

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL QUÍMICO DE  
*AMARANTHUS PALMERI* S. WATS EN PRE EMERGENCIA DE SOJA

por

Emiliano ALVAREZ LUZARDO  
Juan DE VRIES CARLOTTA  
Agustín GABRIEL LONG

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el título  
de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017

Tesis aprobada por:

Director:

-----

Ing. Agr. (PhD.) Amalia Belgeri

-----

Ing. Agr. (Dr. Sc.) Grisel Fernández

-----

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

-----

Ing. Agr. (Dra.) Amalia Ríos

Fecha:

5 de enero de 2017

Autores:

-----

Emiliano Alvarez Luzardo

-----

Juan de Vries Carlotta

-----

Agustín Gabriel Long

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestra tutora, Amalia, quien nos ayudó en todo momento y dedicó su tiempo para que pudiéramos culminar todas las etapas del presente trabajo.

Al equipo de Agroterra S.A. por facilitarnos sus instalaciones, equipos, materiales y proporcionar las chacras comerciales donde se realizaron los ensayos.

Por último queremos especialmente agradecer a nuestras familias por su apoyo a lo largo de toda nuestra carrera.

¡Muchas gracias!

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. LA SIEMBRA DIRECTA .....	3
2.2. EL GLIFOSATO.....	6
2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS PRE EMERGENTES .....	7
2.4. RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS .....	9
2.5. FACTORES QUE DETERMINAN EL RIESGO DE EVOLUCIÓN A RESISTENCIA.....	11
2.6. PREVENCIÓN DE LA EVOLUCIÓN A RESISTENCIA .....	16
2.7. MANEJO DE POBLACIONES DE MALEZAS RESISTENTES.....	17
2.8. GÉNERO <i>AMARANTHUS</i> .....	18
2.8.1. <u><i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats: biología, distribución, orígenes</u> .....	18
2.8.2. <u>Interferencia de <i>Amaranthus spp.</i> en soja</u> .....	24
2.8.3. <u>Resistencia de <i>A. palmeri</i> a herbicidas</u> .....	24
2.8.4. <u>Alternativas de control de <i>A. palmeri</i></u> .....	26
2.8.4.1. Prevención .....	26
2.8.4.2. Control cultural .....	27
2.8.4.3. Control químico .....	28
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	30
3.1. LOCALIZACIÓN .....	30
3.2 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	33
3.2 DETERMINACIONES.....	35

3.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	39
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	40
4.1 SITIO 1. FITOTOXICIDAD EN SOJA .....	40
4.2 SITIO 2. CONTROL DE <i>A. PALMERI</i> .....	45
4.3. SITIO 3. FITOTOXICIDAD EN SOJA .....	52
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	59
5.1. SITIO 1 .....	59
5.2. SITIO 2 .....	59
5.3. SITIO 3 .....	60
6. <u>RESUMEN</u> .....	61
7. <u>SUMMARY</u> .....	62
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	63
9. <u>ANEXOS</u> .....	73

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características fisicoquímicas de los herbicidas pre emergentes utilizados ...	9
2. Primeros casos reportados de biotipos de <i>A. palmeri</i> resistentes.....	25
3. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 1 .....	31
4. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 2 .....	32
5. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 3 .....	33
6. Tratamientos experimentales.....	34
7. Variables ambientales al momento de aplicación .....	35
8. Biomasa aérea de rastrojo en los diferentes sitios al momento de la aplicación.....	35
9. Especies de malezas presentes en los diferentes sitios al momento de la aplicación.....	36
10. Biomasa (g) de 5 plantas de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 75 DPA.....	44
11. Biomasa (g) de 5 plantas de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 75 DPA.....	56
Figura No.	
1. Estructura molecular de N-fosfometil glicina.....	6
2. Número de especies resistentes a distintos sitios de acción .....	11
3. Incremento mundial de individuos resistentes a herbicidas .....	15
4. Patrón de crecimiento del meristema apical de <i>Amaranthus palmeri</i> S. <i>Wats</i> .....	19
5. Detalle de la especie mostrando el pecíolo de mayor longitud que la lámina .....	20
6. Detalle del mucrón en la punta de las hojas en una plántula de <i>Amaranthus palmeri</i> S. <i>Wats</i> ; hojas lisas con nervaduras superficiales .....	20
7. Semillas de <i>Amaranthus palmeri</i> S. <i>Wats</i> .....	22
8. Estructura de planta florecida de <i>Amaranthus palmeri</i> S. <i>Wats</i> en Uruguay. 23	
9. Inflorescencia masculina (izquierda) e inflorescencia femenina (derecha) de <i>Amaranthus palmeri</i> S. <i>Wats</i> .....	23
10. Localización de los sitios donde se instalaron los experimentos .....	30

11. Grilla de 0.5 m <sup>2</sup> para conteo de emergencias de <i>Amaranthus palmeri</i> S. Wats .....	38
12. Implantación del cultivo de soja (pl./m) para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes 15 y 30 DPA .....	40
13. Altura (cm) del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 30, 45 y 60 DPA .....	41
14. Distancia entre nudos (cm) en el cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA.....	42
15. Desarrollo del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA .....	43
16. No. de granos y vainas por planta de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 160 DPA.....	45
17. Emergencias (pl./m <sup>2</sup> ) de <i>Amaranthus palmeri</i> para las diferentes fechas de evaluación y su acumulado en el período evaluado .....	46
18. Control (%) de <i>Amaranthus palmeri</i> para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 15, 30, 45 y 60 DPA .....	48
19. Tratamiento 9 (izquierda) y testigo enmalezado (derecha) a los 45 DPA ...	49
20. Número de vainas y granos por planta de soja para 12 tratamientos de herbicida pre emergentes a los 170 DPA .....	50
21. Rendimiento (kg/ha) y peso de mil granos (g) de soja para 12 tratamientos de herbicida pre emergentes a los 170 DPA.....	51
22. Implantación del cultivo de soja (pl./m) para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes 15 y 30 DPA .....	52
23. Altura (cm) del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA .....	53
24. Distancia entre nudos (cm) en el cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA.....	54
25. Desarrollo del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA .....	55
26. No. de granos y vainas por planta de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 170 DPA.....	57
27. Rendimiento (kg/ha) y peso de mil granos (g) de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 170 DPA .....	57

## 1. INTRODUCCIÓN

Consecuencia del uso masivo de herbicidas para el control de malezas en cultivos y probablemente junto a inadecuadas aplicaciones, algunas de ellas han logrado evolucionar resistencia a los distintos modos de acción de estos agroquímicos. Ante la presión de selección impuesta por esta masiva utilización, fueron desarrollándose biotipos que sobreviven a las dosis normales de recomendación. El fenómeno de resistencia en malezas genera en la actualidad grandes pérdidas de productividad en el mundo y la región, elevando no solamente elevando los costos de producción sino también obligando a técnicos y productores a mantenerse permanentemente actualizados en cuanto a su manejo.

