glifosato sobre plantas ≥ 15 hojas (≥ 30 cm de altura) mostraron una disminución en la eficacia de control de *Amaranthus palmeri*, a los 10 y 21 DDA, en relación a los obtenidos sobre plantas con 4-6 hojas. A los 10 DDA, no se observaron controles eficaces con ninguna de las dosis utilizadas (Tabla 5), aunque se apreciaron sobre algunas plantas síntomas de daños por el herbicida, como epinastia, clorosis, y detención del crecimiento (Figura 25). Los resultados obtenidos en la evaluación visual evidenciaron que, a partir del recuento de plantas vivas, el valor de la DL50 (8952 g e.a./ha) se ubica en dosis de glifosato muy superiores al máximo evaluado (Figura 24).

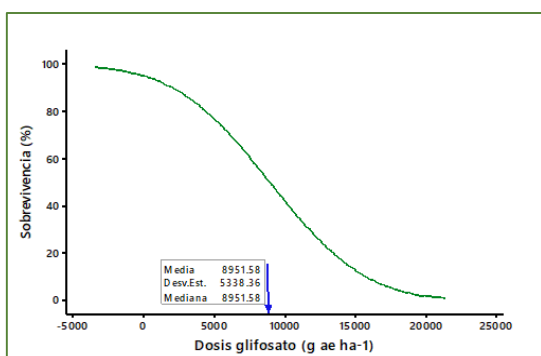


Figura 24. Dosis Letal50 con glifosato a los 10DDA en el control de *A. palmeri* de plantas de ≥ 15 hojas



Figura 25. Tratamientos con glifosato 10DDA sobre *A. palmeri* de sobre plantas de ≥ 15 hojas.

A los 21 DDA se pudo apreciar una baja eficacia de control en los tratamientos tardíos con glifosato (Figura 27; Tabla 6). El valor obtenido DL50 fue de 2419 g e.a./ha (Figura 26), aproximadamente un 90% superior al valor de DL50 del tratamiento de 4-6 hojas, 21DDA, con glifosato.

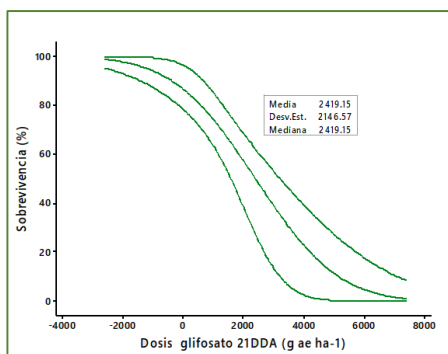


Figura 26. Dosis Letal50 en el control de *A. palmeri* de plantas de ≥ 15 hojas con glifosato, 21DDA.



Figura 27. Tratamientos de *A. palmeri* con glifosato sobre plantas de ≥ 15 hojas, 21DDA.

De acuerdo a los resultados obtenidos de peso fresco de plantas ≥ 15 hojas, a los 21 DDA (Tabla 4), fue posible encontrar diferencias estadísticas significativas de las medias de peso entre todos los tratamientos herbicidas evaluados mediante el test LSD de Fisher, mostrando una reducción a medida que se incrementaba la dosis, en comparación con el testigo.

Tabla 4. Pesos frescos de tratamientos con glifosato en plantas ≥ 15 hojas de *A. palmeri*, 21DDA.

Tratamientos	Dosis (g e.a./ha)	N	Media	Dif. Significativas
T	0	3	8,8678	A
G1	240	3	6,4610	B
G2	480	3	4,3120	C
G3	960	3	3,7000	D
G4	1920	3	2,9000	E
G5	3840	3	1,5160	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes

La variación del peso fresco en función de la dosis mediante el ajuste a modelos de regresión no lineal mostró un valor de GR50 de 511 g e.a./ha.

Tabla 5. Control (%) con glifosato sobre plantas de 4-6 hojas y ≥ 15 hojas de *A. palmeri* 10 DDA.

Tratamiento	Dosis (g e.a./ha)	% Control plantas 4-6 hojas (%)	% Control plantas ≥ 15 hojas (%)	Diferencia entre tratamientos
T	0	0,00%A	0,00%A	0,00%
G1	240	0,00%A	0,00% A	0,00%
G2	480	37,50%B	0,00% A	-37,50%
G3	960	72,92%BC	16,67% A	-56,25%
G4	1920	72,92% BC	0,00% A	-72,92%
G5	3840	75,00%C	16,67% A	-58,33%

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Tabla 6. Control (%) de los tratamientos de glifosato sobre plantas de 4-6 hojas y ≥ 15 hojas de *Amaranthus palmeri* 21 DDA.