En Uruguay, la expansión de la agricultura en los últimos años en su mayoría en siembra directa (de un área sembrada de cultivos de verano de secano en 2007 de 500.000 há. a 1.558.000 há. actualmente; MGAP. DIEA, 2007, 2015) y la utilización de cultivos transgénicos resistentes a glifosato ha determinado la aplicación de este herbicida en forma reiterada en las chacras ejerciendo una mayor presión de selección en aquellas especies tolerantes; generando primero un cambio en la comunidad de malezas (Belgeri y Caulín 2008, Mailhos y San Román 2008) y posteriormente la posible evolución hacia biotipos resistentes. El problema se ha agravado no solo por el incremento de estas especies ya existentes en la región, sino que además han aparecido nuevas especies de malezas probablemente ingresadas junto con la importación de semillas y maquinaria agrícola, las cuales ya traen consigo resistencia a herbicidas de su país de origen. Un ejemplo reciente es la especie *Amaranthus palmeri* S. Wats.

Se trata de una especie nativa del centro de los Estados Unidos y norte de Méjico, que ha generado en Estados Unidos y otros países resistencia a glifosato, inhibidores de la síntesis de ALS, así como resistencia múltiple a ambos modos de acción. Sumado a esto se encuentran biotipos resistentes a inhibidores del fotosistema II (atrazina y metribuzin), inhibidores de la enzima PPO (ejemplo, fomesafén, lactofén y sulfentrazone); trifuralinas y HPPD (Montoya et al., 2015). Recientemente detectada su presencia en algunas chacras de Uruguay, posiblemente ingresando junto a semillas y/o maquinaria importada y muy probablemente ya en forma de biotipo resistente, se vuelve una gran amenaza para los sistemas nacionales de producción agrícola, ya que es considerada una de las 10 peores malezas resistentes a herbicidas en el mundo (Valverde y Heap, 2010).

Dentro de este contexto, el objetivo principal de éste trabajo fue evaluar las estrategias químicas pre emergentes para el control y manejo de *Amaranthus spp.* en el cultivo de soja. Mientras que como objetivos secundarios

plantean evaluar el comportamiento de los distintos herbicidas para la variable fitotoxicidad en el cultivo de soja; y la caracterización del patrón de emergencias de *Amaranthus spp.*

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. LA SIEMBRA DIRECTA

Según el Conservation Technology Information Center de los EEUU, citado por García Préchac (1998), la siembra directa se define como el sistema de siembra donde la preparación del suelo y el control de la vegetación se realizan con un mínimo disturbio, ubicando las semillas en una muy angosta cama de siembra o surco, dependiendo del uso de herbicidas para el control de las malezas; dejando el suelo intacto desde la cosecha hasta una nueva siembra, generándose una cobertura con los residuos de los cultivos anteriores. Características de ésta tecnología, son la maquinaria de siembra directa, junto con los barbechos químicos por medio de los herbicidas, usados como pre emergentes y post emergentes de malezas. Esta tecnología permite tener el suelo cubierto durante la fase sin cultivo de la rotación mediante rastrojos, lo cual minimiza la erosión del suelo, y produce un efecto similar a la rugosidad que presenta el suelo arado, para controlar la entrada de agua.

La tecnología de siembra directa presenta ventajas y desventajas (García Préchac, 1998) algunas de las cuales se citan a continuación:

- Control de la erosión y reducción de la degradación del suelo: el mantenimiento de la cobertura del suelo mediante rastrojos disminuye el escurrimiento superficial, principal responsable de la pérdida de las fracciones más fértiles del suelo. El no laboreo del suelo evita la oxidación de la materia orgánica manteniendo así las propiedades fisicoquímicas del mismo.
- Mayor contenido de agua en el suelo: al disminuir el escurrimiento superficial aumenta la infiltración y al reducirse las pérdidas por evaporación debido a la presencia de rastrojos en superficie ocurre una mayor conservación del agua.
- Mayor cantidad de días aptos para realizar tareas ("ventanas"): el hecho de no remover la superficie del suelo genera un mejor "piso", lo que da mayor oportunidad de siembras, cosechas o pastoreos.
- Menor cantidad de energía requerida: existe un menor consumo de combustibles asociado al menor número de pasadas al dejar de realizar el laboreo primario y secundario. Además se utiliza menor mano de obra. Dejan de ser necesarias las máquinas de laboreo y se pasa a requerir mucho menos potencia para impulsar las que se usan en siembra directa.

- Mantenimiento y promoción del equilibrio de la flora microbiana y fauna del suelo: la ausencia de disturbios en el suelo fomenta la estabilización de la actividad biológica.
- Expansión de la frontera agrícola: pasa a ser apta la siembra en zonas donde antes por problemas de erosión, drenaje o profundidad del perfil no era posible la instalación de cultivos.
- Dependencia del uso de herbicidas: la necesidad de utilización de agroquímicos como único medio para el control de la vegetación, con un único principio activo, genera una mayor presión de selección sobre las poblaciones de malezas. Estos procesos pueden generar cambios en la flora y eventual aparición de resistencia, lo que implica un riesgo para la sostenibilidad de la tecnología.
- Menor velocidad de aporte de nitrógeno: el no laboreo del suelo disminuye el aporte de oxígeno lo que limita la actividad microbiana y por tanto la mineralización. Esto significa que no ocurre una inmediata liberación del nitrógeno disponible, sin embargo esta limitante se levanta con el tiempo de barbecho, durante el cual finaliza la inmovilización del nutriente y comienza su liberación a través de la mineralización.
- Menor temperatura del suelo: la mayor cantidad de agua y la menor radiación neta que llega al suelo a través de los rastrojos generan menor temperatura del mismo. Dicha limitante se ha solucionado modificando la fecha de siembra, sobre todo para los cultivos más sensibles, sembrando según un umbral de temperatura específico.
- Compactación superficial: el laboreo genera, en el corto plazo, una descompactación superficial que prepara la cama de siembra, mientras que en el largo plazo la degradación del suelo ya mencionada genera una compactación sub superficial. Al pasar a la siembra directa se heredan estos problemas, el tránsito de maquinaria y el pisoteo agravan la situación (Ernst et al., 2007). Sin embargo este problema puede resolverse con un adecuado tiempo de barbecho.
- Mayor probabilidad de ocurrencia de enfermedades y plagas: la presencia de rastrojos favorece la permanencia de patógenos que se alimentan de los mismos (necrotróficos). Al tratarse de un sistema más estable también se favorecen las poblaciones de insectos residentes.

Por lo tanto, determinadas prácticas fueron sustituidas por otras, principalmente el efecto "época de laboreo" es sustituido por el tiempo de "barbecho químico". El proceso de barbecho químico, en conjunto con la

utilización de cultivares de soja y maíz resistente al glifosato, han provocado una mayor cantidad de aplicaciones de este herbicida tanto en las fases de barbecho como en post emergencia del cultivo, lo que ha generado una mayor presión de selección hacia las especies de malezas tolerantes.

Existen numerosos estudios sobre los cambios en las comunidades de malezas cuando se comparan en el corto o largo plazo sistemas de labranza convencionales y siembra directa (Robinson et al. 1984, Ball y Miller 1990, Kapusta y Krauz 1993). En estos sistemas, durante los primeros años germinan las semillas ubicadas más próximas a la superficie, pero este banco se va agotando con el tiempo. Las re infestaciones de malezas posteriores en cultivos y pasturas provienen de especies que se adaptan a las condiciones de germinación e implantación sobre la superficie del suelo y debajo ("colgadas") del rastrojo.

En general, las especies latifoliadas de semilla pequeña, dispersadas por viento, muestran mayor frecuencia en siembra directa (Arshad et al. 1994, Derksen et al. 1994, Gill y Arshad 1995, Tieska et al. 2001). La predominancia de este grupo en siembra directa puede ser atribuida a su intolerancia al disturbio del suelo (Mann y Cavers 1979, Frick y Thomas 1992) o a la presencia de residuo de cultivo que favorece la retención, germinación de semillas y el establecimiento de las plántulas (Feldman y Lewis 1990, Feldman et al. 1994).

En el Uruguay, el proceso de siembra directa comenzó a fines de los 80s (Ernst et al., 2007). Consecuencia de la expansión agrícola, la necesidad de maximizar el uso de los recursos y tiempo, junto con la conservación del suelo, el área desde entonces bajo siembra directa se incrementó. Hoy se estima que el 90% del área agrícola se encuentra bajo dicho sistema (Perrachón, 2011).

Los primeros monitoreos de especies de malezas en las chacras con larga historia de siembra directa en el país mostraron cambios en la comunidad de malezas (Ríos et al., 2005). Más tarde, Belgeri y Caulín (2008), Mailhos y San Román (2008) también observaron un cambio en las comunidades de las mismas, observando que en chacras con más de 6 años bajo siembra directa, aumentaron en proporción las especies que poseen semilla pequeña, registrando aumentos en presencia, entre otros de *Amaranthus hybridus* L. (ex. *A. quitensis*) y confirmando las tendencias observadas en otras partes del mundo.

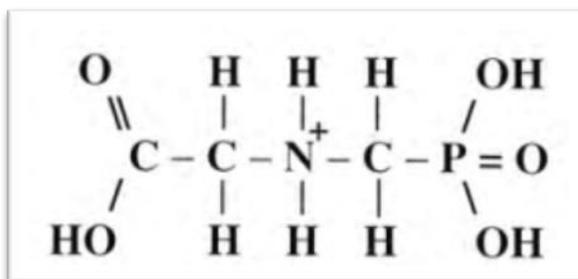
La creciente adopción a nivel mundial de la técnica de siembra directa, se debe en buena medida a la disponibilidad del glifosato (Martino, 1995).

## 2.2. EL GLIFOSATO

El descubrimiento de este herbicida a fines de la década de 1960 por investigadores de la compañía norteamericana Monsanto constituye un hecho trascendental en la historia de la agricultura.

El glifosato (N-fosfonometil glicina), es un herbicida post emergente no selectivo, inhibidor de la enzima EPSP sintetasa y hoy ampliamente utilizado en el mundo. El mismo posee la capacidad de translocarse por el floema hacia los puntos meristemáticos, por lo que resulta útil para controlar especies perennes con órganos subterráneos desarrollados. Es un derivado del aminoácido glicina, con ácido fosfórico unido al radical amino, con una estructura molecular relativamente simple (figura 1).

Figura 1. Estructura molecular de N-fosfonometil glicina



Fuente: Martino (1995).

El mecanismo de acción de este herbicida consiste en la inhibición de la síntesis de aminoácidos aromáticos, principalmente fenilalanina, tirosina y triptófano los cuales son compuestos que intervienen en la formación de proteínas. Específicamente, el glifosato ejerce su acción inhibiendo la enzima 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) la cual está integrada dentro de la ruta del ácido shiquímico. Esta enzima cataliza la reacción entre shiquimato 3 fosfato (S3P) y fosfoenolpiruvato (PEP) para formar 5-enolpiruvil shiquimato 3-fosfato y fósforo inorgánico (Jaworski 1972, Steinrücken y Amrhein 1980).

Debido a su reducido tamaño y naturaleza polar, es altamente soluble en agua, pero no es capaz de atravesar por sí mismo las cutículas foliares y membranas hidrofóbicas de las malezas (Røyneberg et al., 1992). Por esta razón, la formulación contiene un agente surfactante que ayuda a superar dichas barreras. La absorción del glifosato a través de la cutícula de la hoja continúa durante los días siguientes a la aplicación. La fuerza que impulsa esta absorción es el gradiente de concentración a través de la cutícula y membrana

plasmática (Townson y Bulter, 1990). Se ha observado que la absorción cesa completamente tres días post aplicación en ciertas especies perennes, mientras que continúa por más de tres días en otras especies anuales (Sandberg et al., 1980). La translocación por el floema comienza inmediatamente sin ninguna transformación química (Gottrup et al. 1976, Sandberg et al. 1980). Mientras efectos de fitotoxicidad son visibles unos pocos días a pocas semanas después de la aplicación, algunos cambios metabólicos son detectados muy rápidamente, como un descenso en el nivel de la ribulosa difosfato y por lo tanto en la tasa de fotosíntesis (Servaites et al., 1987).

Dentro de una especie vegetal, el estadio fenológico determina variaciones en su susceptibilidad a glifosato (De Rutter et al., 1990), siendo en general menos susceptibles durante los estadios reproductivos. Entre especies, el grado de tolerancia a este herbicida varía ampliamente. Por ejemplo es bien conocido que muchas especies de leguminosas toleran dosis mayores de glifosato antes de morir. Esto ha sido relacionado a una producción incrementada de la enzima EPSP sintetasa (Boerboom et al., 1990). Se han desarrollado además, especies resistentes al herbicida, existiendo actualmente 16 especies que han evolucionado resistencia (Valverde y Heap, 2010).

### 2.3 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS PRE EMERGENTES

Los pre emergentes son herbicidas que, aplicados al suelo, controlan malezas en los primeros estados del ciclo de vida, específicamente durante la germinación (aparición de radícula) y emergencia de las plántulas. Los estados más vulnerables de las malezas a estos herbicidas corresponden a la germinación de la semilla e inicio del crecimiento de las plántulas. Debido a que son aplicados antes que las malezas sean visibles, para una selección adecuada del producto, es necesario el conocimiento de las especies de malezas que pueden infestar el cultivo en que se van a emplear. Como se mencionó anteriormente, bajo sistemas en siembra directa, la mayoría de las malezas se originan de las semillas concentradas en los primeros centímetros del suelo. Esto vuelve a los pre emergentes una herramienta de gran valor dentro de estos sistemas, sobre todo cuando se espera una alta infestación de malezas desde el establecimiento de los cultivos o cuando no es posible obtener un control eficaz de malezas resistentes a herbicidas pos-emergentes.

Las principales características de los herbicidas pre emergentes utilizados en este trabajo se detallan a continuación.

Sulfentrazone: herbicida inhibidor de la enzima protoporfirígeno oxidasa (protox o PPO), que actúa en la oxidación de la protoporfina IX (precursora de la clorofila). Pertenece al grupo químico N-fenilheterociclos.

Actúa como disruptor de membranas celulares. En presencia de luz, se activa e induce la formación de compuestos muy reactivos que provocan la ruptura de las membranas celulares, causando el derrame de fluidos, produciendo la destrucción de tejidos. Selectivo de pre emergencia, cuando se aplica al follaje se comporta como herbicida de contacto (poca o nula movilidad en planta). Aplicado como pre emergente, al emerger a través del suelo, la plántula entra en contacto con el herbicida, sufriendo los efectos mencionados (Kogan y Pérez, 2003).