Tratamiento	Dosis (g e.a./ha)	% Control plantas 4-6 hojas (%)	% Control plantas ≥ 15 hojas (%)	Diferencia entre tratamientos
T	0	0,00A	0,00A	0,00%
G1	240	0,00A	19,44AB	+19,44%
G2	480	43,75B	27,78B	-15,97%
G3	960	72,92B	25,00B	-47,92%
G4	1920	72,92B	35,56B	-37,36%
G5	3840	75,00B	91,67C	+16,67%

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Comparando los valores del tratamiento tardío, con los del tratamiento en 4-6 hojas, se observa un incremento de la DL50 y GR50 del 90% y 7%, respectivamente. Estos resultados permiten afirmar que a mayor tamaño de la maleza, la susceptibilidad de la misma al herbicida tiende a disminuir. Esto implicaría, a nivel práctico, un aumento en la dosis necesaria de glifosato para obtener los mismos resultados si la aplicación se realiza con un tamaño inadecuado de maleza, lo que conlleva mayores costos de aplicación. Si esta aplicación tardía se realiza en post emergencia del cultivo, también debe mencionarse el costo oculto de la competencia que tuvo *A. palmeri* hasta el momento del tratamiento herbicida, que implicará una reducción del rendimiento de esa producción, y la posibilidad de que esas plantas hayan producido simientes que contribuyan al incremento del banco de semillas del suelo.

Evaluación del nivel de resistencia directa y cruzada a herbicidas inhibidores de ALS de un biotipo de *Amaranthus palmeri* S. Watson de la región sudoeste de Córdoba, Argentina.

Los resultados obtenidos con clorimuron etil mostraron que todas las dosis evaluadas tuvieron porcentajes de control deficientes a los 21DDA (Tabla 7). En ensayos realizados por Tuesca *et al.* (2016) en la UNR, para otro biotipo de *Amaranthus palmeri* del S. de Córdoba, se observaron porcentajes aún menores con dosis más altas de clorimuron etil, siendo todos valores menores al 20%, hasta con 32 veces la dosis de uso. Gonçalves Netto *et al.* (2016), también observó baja sensibilidad, y por ende baja eficacia de control de esta especie a este herbicida, y a otros inhibidores de ALS, en Brasil.

Tabla 7. Porcentajes de control de los tratamientos de clorimuron etil sobre plantas de 4-6 hojas de *Amaranthus palmeri*, 21 DDA.

Tratamiento	Dosis (g e.a./ha)	% Control plantas 4-6 hojas (%)	Dif. Significativas
T	0	0,00	A
Cl1	3	0,00	A
Cl2	6	0,00	A
Cl3	12	18,53	AB
Cl4	24	0,00	A
Cl5	48	48,50	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes.

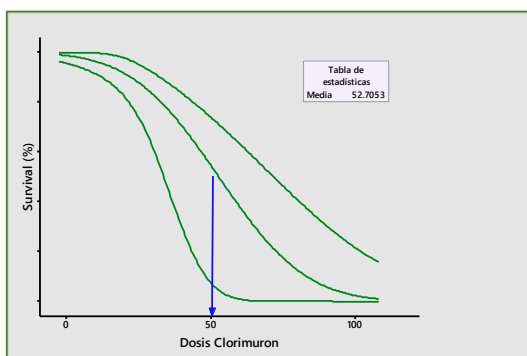


Figura 28. Dosis Letal50 en el control de *A. palmeri* con clorimuron etil, 21DDA.



Figura 29. Tratamientos de *A. palmeri* con clorimuron etil, 21DDA.

La DL50 obtenida a los 21 DDA fue de 53 g i.a./ha (Figura 28), siendo 4,4 veces la dosis comercial recomendada de uso (12 g i.a./ha; Tabla 1). Este valor es significativamente menor que el obtenido por Gonçalves Netto (2016), que estimó una DL50 de 183 g i.a./ha para un biotipo en Mato Grosso (Brasil), sospechoso de tener resistencia múltiple. La evaluación de resistencia mostró un valor de GR50 de 6,4g i.a./ha (Figura 30). El valor GR50 del biotipo sensible (Burgos *et al.*, 2001) fue de 0,4 g i.a./ha, por lo que el FR del biotipo Mackenna es de 16. En todos los casos, se puede concluir que se

trataría de biotipos resistentes a este principio activo, lo que excluiría al grupo químico de las sulfonilureas, para el control de *Amaranthus palmeri* en el sur de Córdoba.

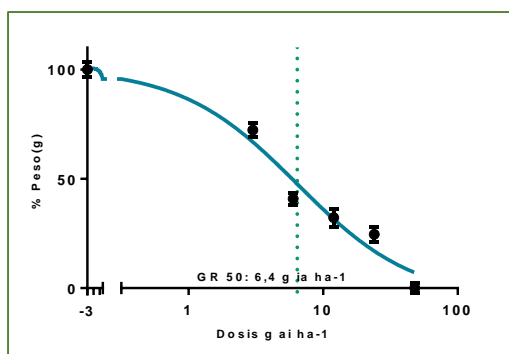


Figura 30. Reducción de Peso fresco (%)/dosis de clorimuron etil, sobre *A. palmeri*, 21 DDA.