Metribuzin: herbicida inhibidor del proceso fotosintético interfiriendo en la reacción de Hill, en el transporte de electrones en el fotosistema I o II. Selectivo de pre y post emergencia, perteneciente al grupo químico triazinona. En general, se da un cambio en la secuencia de aminoácidos serina por glicina lo que conlleva a la destrucción por fotooxidación de los carotenoides, por lo tanto, de la clorofila. Cuando se aplica al suelo es absorbido por el sistema radical y rápidamente transportado hacia las hojas, vía apoplasto (xilema). Cuando se aplica al follaje se comporta como herbicida de contacto, al no poder moverse vía simplasto (floema).

Diclosulam: herbicida inhibidor de la acetolactato sintetasa (ALS). Selectivo de pre y pos emergencia, perteneciente al grupo químico de triazolopirimidinas. Inhibe la síntesis de los aminoácidos de cadena ramificada isoleucina, leucina y valina. Esta acción desencadena una distorsión total del metabolismo al interrumpir la síntesis proteica, interferir con la síntesis de ADN y el crecimiento celular. Las malezas detienen rápidamente el crecimiento, dado que trabaja en las zonas meristemáticas. Es de absorción foliar y radical y es rápidamente transportado tanto vía xilema como floema, acumulándose en las regiones meristemáticas.

Flumioxazin: herbicida inhibidor de la enzima protoporfirinógeno-IX-oxidasa (inhibidores de Protox o PPO) que actúa en la oxidación de la protoporfina IX (precursora de la clorofila), selectivo de pre emergencia. Perteneciente al grupo químico fenilftalimida. Puede ser aplicado en pre emergencia y post emergencia temprana de las malezas. Acción foliar de contacto. Provoca una ruptura celular y rápida desecación de las malezas al emerger y entrar en contacto con la luz solar.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los herbicidas pre emergentes utilizados

Herbicidas	Solubilidad en agua a 20°C (mg l <sup>-1</sup> )	Coefficiente de adsorción (Koc)	Potencial de lixiviación (Gus)	Constante de disociación a 25°C (Pka)
Sulfentrazone	780	4,3	6,16	6,56
Metribuzin	1165	60	2,57	0,99
Diclosulam	6,32	90	3,46	4,0
Flumioxazin	0,786	889	1,41	No aplica

Fuente: adaptada de UH. PPDB (2016).

La solubilidad se mide como la cantidad máxima de un compuesto a disolverse en agua a una temperatura específica. Se expresa como mg/L (ppm), g/100mL o moles/L (Robles Vázquez, 2015). Los herbicidas muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad al suelo y por tanto son fácilmente transportados del lugar de aplicación por una fuerte lluvia, riego o escurrimiento hasta los cuerpos de agua superficial y/o subterránea (SEMARNAT. INECC, 2015). De los herbicidas utilizados, metribuzín aparece como el de mayor solubilidad.

El coeficiente de adsorción de carbono (Koc) es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por los suelos o sedimentos. El Koc es específico para cada herbicida y es sumamente independiente de las propiedades del suelo. Los valores de Koc van de 1 a 10.000.000. Un Koc elevado indica que el herbicida se fija con firmeza a la materia orgánica del suelo, por lo que poca cantidad del compuesto potencialmente podría moverse a los acuíferos (SEMARNAT, INECC, 2015).

La constante de disociación del ácido indica el pH en el cual la mitad del compuesto está disociado y la otra mitad no disociado (Robles Vázquez, 2015).

En cuanto al potencial de lixiviación GUS (Groundwater ubiquity score), definido por Gustafson (1989), permite clasificar la capacidad de lixiviación hacia aguas subterráneas de un compuesto químico según el efecto combinado de los procesos de degradación y adsorción, determinado por el Koc y vida media. Sulfentrazone y diclosulam aparecen como altamente lixiviables (Cuadro 1).

#### 2.4. RESISTENCIA DE MALEZAS A HERBICIDAS

Resistencia se define como la capacidad evolucionada de una población de una maleza anteriormente susceptible a un herbicida, de soportarlo y completar su ciclo de vida cuando el herbicida se emplea en dosis

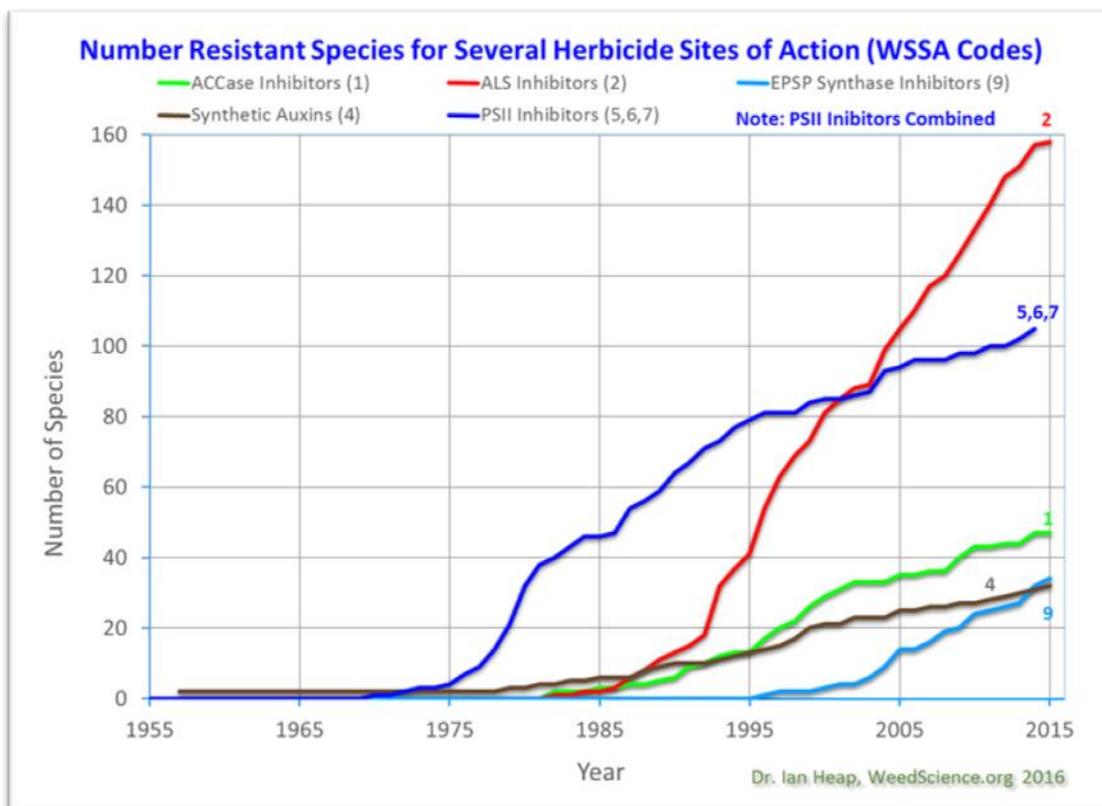
normales en una situación agrícola (Heap et al., 2001). Distintamente, tolerancia es definida por la Weed Science Society of America, como la capacidad hereditaria de una especie de sobrevivir y reproducirse después del tratamiento con un herbicida. Esto implica que no hay selección o manipulación genética para hacer una especie tolerante, ésta es naturalmente tolerante (WSSA, 1998).