El análisis de los resultados de la mezcla de Imazetapir+imazapir reveló que todos los tratamientos tuvieron 100% de sobrevivencia (Figura 31 y 32), evidenciando que el valor de DL50 obtenido a los 21DDA se ubica muy por encima de la máxima dosis evaluada (4x), por lo que podemos concluir que su valor será >300,3+100,1 i.a./ha (dosis ingrediente activo imazetapir+imazapir; Tabla 1). Esta respuesta coincide con lo obtenido por Tuesca *et al.* (2016) donde la sensibilidad de un biotipo del sur de Córdoba fue muy baja incluso para tratamientos con 32 veces la dosis comercial recomendada de imazetapir. Gonçalves Netto *et al.* (2016) determinó en Brasil una DL50 imazetapir de 969 g i.a./ha para el biotipo evaluado, siendo este valor 9,6 veces superior a la dosis comercial de este principio activo (100 g i.a./ha).

Los resultados obtenidos permiten deducir que no es posible lograr controles eficaces de *Amaranthus palmeri* S. Watson a campo, con la mezcla Imazetapir+Imazapir, mostrando a su vez, la ineficacia de las imidazolinonas para el control de esta maleza en el sur de Córdoba.



Figura 31. Tratamientos de *A. palmeri* con imazetapir+imazapir, 10DDA



Figura 32. Tratamientos de *A. palmeri* con imazetapir+imazapir, 21DDA.

En la evaluación del nivel de resistencia se pudo observar una reducción del peso fresco a dosis crecientes, obteniéndose un valor de GR50 de 130 g i.a./ha (Figura 33).

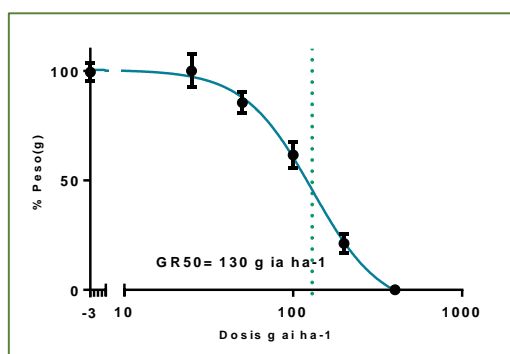


Figura 33. Reducción de Peso fresco (%) de *A. palmeri*, en función de la dosis de imzetapir+imzapir, 21DDA.

Este valor de GR50 muestra un FR= 153 comparado con el valor de GR50 del biotipo S (0.85 g i.a./ha) obtenido en ensayos con imazamox (imidazolinonas) en un biotipo confirmado sensible de México. Si calculamos el FR con un biotipo sensible a imazaquin (Burgos *et al.*, 2001), este valor es de 9,2.

Niveles de resistencia a imidazolinonas también fueron encontrados por Burgos *et al.* (2001), donde evaluaron resistencia a imazaquin de varias poblaciones de *Amaranthus palmeri*, las que mostraron valores de GR50 entre 202 g i.a./ha y 2762 g i.a./ha, dando FR (S: 14 g i.a./ha) de 14 a 197 respectivamente. Wise *et al.* (2009), obtuvo resultados similares para imzapic, con diferentes biotipos de Georgia (EE.UU.), donde los FR obtenidos (GR50 S: 0,9 g i.a./ha) variaron entre 3 a ≥ 1555 , no mostrando reducción de peso fresco significativa aún con las dosis mayores evaluadas.

Los resultados obtenidos muestran que el biotipo Mackenna presenta un nivel de resistencia medio a alto a herbicidas del grupo químico de las imidazolinonas con FR entre 9,2 a 153 y una DL50 $>300,3+100,1$ g i.a./ha, evidenciando que estas moléculas no tendrían utilidad en el control post emergente de *Amaranthus palmeri* S. Watson en el Sudoeste de Córdoba. Estos valores, junto a los de clorimuron etil, confirmarían la resistencia cruzada de esta población de *Amaranthus palmeri* S. Watson a inhibidores de ALS.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y en las condiciones en que fueron realizados los ensayos, es posible concluir que:

1. El biotipo Mackenna, en estadio fenológico de 4 a 6 hojas, presenta resistencia a glifosato con Factores de Mortalidad y de Resistencia de 68 y 11 a 30, respectivamente.
2. *Amaranthus palmeri* biotipo Mackenna en estadios fenológico tardío (≥ 15 hojas) presenta un incremento en los valores de DL50 y GR50 90% y 7%, respectivamente, en relación a los obtenidos en tratamiento tempranos (4-6 hojas).
3. *Amaranthus palmeri* biotipo Mackenna evidencia resistencia cruzada a inhibidores de ALS con valores de FR y DL50 a imazetapir+imazapir (imidazolinonas) y clorimuron etil (sulfonilureas) de 9 a 153 y $>300,3+100,1$ i.a./ha y 16 y 53 g i.a./ha, respectivamente.
4. El biotipo de *Amaranthus palmeri* Mackenna presenta resistencia múltiple a Inhibidores de ALS y a glifosato.
5. Las características bioecológicas de *Amaranthus palmeri* junto al modelo productivo predominante en el sistema agrícola argentino (paquete tecnológico siembra directa-soja-grupos de herbicidas más utilizados), tornan altamente peligrosa la ocurrencia de selección y dispersión de biotipos resistentes a herbicidas en las principales regiones agrícolas de Argentina.
6. Es necesario conocer la bioecología de *Amaranthus palmeri*, para así realizar un manejo eficiente de la maleza, y así reducir su dispersión y la generación de biotipos resistentes a herbicidas en las principales regiones agrícolas de Argentina.