La resistencia cruzada ocurre cuando un mecanismo de resistencia individual confiere resistencia a varios herbicidas que comparten el mismo modo de acción, pudiendo ser de dos tipos: 1. La resistencia cruzada de sitio activo, está conferida por una modificación del sitio de acople común (enzima o proteína específica) a varios herbicidas y 2. La resistencia cruzada fuera del sitio activo, en el caso que un único mecanismo confiere resistencia a diversos herbicidas con distinto modo de acción.

Resistencia múltiple se presenta cuando se acumulan dos o más mecanismos de resistencia, por lo tanto son resistentes a dos o más modos de acción. A más mecanismos presentes, mayor diversidad de familias químicas y modos de acción resultan ineficaces para el control de la maleza.

El primer caso de resistencia a herbicidas (2,4-D) fue constatado por Hilton en 1957 (Valverde, 2004), pero la resistencia a las malezas fue reconocida solo después que Ryan (1970) informó sobre el primer caso de resistencia a la atrazina (triazina) en *Senecio vulgaris* L. Luego de reportado este caso, se iniciaron investigaciones para determinar por qué esta especie era capaz de sobrevivir tras dosis elevadas. Estudios pioneros de Radosevich (1977) determinaron que una alteración en el sitio de acción era el mecanismo de la resistencia a triazinas en *S. vulgaris*, y otras especies que aparecieron poco tiempo después (Radosevich y Devilliers 1976, Radosevich 1977). Durante la década de los 70s se documentaron muchos otros casos de malezas resistentes a triazinas, tanto que en 1980 ya se registraban 26 especies de hoja ancha y 6 gramíneas resistentes a este grupo de herbicidas. Consecuencia de esto, LeBaron recopiló cerca de 2 décadas de información acerca de casos de resistencia, informando en 1990 que el número de especies resistentes a triazinas había aumentado a 40 dicotiledóneas y 15 gramíneas. También ya había registrado otros casos de resistencia a otros herbicidas, incluidos 11 especies resistentes a paraquat, 5 a clortolurón, 4 a diclofop-metilo, y 6 casos reconocidos de resistencia a inhibidores de Acetolactato sintetasa (ALS). Actualmente existen 476 biotipos de malezas resistentes a herbicidas, pertenecientes a 251 especies, en 66 países, de las cuales la mayoría ha generado resistencia a inhibidores de ALS (Heap, 2016).

Figura 2. Número de especies resistentes a distintos sitios de acción



Fuente: Heap (2016).

## 2.5. FACTORES QUE DETERMINAN EL RIESGO DE EVOLUCIÓN A RESISTENCIA

Varios son los factores que determinan la evolución de resistencia a herbicidas en malezas. En primera instancia, los herbicidas en función de las dosis empleadas, eficiencia, especificidad del sitio de acción, residualidad, y patrones de uso ejercen una presión de selección sobre las poblaciones de malezas, de modo que los individuos que naturalmente poseen algún mecanismo que les permita soportar el efecto del producto, sobrevivan y se reproduzcan. Este por tanto, se ha reconocido como el factor más importante que gobierna la evolución de la resistencia a herbicidas (Jasienuk et al., 1996). A medida que pasan las generaciones, incrementan el número de estos individuos resistentes, hasta que se presentan en mayor proporción, momento en el cual se hace notoria la falta de eficacia del herbicida (Valverde y Heap, 2010). Aplicaciones a sub o sobre dosis y el frecuente uso del mismo herbicida o de productos que poseen el mismo modo de acción o metabolización en la

planta, tienden a seleccionar poblaciones resistentes. La mayor presión de selección se impone cuando se usan altas dosis de herbicidas de compuestos altamente efectivos y/o persistentes, y cuando su aplicación es frecuente. A medida que se incrementa la tasa de mortalidad también aumenta la tasa de presión de selección que se impone con el herbicida, por lo que las poblaciones de malezas resistentes pueden ser consideradas como un caso de rápida evolución (Reznick y Cameron, 2001).

Los factores relativos al herbicida y su uso según Valverde y Fischer (2000) que predisponen a la aparición de resistencia son:

- Fuerte toxicidad del herbicida (la especie es muy susceptible) que determina una elevada capacidad de controlar a todas las plantas susceptibles, dejando sólo individuos resistentes como sobrevivientes.
- Dosis elevada (por la misma razón anterior).
- Herbicidas con un único sitio de acción, dado que una única mutación en un gen mayor es suficiente para conferir resistencia. Esta es una de las razones por las que los inhibidores de la ALS y los de la ACCasa son considerados herbicidas de riesgo elevado. La probabilidad de que ocurran al mismo tiempo varias mutaciones en diferentes sitios para conferir resistencia es mucho menor; tal es el caso de herbicidas con modos de acción complejo, los llamados herbicidas de “bajo riesgo”.
- Prolongado efecto residual, puesto que la selección ejercida por más tiempo actúa sobre un mayor número de individuos lo que aumenta la probabilidad de seleccionar mutantes resistentes.
- Uso frecuente del herbicida que incrementa la probabilidad de seleccionar mutantes resistentes.

Características biológicas de la especie de maleza también influyen en su evolución a la resistencia. En general, las especies alógamas, poseen mayor variabilidad genética en la población, la cual comprende la presencia de mutaciones, pudiendo éstas conferir resistencia a herbicidas. Estas no ocurren por el uso de herbicidas, sino que son espontáneas y están presentes en la población incluso aunque nunca se haya aplicado el herbicida (Jasienuk et al., 1996). Es importante destacar que los biotipos resistentes son el resultado de mutaciones espontáneas que se dan al azar (no son inducidas por el herbicida), es decir que los genes que determinan la resistencia a un herbicida pueden estar presentes en una población aún antes que ese principio activo sea introducido en el mercado. La aplicación del herbicida los selecciona eliminando a los individuos susceptibles y permitiendo que los resistentes sobrevivan

(Tuesca y Puricelli, 2005). Las especies que son muy prolíficas, de polinización cruzada y que ocupan grandes extensiones a altas densidades son más propensas a evolucionar resistencia a herbicidas (Valverde y Heap, 2010).

Los factores relativos a la biología de la especie según Valverde y Fischer (2000) que predisponen a la aparición de resistencia son:

Frecuencia original de alelos resistentes. La resistencia resulta de un proceso evolutivo, donde la selección impuesta por el uso repetido de un mismo tipo de herbicida incrementa las frecuencias de los alelos de resistencia y por lo tanto de los individuos resistentes en una población. Los alelos de resistencia resultan de mutaciones al azar y pueden estar presentes en una población incluso antes de que ésta haya sido expuesta a la acción de herbicidas. Las mutaciones ocurren continuamente en poblaciones naturales, pero su frecuencia es baja. La frecuencia inicial de resistencia es uno de los factores que determinan el número de generaciones de selección necesarias para que una población alcance un nivel de resistencia problemático.

Fecundidad: estas frecuencias originales de resistencia son suficientes como para asegurar que se encuentren individuos resistentes en un predio cuando las densidades de infestación son altas y, especialmente, si se trata de especies que producen mucha semilla y logran más de una generación reproductiva por año.