Estrategias de Manejo Integral de *Amaranthus palmeri* en Córdoba.

El manejo de *A. palmeri* en los sistemas agrícolas es muy complejo. Es importante considerar la biología y ecología de la especie, y las características agro-edafo-climáticas de cada región, para poder discernir entre las diferentes alternativas de control de esta maleza. Actualmente no se puede abordar la problemática de malezas con medidas o estrategias aisladas, sino que deben enmarcarse dentro de un conjunto de técnicas que permitan prevenir y contener la aparición de las mismas y no pensar solamente en su eliminación en el corto plazo (REM AAPRESID, 2015).

Un programa de manejo integrado de malezas debe incluir un frecuente y prolijo monitoreo, una precisa identificación de las malezas en estadios tempranos y la implementación de prácticas complementarias a las químicas (Tuesca *et al.*, 2016).

Una vez que *Amaranthus palmeri* ha sido correctamente identificado en el lote, el siguiente paso es desarrollar un plan de manejo proactivo. Los objetivos de este plan deberían apuntar a reducir la competencia temprana con los cultivos, prevenir la producción de semillas y evitar la dispersión de la maleza hacia otras áreas (Legleiter, 2013).

En el contexto actual del sistema agrícola argentino, las poblaciones de esta maleza deberían ser tratadas como resistentes a glifosato y a herbicidas inhibidores de ALS ya que no hay lugar para prueba-error y la subsiguiente corrección. Esto es así debido a que, por la existencia de biotipos con diferentes niveles resistencia, en el intervalo que media entre probar y adquirir conciencia de que se está frente a una maleza resistente se pierde la oportunidad del tratamiento químico eficaz (Tuesca *et al.*, 2016).

Debido a la complejidad y ventajas competitivas de *A. palmeri*, es necesario considerar la complementación o integración de diferentes métodos de control para un manejo eficaz de esta especie:

Prácticas Culturales:

- **Rotación de cultivos:** El suelo debe estar siempre ocupado, hasta donde el ambiente se lo permita. Un barbecho largo es inapropiado para cualquier especie de maleza, al dejarle todos los recursos disponibles (agua, luz, nutrientes). Es necesario un mayor tiempo de ocupación del lote (REM AAPRESID, 2017). Además, permite la rotación de herbicidas con diferentes mecanismos de acción (Tuesca *et al.*, 2016).
- **Cultivos de cobertura:** contribuyen a suprimir las emergencias de *A. palmeri* de manera significativa al disminuir la temperatura y la alternancia térmica como así también la cantidad de luz que llega al suelo (Tuesca *et al.*, 2016).
- **Implementación de arreglos espaciales competitivos:** espaciamientos estrechos y selección de cultivares con mayor aptitud competitiva (Tuesca *et al.*, 2016).

- **Prácticas de prevención:**
 - **Monitoreo y control de áreas sin cultivos (caminos, bordes, etc.):** Aunque las malezas presentes no compiten con los cultivos, pueden favorecer la dispersión hacia otras áreas por medio de polen y semillas (Legleither, 2013).
 - **Utilizar semillas de cultivos libre de semillas de malezas.**
 - **No cosechar “manchones” con alta infestación o dejarlos para el final:** Al presentar semillas muy pequeñas, *Amaranthus palmeri* se dispersa y propaga rápidamente, especialmente en la maquinaria. La acción de las cosechadoras contribuyen a su diseminación en los lotes, por lo que en aquellos sectores del cultivo donde la presencia y densidad de esta maleza es muy alta, se deberá dejar la recolección para el final (Legleither, 2013).
 - **Limpieza de cosechadoras y otras maquinarias:** Tiene como objetivo eliminar el 100% de las semillas de malezas antes de ingresar a un nuevo lote. Esto debería realizarse cuando se sale de un lote, y antes de ingresar a otro, en un área apartada, donde los residuos con simientes no generen nuevos problemas, y puedan recolectarse y destruirse (Lanfranconi, 2013).
- **Control mecánico/manual:**
 - **Labranzas profundas (con inversión del pan de tierra):** Permite reducir la cantidad de semillas capaces de germinar de los primeros centímetros del suelo (Legleither, 2013). Deberá tenerse en consideración los potenciales problemas de erosión que pueden ocasionarse, por el uso de estas prácticas.
 - **Remoción manual de las plantas en el lote:** Es muy importante para eliminar posibles escapes que contribuyen a la re infestación del lote. Si es posible, las plantas de la maleza deben ser retiradas y destruidas, ya que en numerosas oportunidades si se las deja sobre el suelo pueden re-establecerse y producir semillas viables (Tuesca *et al.*, 2016).
- **Control Químico:** Actualmente existen herbicidas alternativos al glifosato y los inhibidores de ALS que proveen un control adecuado de *Amaranthus palmeri* en soja, y maíz. Es de suma importancia la oportuna detección de la maleza y el conocimiento de los productos a utilizar, para que los tratamientos de control sean eficaces.
 - **Empezar con un lote limpio:** Es imprescindible comenzar el cultivo sin presencia de malezas (Legleither, 2013). Las prácticas tendientes a esto deberían comenzar luego de la cosecha del cultivo anterior, ya que es posible encontrar nacimientos de plantas hacia el final del verano y comienzo del otoño, capaces de producir semillas viables para la próxima campaña (Tuesca *et al.*, 2016).
 - **Uso de herbicidas residuales:** Controlan *A. palmeri* en preemergencia y reducen sustancialmente el número de plantas que pueden requerir una aplicación de un