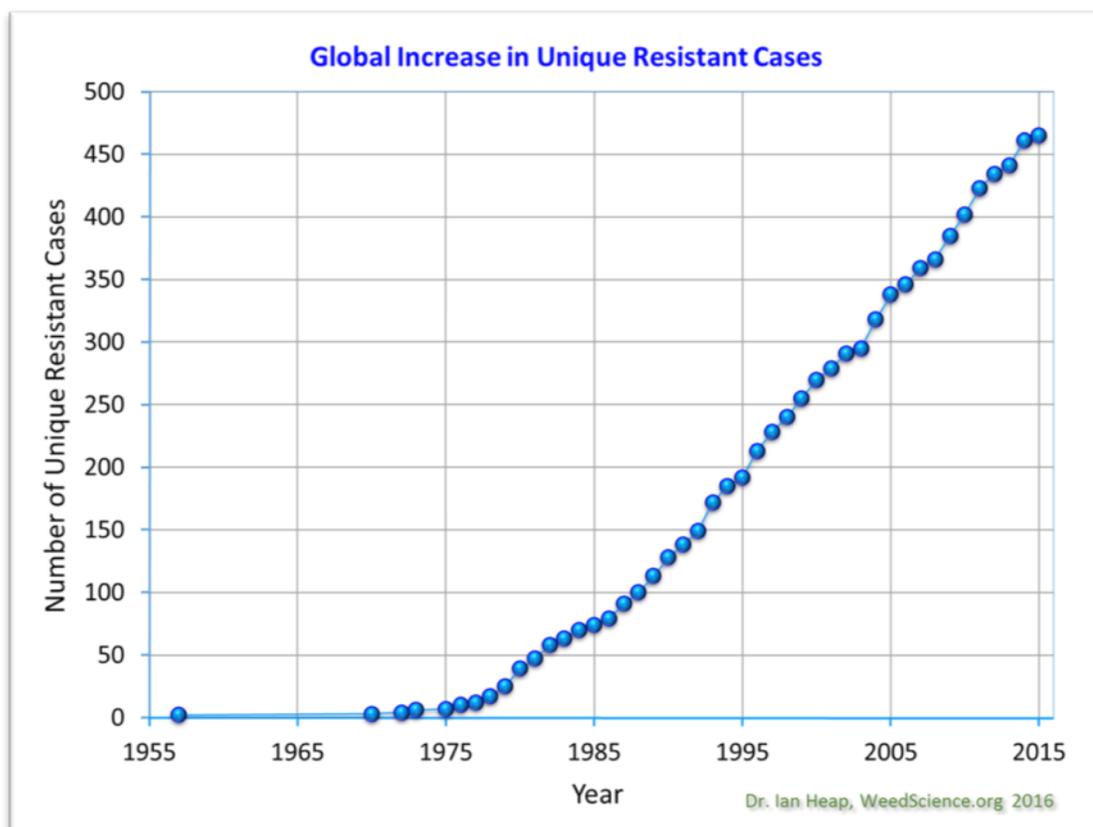
Persistencia del banco de semillas: si un herbicida elimina todos los individuos susceptibles dejando unos pocos sobrevivientes resistentes capaces de producir semilla, la frecuencia de individuos resistentes presentes al ciclo siguiente dependerá de cuánta semilla resistente se produjo y de la cantidad de semillas susceptibles que existan en el reservorio de semillas del suelo. Los individuos susceptibles que emerjan a partir del banco de semillas del suelo "diluirán" la frecuencia de individuos resistentes que provienen de la semilla producida por los sobrevivientes del ciclo anterior. Este efecto de dilución será más prolongado y relevante en especies cuyas semillas tengan latencia y considerable longevidad en el suelo. Por el contrario, serán las especies que produzcan semilla de corta latencia, o sin ella, y con poca longevidad en el suelo las que más rápido incrementen su frecuencia de individuos resistentes con el uso repetido del herbicida.

Adaptabilidad ecológica: las frecuencias iniciales de individuos resistentes tenderán a ser más bajas si la mutación que confiere resistencia tiene un efecto pleiotrópico sobre el éxito ecológico de esos individuos (medido como el tamaño final de su descendencia establecida). Por esto, las plantas resistentes podrían ser más débiles, con menores tasas de crecimiento y niveles de fecundidad que las normales (susceptibles).

La base genética de la resistencia, su modo de herencia, y la forma de reproducción de las especies son aspectos relevantes en la evolución y dispersión de la resistencia. La resistencia de sitio activo suele estar gobernada por el par de alelos de un gen mayor de origen nuclear (Valverde y Fischer, 2000). El alelo resistente puede ser dominante, semidominante, o recesivo. Ejemplo de gen dominante es la resistencia a paraquat en *Conyza canadensis* L. (Moss, 2002). La resistencia conferida por un gen dominante de origen nuclear se propagará rápidamente en las especies alógamas (de fecundación cruzada); la dispersión del polen contribuirá considerablemente al flujo genético de la resistencia en la población y a la dispersión de la resistencia hacia otras poblaciones. La fecundación cruzada no favorecerá la expresión y propagación de resistencia conferida por genes recesivos, cuya expresión estará oculta por las mayores frecuencias de heterocigotos. La resistencia gobernada por genes recesivos se propaga mejor en las especies autóгамas, en especies altamente auto polinizadas los alelos mutantes recesivos se propagan casi tan rápido como los dominantes (Jasieniuk et al., 1996). La resistencia evolucionará rápidamente si resulta de una alteración del sitio activo que usualmente es controlada por herencia monogénica. Esta evolución se acelera cuando el herbicida es altamente fitotóxico (como es el caso de los inhibidores de la ALS) o se usa a una dosis elevada, dado que prácticamente todos los individuos sobrevivientes que pasen su descendencia a la próxima generación serán portadores del gen de resistencia (la presión de selección a favor de la resistencia será máxima). Por el contrario, dosis bajas o herbicidas poco letales permitirán que un mayor número de individuos susceptibles sobrevivan y produzcan semilla, lo que diluirá el avance de la selección por resistencia (baja presión de selección). Por lo tanto, una forma efectiva de retrasar la evolución de resistencia de sitio activo es emplear dosis bajas de herbicida que reducen la presión de selección. Pero la situación puede ser muy diferente si la resistencia está controlada por varios genes. En este caso, dosis bajas de herbicida capaces de controlar al biotipo susceptible podrían permitir la supervivencia de individuos poseedores de algunos genes de resistencia parcial. Esos sobrevivientes podrían intercambiar y acumular genes de resistencia, o tendrían tiempo como para que algunos de esos genes con efectos menores se duplicaran o amplificasen. El resultado sería un aumento con el tiempo del nivel de resistencia individual de ciertos genotipos, cuya frecuencia se incrementará bajo selección del herbicida (Valverde y Fischer, 2000).

El uso generalizado y gran dependencia, de unos 260 ingredientes activos, pertenecientes a unas 70 familias químicas, pero únicamente con 13 modos de acción para el control de malezas, ha incrementado exponencialmente el problema de la selección de malezas resistentes.

Figura 3. Incremento mundial de individuos resistentes a herbicidas



Fuente: Heap (2016).