herbicida postemergente (Legleiter, 2013). Debido al rápido crecimiento de esta especie, los herbicidas preemergentes son esenciales para un manejo eficaz (Hartzler, 2014). En las Tablas 8 y 9 (ANEXO) se pueden observar los herbicidas de pre-siembra y preemergencia recomendados para maíz y soja, respectivamente. Las combinaciones de esos principios activos con diferentes mecanismos de acción o la aplicación secuencial de los mismos dentro de un breve intervalo de tiempo, (“overlapping”) permite una mayor eficiencia de control y extender el periodo de protección. Esta técnica posibilita prevenir la evolución de resistencia y aumentar la sustentabilidad de los sistemas productivos (Tuesca *et al.* 2016).

- **Aplicaciones oportunas en postemergencia:** son complementarias de las prácticas culturales y de los tratamientos residuales (Tuesca *et al.*, 2016). El momento de la aplicación es clave para obtener un control eficaz con esos productos, ya que cuando estas se realizan sobre plantas mayores a 10 cm, se reduce la efectividad de los herbicidas (Legleiter, 2013). Otra condición para el uso de estos herbicidas es que, en el caso de los que poseen acción de contacto, requieren una buena calidad de aplicación. En maíz, además, es posible utilizar herbicidas hormonales e inhibidores de HPPD (Tabla 10, ANEXO), siempre y cuando el tamaño de las malezas sea pequeño. En soja solo se pueden utilizar algunos hormonales y productos inhibidores de PPO, principalmente del grupo de los difeniléteres (Tabla 11, ANEXO); estos últimos, en algunas circunstancias, generan fitotoxicidad en el cultivo, generalmente sin impacto sobre el rendimiento final. En estos tratamientos puede ser necesario agregar herbicidas residuales en conjunto con los postemergentes (con modos de acción diferente), para controlar nacimientos tardíos de *A. palmeri*, que no impactarán sobre el rendimiento del cultivo actual, pero incrementarán el banco de semillas del suelo (Hartzler, 2014).
- **Aplicación de biotecnología:**
 - **Cultivos resistentes a herbicidas:** Algunas empresas han presentado opciones de cultivos genéticamente modificados con resistencia a distintos herbicidas. Los principales avances en este sentido corresponden a los sistemas Enlist (Dow Agrosiences) y Xtend (Monsanto) en maíz, algodón y soja. El sistema Enlist permitirá tolerar aplicaciones de 2,4-D, glifosato y glufosinato de amonio y en maíz a los graminícidas del grupo de los ariloxifenoxi-propionato (Fops). Por su parte, el sistema Xtend incluye a cultivares de soja, algodón y maíz con rasgos que les permiten tolerar aplicaciones de glifosato y dicamba. Otras tecnologías incluyen cultivos de maíz y soja tolerante a glufosinato de amonio (Liberty Link), y variedades de soja tolerantes a mesotrione, glufosinato de amonio e isoxaflutole (tecnología MGI) (Tuesca *et al.*, 2016).

CONSIDERACIONES FINALES

El manejo de malezas tolerantes y resistentes constituye actualmente una de las mayores problemáticas que afectan los sistemas productivos del país. Las pérdidas que producen estos biotipos pueden ser considerables si no se realiza un manejo correcto y oportuno. Además de lo anteriormente citado, debe agregarse el incremento en los costos de control que ha generado la presencia de estas especies con resistencia a herbicidas, por el desconocimiento de las mismas y la sobreestimación de unos pocos productos con el mismo modo de acción. En este contexto, resulta crucial el rol de los ingenieros agrónomos para el desarrollo e implementación de un manejo eficiente y sustentable de esta problemática en los sistemas de producción agrícolas. Este manejo deberá estar asociado a una actitud proactiva y realizada dentro una planificación estratégica adecuada de los agrosistemas. El uso de las buenas prácticas agropecuarias (BPA), y los programas manejo integrado de malezas serán algunas de las herramientas necesarias para lograr este objetivo.