*“Los agricultores han sido muy afortunados hasta ahora por contar con herbicidas alternativos que les permite controlar las malezas resistentes. Sin embargo, las perspectivas de que en los próximos años se comercialicen herbicidas con modos de acción totalmente novedosos son ínfimas. De hecho, el último modo de acción descubierto que permitió la comercialización de herbicidas novedosos se introdujo en 1991 con los inhibidores de la hidroxifenil piruvato dioxigenasa (HPPD) entre los que se encuentran la sulcotriona y mesotriona (Ruegg et al., 2007). La tendencia de la agroindustria en años recientes ha sido la de desarrollar productos similares a los ya existentes (los llamados “me too”) que imponen presión de selección adicional sobre sitios de acción sujetos a ella por años. El aumento en la regulación de los plaguicidas, principalmente en Europa, hace disminuir la disponibilidad de herbicidas y con ello limita las posibilidades de rotación y mezcla de herbicidas con modos de acción diferentes.” Valverde y Heap (2010).*

## 2.6. PREVENCIÓN DE LA EVOLUCIÓN A RESISTENCIA

La aparición de casos de resistencia a los herbicidas es una indicación de un exceso de dependencia de los mismos dentro de un sistema particular de producción (Valverde, 2004). En sitios donde la resistencia a los herbicidas aún no ha aparecido, deberían realizarse todos los esfuerzos posibles para integrar las tácticas de manejo de malezas que puedan evitar o demorar la selección de poblaciones resistentes. La presión de selección está determinada en gran medida por tres factores: la dosis, eficacia y frecuencia de la aplicación de herbicidas. El monocultivo, con el uso intensivo de herbicidas con el mismo modo de acción, y una limitación de los trabajos culturales, por lo general caracterizan los sistemas en los que ha evolucionado la resistencia (Mortensen, 2000).

1. Efectividad del herbicida: los herbicidas altamente efectivos usados en forma persistente, imponen una alta presión de selección que puede conducir al desarrollo de poblaciones resistentes en pocas generaciones. Esto ha sido bien documentado con herbicidas inhibidores de ALS y ACCasa, considerados especialmente propicios para el desarrollo de resistencia.

2. Frecuencia de aplicación: aplicaciones reiteradas de un herbicida en la misma estación de un cultivo aumenta la presión de selección, especialmente si la maleza germina y emerge en varios flujos, y completa más de una generación por cada estación de crecimiento.

3. Dosis del herbicida: relacionado con la eficacia del herbicida, sub dosis o dosis superiores a las recomendadas, serán responsables de no eliminar malezas con genotipos resistentes en la población.

Para la prevención de la evolución a resistencia, es importante realizar un manejo integrado, realizando labores culturales y un apropiado uso de herbicidas. Los siguientes son algunos ejemplos.

Rotación y mezclas de herbicidas: un enfoque útil para demorar o prevenir resistencia. Es el uso de mezclas o rotación de herbicidas. Convencionalmente, éstos se combinaban para ampliar el espectro de acción, disminuyendo la dosis de los productos en la mezcla. Sin embargo, para el correcto manejo de la resistencia, los herbicidas tienen que estar en su dosis completa y efectiva para las especies a controlar, y deben poseer una persistencia similar pero de diferentes mecanismos de acción, y/o procesos de degradación en la planta (Wrubbel y Gressel, 1994). La rotación ayuda a demorar la selección de poblaciones resistentes. Según predicciones hechas con modelos utilizando dos herbicidas con diferente modo de acción, pero igualmente efectivos contra una determinada maleza, las mezclas son

superiores a las rotaciones anuales para demorar la aparición de resistencia a herbicidas (Powles et al., 1997).

Control cultural: implica el uso de semillas certificadas, libres de malezas y evitar uso de maquinaria contaminada, ayuda a prevenir la introducción de materiales resistentes en nuevas áreas. Junto con esto, en caso de observar focos de malezas en una chacra, se vuelve útil el control manual de las mismas, para asegurar su eliminación. Toda técnica que evite el crecimiento desarrollo de malezas es útil para su control y prevención, como ejemplo la densidad y época de siembra, variedades de cultivos más precoces, etc.

## 2.7. MANEJO DE POBLACIONES DE MALEZAS RESISTENTES

En primer lugar, tras sospecha de una población resistente sería apropiado cambiar de herbicida por otro que aun sea efectivo en el control de la maleza. En el largo plazo, el manejo de la resistencia puede ser realizado por medio de la integración de técnicas apropiadas basadas en el conocimiento de la biología y ecología de la especie de maleza, el modo de acción del herbicida y los mecanismos de resistencia involucrados (Valverde, 2004).

Las prácticas de manejo que se basan en disminuir la proporción y cantidad de semillas (tamaño del banco de semillas) de malezas resistentes, son de gran ayuda para reducir la propagación de éstas malezas, contribuyendo a la declinación de las infestaciones de individuos resistentes.

La preparación del suelo afecta la dinámica de las semillas de malezas, y las plántulas en el momento de la siembra, contribuyendo así al manejo de las poblaciones de malezas resistentes. Los sistemas de labranza afectan la emergencia de las malezas modificando su composición, la distribución vertical y la densidad de los bancos de semillas en el suelo. Especies con semillas que pueden germinar sobre o cerca de la superficie del suelo y que finalmente se establecen, tienen el mayor potencial para proliferar bajo sistemas de siembra directa (Buhler et al., 1997).

Los cultivos por lo general tienen una flora típica de malezas asociadas a los mismos. Por lo tanto, la rotación de cultivos modifica la composición de las comunidades de malezas (Hyvonen y Salonen, 2002). La rotación de cultivos implica cambios en los modelos de siembra, en los ciclos de vida, en las características de competitividad y el manejo de las malezas que alteran nichos de regeneración de éstas especies y previenen el aumento de aquellas altamente adaptadas (Buhler et al., 1997). Por lo tanto, en sistemas de monocultivo, se selecciona la flora de malezas altamente compatibles con ese

sistema de producción específico, resultando en malezas muy competitivas y difíciles de eliminar. La rotación de cultivos ayuda a que el proceso de generación de resistencia sea más lento (Metzler, 2015).

Las ventajas competitivas de los cultivos también son importantes a la hora del control de malezas. Cultivos, e incluso cultivares, con mayor vigor inicial, capacidad de cubrir el suelo antes y mayor competencia, suprimen a malezas de menor posibilidad de competir.

El uso de cultivares resistentes a herbicidas, permite utilizar alternativas químicas en la fase de cultivo para controlar especies difíciles de eliminar, y malezas resistentes a herbicidas.

El correcto manejo de las poblaciones resistentes sería por tanto mediante la integración de las prácticas de control cultural y químicas de tal manera de modificar las "señales" recibidas por las especies. La siembra de cultivares competitivos, con crecimiento agresivo, la modificación de la fecha de siembra para asegurar un rápido establecimiento del cultivo, una fertilización adecuada en tiempo y calidad para favorecer el crecimiento del cultivo, una mayor densidad de siembra y menor espaciado entre surcos, proporcionando una ventaja competitiva al cultivo frente a la maleza (Singh et al., 1999) son algunas que se destacan dentro del control cultural. Definir una rotación de cultivos (mencionada anteriormente) en función de las características de la maleza también puede ser parte de la estrategia de control.

## 2.8. GÉNERO *AMARANTHUS*

El género *Amaranthus* comprende unas ochenta especies nativas de las regiones tropicales hasta templado cálidas (Covas, 1999). Varias de ellas se cultivan como verduras, granos o plantas ornamentales. En la región, conviven diferentes especies del género, de similares características morfológicas, especialmente en estados temprano de desarrollo, dificultando su reconocimiento a campo.