Es necesario adquirir conciencia entre los diferentes actores constituyentes del sistema productivo, sobre la gravedad de la aparición y dispersión de biotipos resistentes de malezas. Los ingenieros agrónomos deben ser parte activa de esta extensión de conocimientos hacia todos los actores de la sociedad, y además, incentivar y ser partícipes de la investigación relacionada a esta problemática. Con esta actitud proactiva será posible desarrollar nuevas estrategias, en base a nuevos conocimientos sobre las mismas, que contribuirán a disminuir y detener la expansión de esta plaga en los sistemas de producción agrícolas del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMA ARGENTINA.** 2017. <https://www.malezacero.com.ar/en-totoras-se-habla-de-amaranthus-palmeri/> . Visitado el 11 de mayo de 2017.
- Balzarini M. G.; González, L.; Tablada, M.; Casanoves, F.; Di Rienzo, J. A.; Robledo, C. W.** 2008. Infostat. Manual Del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Burgos, N. R.; Kuk, Y. I.; Talbert, R. E.** 2001. *Amaranthus palmeri* resistance and differential tolerance of *Amaranthus palmeri* and *Amaranthus hybridus* to ALS-inhibitor herbicides. Pest Manag. Sci. 57:449–457.
- Bracamonte, E.; Fernández-Moreno, P.T.; Barro, F.; De Prado, R.** 2016. Glyphosate-resistant *Parthenium hysterophorus* in the Caribbean islands: non target site resistance and target site resistance in relation to resistance levels. Front. Plant Sci. 7:1845. doi: 10.3389/fpls.2016.01845.
- Carvalho, S. J. P.; Gonçalves Netto, A.; Nicolai, M.; Cavenaghi, A. L.; López-Ovejero, R. F.; Christoffoleti, P. J.** 2015. Detection of glyphosate-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in agricultural areas of Mato Grosso, Brazil. Planta Daninha. 33:579-86.
- Chahal, P. S.; Aulakh, J. S.; Jugulum, M.; Jhala, A. J.** 2015. Herbicide-Resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats.) in the United States—Mechanisms of Resistance, Impact, and Management. In A. Price (Ed.), Herbicides, Agronomic crops, and Weed Biology pp. 11-17.
- Chahal, P. S.; Varanasi, V. K.; Jugulam, M.; Jhala, A. M.** 2017. Glyphosate-Resistant Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Nebraska: Confirmation, EPSPS Gene Amplification, and Response to POST Corn and Soybean Herbicides. Weed Tech. 31:80–93.
- Covas, G.** 1984. Las especies de *Amaranthus* L., Amaranthaceae, nativas o naturalizadas en la Provincia de La Pampa. Apuntes Fl. Pampa. 84-86: 333-341.
- Culpepper, A. S.; Grey, T. L.; Vencill, W. K.; Kichler, J. M.; Webster, T. M.; Brown, S. M.; York, A. C.; Davis, J. W.; Hanna, W. W.** 2006. Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. WeedSci. 54:620–626.
- Di Rienzo J. A.; Casanoves F.; Balzarini M. G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo, C. W.** InfoStat versión 2015. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Ehleringer, J.** 1983. Ecophysiology of *Amaranthus palmeri*, a Sonoran Desert summer annual. Oecologia 57:107–112.
- Ehleringer, J.** 1985. Annuals and perennials of warm deserts. Pages 162–180 in B. F. Chabot and H. A. Mooney, eds. Physiological Ecology of North American Plant Communities. New York: Chapman and Hall.
- Faccini, D.; Puricelli, E.** 2007. Efficacy of herbicide, dose and plant stage on weeds present in fallow. Agriscientia, v. XXIV, n.1, p. 29-35.
- Gaines, T. A.; Shaner, D. L.; Ward, S. M.; Leach, J. E.; Westra, P.** 2011. Mechanism of resistance of evolved glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). J. Agricult. Sci. Food Chem. 59:5886–5889.

- Gaines, T. A.; Ward, S. M.; Bekun, B.; Preston, C.; Leach, J. E.; Westra, P.** 2012. Interspecific hybridization transfers a previously unknown glyphosate resistance mechanism in *Amaranthus* species. *Evol. Applic.* 5:29–38.
- Gaines, T. A.; Zhang, W.; Wang, D.; Bukun, B.; Chisholm, S. T.; Shaner, D. L.; Nissen, S. J.; Patzoldt, W. L.; Tranel, P. J.; Culpepper, A. S.; Grey, T. L.; Webster, T. M.; Vencill, W. K.; Sammons, R. D.; Jiang, J. M.; Preston, C.; Leach, J. E.; Westra, P.** 2010. Gene amplification confers glyphosate resistance in *Amaranthus palmeri*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107:1029–1034.
- Gonçalves Netto, A.; Nicolai, M.; Carvalho, S. J. P.; Borgato, E. A.; Christoffoletti, P. J.** 2016. Multiple resistance of *Amaranthus palmeri* to ALS and EPSPS inhibiting herbicides in the state of Mato Grosso, Brazil. *Planta Daninha*, 34(3), 581-587.
- Hartzler, B.** 2014. Palmer amaranth: ID, biology and management. Iowa State University. Disponible en: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/2014/Palmer%20amaranthICMv2.0.pdf>
- Heap, I.** **The International Survey of Herbicide Resistant Weeds.** Online. Internet. Saturday, May 13, 2017. Disponible en: www.weedscience.org
- Horak, M. J.; Loughin, T. M.** 2000. Growth analysis of four *Amaranthus* species. *Weed Sci.* 48:347-355.
- Keeley, P. E.; Carter, C. H.; Thullen, R. J.** 1987. Influence of planting date on growth of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Weed Sci.* 35:199–204.
- Kohrt, J. R.; Sprague, C. L.; Nadakuduti, S. S.; Douches, D.** 2017. Confirmation of a Three-Way (Glyphosate, ALS, and Atrazine) Herbicide-Resistant Population of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Michigan. *Weed Sci.* 65:327–338.
- Labrada, R.; Parker, C.** 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. FAO.
- Legleiter, T.; Johnson, B.** 2013. Palmer Amaranth Biology, Identification and Management. Purdue Extension. Disponible en: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ws/ws-51-w.pdf>
- Lovell, S. T.; Wax, L. M.; Horak, M. J.; Peterson, D. E.** 1996. Imidazolinone and sulfonylurea resistance in a biotype of common waterhemp (*Amaranthus rudis*). *Weed Science*, Champaign, v. 44, n. 4, p. 789-794.
- Mohseni-Moghadam, M.; Schroeder, J.; Heerema, R.** 2013. Resistance to glyphosate in Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations from New Mexico pecan orchards. *Weed Technol.* 27:85-91.
- Montoya, J. C.; Garay, J. A.; Cervellini, J. M.** 2015, *Amarantáceas en la Región Semiárida Central Argentina: La Pampa y San Luis.* EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, Ediciones INTA, ISBN: 0325-2167.
- Morichetti, S.; Cantero, J. J.; Nunez, C.; Barboza, G.; Espinar, L.; Amuchastegui, A.; Ferrell, J.** 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae). *Bol Soc Argent Bot* 48:347–354.

- Nandula, V. K.; Wright, A. A.; Bond, J. A.; Ray, J. D.; Eubank, T. W.; Molin, W. T.** 2014, EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): a case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Pest. Manag. Sci.*, 70: 1902–1909.
- Papa, J. C.** 2009. Problemas actuales de malezas que pueden afectar al cultivo de soja. Soja - Para mejorar la producción, INTA EEA Oliveros 2009, 42, 97-105.
- Papa, J. C.; Tuesca, D.** 2013 Los problemas actuales de malezas en la región sojera núcleo argentina. origen y alternativas de manejo. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/los-problemasactuales-de-malezas-en-la-region-sojera-nucleo-argentina-origen-y-alternativas-de-manejo/>
- Powles, S. B.** 2010. Gene amplification delivers glyphosate-resistant weed evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107:955–956.
- Rainero, H. P.** 2008. Problemática del manejo de malezas en sistemas productivos actuales. Boletín de divulgación técnica N°3. INTA. EEA Manfredi. 20 p.
- REM AAPRESID.** 2015. Yuyos Colorados resistentes. Herbicidas disponibles y manejo complementario. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem/wp-content/uploads/sites/3/2015/10/Herbicidas-Amaranthus-actualizacion-10-15.pdf>
- REM AAPRESID.** 2016. Mapas por malezas acumuladas. Disponible en: <http://www.aapresid.org.ar/rem/mapas-rem/>. Consultada el 4 de octubre de 2016.
- REM AAPRESID.** 2017. <http://www.aapresid.org.ar/rem/>
- Saari, L. L.; Cotterman, J. C.; Thill, D. C.** 1994. Resistance to acetolactate synthase inhibiting herbicides. In: **Powles, S. B.; Holtum, J. A. M.** (Ed.). *Herbicide resistance in plants: biology and biochemistry*. Boca Raton: Lewis. p. 83-139.
- Salas, R. A.; Burgos, N. R.; Tranel, P. J.; Singh, S.; Glasgow, L.; Scott, R. C.; Nichols, R. L.** 2016. Resistance to PPO-inhibiting herbicide in Palmer amaranth from Arkansas. *Pest. Manag. Sci.*, 72: 864–869.
- Seefeldt, S.S.; Jensen, S.E.; Fuerst, E.P.** 1995. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationship. *Weed Technology*, v.9, p.218-227, 1995.
- Sellers, B. A.; Smeda R. J.; Johnson, W. G.; Kendig, J. A.; Ellersieck, M. R.** 2003. Comparative growth of six *Amaranthus* species in Missouri. *Weed Sci.* 51:329-333
- Sosnoskie, L. M.; Kichler, J. M.; Wallace, R. D.; Culpepper, A. S.** 2011a. Multiple resistance in Palmer Amaranth to glyphosate and pyriithiobac confirmed in Georgia. *Weed Sci.* 59:321–325.
- Sosnoskie, L. M.; Webster, T. M.; Culpepper, A. S.; Kichler, J.** 2011b. The biology and Ecology of Palmer Amaranth. Implications for control. UGA Extension. http://extension.uga.edu/publications/files/pdf/C%201000_2.PDF
- Sosnoskie, L. M.; Webster, T. M.; Culpepper A. S.** 2013. Glyphosate resistance does not affect Palmer amaranth seedbank longevity. *Weed Sci.* 61:283-288

- Steckel, L. E.; Sprague, C. L.; Stoller, E. W.; Wax, L. M.** 2004. Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Sci.* 52:217-221.
- Steckel, L. E.; Main, C. L.; Ellis, A. T.; Mueller, T. C.** 2008. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats) in Tennessee has Low Level Glyphosate Resistance. *Weed Technol.* 22:119-123.
- Steinmaus, S. J.; Prather, T. S.; Holt, J. S.** 2000. Estimation of base temperature for nine weed species. *Journal of Experimental Botany*; 51:275–286.
- Streibig, J. C.; Rudemo, M.; Jensen, J. E.** 1993. Dose-response curves and statistical models. In: **Streibig, J. C.; Kudsk, P.** (Ed.) *Herbicide bioassay*. Boca Raton: CRC Press, 1993. P.30-35.
- Thinglum, K. A.; Riggins, C. W.; Davis, A. S.; Bradley, K. W.; Al-Khatib, K.; Tranel, P. J.** 2011. Wide distribution of the waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) Δ G210 PPX2 mutation, which confers resistance to PPO-inhibiting herbicides. *Weed Sci* 59:22–27.
- Thompson, C. R.; Peterson, D.; Lally, N. G.** 2012. Characterization of HPPD resistant Palmer amaranth. <http://wssaabstracts.com/public/9/abstract-413.html>. Visitado el 17 de junio de 2017.
- Tranel, P. J.; Wright, T. R.** 2002. Resistance of weeds to ALS-inhibiting herbicides: what have we learned? *Weed Sci.* 50:700–712.
- Trucco, F.; Zheng, D.; Woodyard, A. J.; Walter, J. R.; Tatum, T. C.; Rayburn, A. L.; Tranel, P. J.** 2007. Nonhybrid progeny from crosses of dioecious *Amaranthus*: implications for gene-flow research. *Weed Sci.* 55:119–122.
- Tuesca, D.; Papa, J. C.; Morichetti, S.** 2016. Manejo de malezas problema. *Amaranthus palmeri* (S.) Watson. Bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM – AAPRESID.
- Ustarroz, D.** 2013. Problemas de malezas derivados de la producción actual de cultivos con un intenso uso del herbicida glifosato. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_problemas_de_malezas_derivados_de_la_produccion_a.pdf
- Ward, S. M.; Webster, T. M.; Steckel, L. E.** 2013. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*): A Review. *Weed Tech.* 27: 12-27.
- Wetzel, D.K.; Horak, M. J.; Skinner, D. Z.; Kulakow, P. A.** 1999. Transferal of herbicide resistance traits from *Amaranthus palmeri* to *Amaranthus rudis*. *Weed Sci.*47:538–543.
- Whitaker, J. R.; Burton, J. D.; York, A. C.; Jordan, D. L.; Chandi, A.** 2013. Physiology of glyphosate-resistant and glyphosate-susceptible palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) biotypes collected from North Carolina. *Int. J. Agron.* 429294,1–6.
- Wise, A. M.; Grey, T. L.; Prostko, E. P.; Vencill, W. K.; Webster, T. M.** 2009. Establishing the geographic distribution level of acetolactate synthase resistance of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) accessions in Georgia. *Weed Technol.* 23:214–220.

ANEXO

Tabla 8: Herbicidas de pre-siembra y preemergencia para maíz, para el control de *A. palmeri* (Tuesca, 2016)

Principio activo	Modo de acción
Atrazina	Inhib. fotosíntesis (PSII)
Diuron	Inhib. fotosíntesis (PSII)
Flumioxazin	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Pendimetalin	Inhib. síntesis microtubulos
Cloroacetamidas	Inhib de síntesis AGCL
Isoxaflutole	Inhib. de síntesis carotenoides
Biciclopirone	Inhib. de síntesis carotenoides
Diflufenican	Inhib. de síntesis carotenoides

Tabla 9: Herbicidas de pre-siembra y preemergencia para soja, para el control de *A. palmeri* (Tuesca, 2016)

Principio activo	Modo de acción
Metribuzin	Inhib. fotosíntesis (PSII)
Linuron	Inhib. fotosíntesis (PSII)
Fomesafen	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Flumioxazin	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Sulfentrazone	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Saflufenacil	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Diflufenican	Inhib. de síntesis carotenoides
Clomazone	Inhib. de síntesis carotenoides
Cloroacetamidas	Inhib de síntesis AGCL

Tabla 10: Herbicidas de postemergencia de la maleza y el cultivo, en maíz, para el control de *A. palmeri* (Tuesca *et al.*, 2016)

Principio activo	Modo de acción
Atrazina	Inhib. fotosíntesis (PSII)
2,4-D	Reguladores de Crecimiento
MCPA	Reguladores de Crecimiento
Dicamba	Reguladores de Crecimiento
Picloram	Reguladores de Crecimiento
Topramezone	Inhib. de síntesis carotenoides
Mesotrione	Inhib. de síntesis carotenoides
Glufosinato de amonio	Inhib de síntesis AA (GS)

Tabla 11: Herbicidas de postemergencia de la maleza y el cultivo, en soja, para el control de *A. palmeri* (Tuesca, *et al.*, 2016)

Principio activo	Modo de acción
Lactofen	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Fomesafen	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Fluoroglicofen	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Flumiclorac-pentil	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Acifluorfen	Inhib. síntesis clorofila (PPO)
Benazolin	Reguladores de Crecimiento
2,4-DB	Reguladores de Crecimiento