### 2.8.1. *Amaranthus palmeri* S. Wats: biología, distribución, orígenes

*Amaranthus palmeri* S. Wats es una especie nativa del centro sur de Estados Unidos y norte de México, perteneciente a la familia Amaranthaceae. Dicotiledónea anual estival.

Durante su estadio vegetativo, presenta tallos ramificados desde la base y con rayas longitudinales verde a amarillo y marrón rojizo.

Sus hojas son alternas, dispuestas simétricamente, con láminas rómbicas, ovadas a rómbico-lanceoladas, ápice agudo con un mucrón (espinas) fina en la punta, la base es redondeada con nervaduras prominentes en el envés. Otra característica está relacionada con la longitud del pecíolo, el cual es más largo que la lámina de la hoja (figura 5). Éstas características diferenciales, al momento de la identificación a campo, pueden no estar presentes, ya que al tener la capacidad de hibridar con otras especies del género, los híbridos podrían presentar características fenotípicas de cualquier individuo que les dio origen.

Figura 4. Patrón de crecimiento del meristema apical de *Amaranthus palmeri* S. Wats



Figura 5. Detalle de la especie mostrando el pecíolo de mayor longitud que la lámina



Fuente: Montoya et al. (2015).

Figura 6. Detalle del mucrón en la punta de las hojas en una plántula de *Amaranthus palmeri* S. Wats; hojas lisas con nervaduras superficiales



Fuente: Montoya et al. (2015).

Se trata de una especie con metabolismo C4 con una gran raíz pivotante, por lo que posee una alta tasa de fotosíntesis incluso bajo

condiciones de altas temperaturas, alcanzando su máxima tasa entre los 36 y 46°C. Además, las hojas han exhibido movimientos heliotrópicos, permitiéndole tomar ventaja de su alta capacidad fotosintética (Ehleringer, 1983). Por lo tanto, se han registrado tasas de crecimiento de hasta 4 centímetros por día y una producción de entre 200 y 600 mil semillas muy pequeñas (1-2 mm) por planta, bajo condiciones ambientales favorables (Cornejo y Garay, 2014). Bajo condiciones de competencia con cultivos, esta producción puede alcanzar las 100 mil semillas por planta (Metzler, 2015).

La especie es dioica (pie femeninos y masculinos) con inflorescencias largas y con escasas ramificaciones. Posee inflorescencias femeninas con brácteas espinosas al tacto mientras las masculinas son suaves y desprenden polen cuando se las mueve, el cual es distribuido por el viento. Las plantas masculinas producen grandes cantidades de polen con un rango de 21-38  $\mu\text{m}$  de diámetro, y con una densidad media de 1,435 g/m<sup>3</sup>. Esto permite que el polen se mueva grandes distancias desde la fuente. Sin embargo, ciertos estudios indican que el polen es viable por minutos luego de anthesis (Parminder et al., 2015).

En general, se observan flujos de emergencia dependientes de la humedad del suelo. Se registra comúnmente un primer flujo de emergencia entre los 100 y 300 GD, y un segundo entre los 500-700 GD. Se ha constatado un 50% de la emergencia a los 500 GD (Montoya et al., 2015). Se estima que la temperatura base de la especie es de 16.6 °C (Parminder et al., 2015).

La luz juega un importante rol en la salida de la dormancia de la semilla, y en promover la germinación en la mayoría de las especies de *Amaranthus*. La cantidad de luz recibida por la planta madre tiene un profundo efecto en la posterior germinación de sus semillas, por lo que se ha observado que semillas de plantas femeninas creciendo con una máxima cantidad de luz, mostraron mayor germinación en la oscuridad (25%), mientras que las semillas de plantas creciendo en condiciones limitantes de luz tuvieron una menor germinación (12%; Norsworthy et al., 2010). Esto también fue estudiado por Birriel y Damboriarena (2016) en Uruguay, quienes analizaron la germinación de las semillas dos meses después de cosechadas, observando un 10% de germinación mayor en aquellas semillas expuestas a la luz, que a las que estaban en oscuridad. Los mismos autores estudiaron otros efectos ambientales, encontrando diferencias también en el grado de maduración de las semillas, ya que las secas (mayor grado de maduración) tuvieron un porcentaje de germinación significativamente menor a los 12 días post incubación (59% vs. 90%), posiblemente explicado por una dormancia más profunda de las semillas maduras. Otro estudio realizado por estos autores determinó mayores porcentajes de germinación de las semillas situadas a 1 cm de profundidad, en

comparación con los demás tratamientos, con semillas desde la superficie hasta 5 cm de profundidad.

Las semillas, por su pequeño tamaño (figura 7) pueden ser transportadas por maquinaria y otros medios, como por ejemplo con granos, ropa de operarios, pájaros, herramientas, etc. factor que sería responsable de la rápida expansión de los biotipos resistentes de esta especie (Hammond, 2010). Un factor que se considera de importante contribución a la dispersión de semillas en esta especie, es aquel relacionado a la cosecha, ya que distribuye dentro y entre chacras, alcanzando nuevos establecimientos y zonas. Además, su dispersión se ha visto favorecida por su rápido establecimiento y falta de control en banquinas, caminos, y zonas aledañas a los lotes de producción (Metzler, 2015).

Figura 7. Semillas de *Amaranthus palmeri* S. Wats



Figura 8. Estructura de planta florecida de *Amaranthus palmeri* S. Wats en Uruguay



Figura 9. Inflorescencia masculina (izquierda) e inflorescencia femenina (derecha) de *Amaranthus palmeri* S. Wats



### 2.8.2. Interferencia de *Amaranthus* spp. en soja

En cuanto a los cultivos que contribuyen más a la resistencia a herbicidas, según Valverde y Heap (2010), el cultivo de soja es el tercero más importante en el mundo, luego del maíz y el trigo, con 60 biotipos de 41 especies de malezas registradas.

Todos los cultivos presentan un período crítico de competencia, determinando un período crítico de control, a partir del cual la competencia con malezas tendrá un efecto negativo en el rendimiento final del cultivo. Mantener este período en mente es un importante pilar en el manejo integrado de malezas, y es un factor mayor al decidir el momento oportuno de la aplicación de herbicidas (Swanton et al., 1999). En soja resistente al glifosato y bajo siembra directa, Mulugeta y Boerboom (2000), comprobaron que para evitar pérdidas de producción, el cultivo debería crecer en ausencia de malezas hasta el estado de desarrollo V4. Por otro lado, otros autores afirman que siempre que haya competencia interespecífica con malezas, el rendimiento será afectado (Marwat y Nafziger 1990, Mosier y Oliver 1995, Chhokar y Balyan 1999). En un estudio realizado en Arkansas, tan solo una planta de *A. palmeri* en 3 metros sobre la línea de siembra, produjo un 17% menos de rendimiento en grano, mientras que en 30 centímetros lo redujo en un 64% (Klingman y Oliver, 1994).

La combinación de la rápida tasa de crecimiento, adaptación a altas temperaturas y déficit hídrico, con un importante desarrollo radicular, hacen de *A. palmeri* un competidor muy agresivo en el cultivo de soja (una C3), volviéndose una gran interferencia a la hora de la cosecha de no ser manejado correctamente.

Ninguna de las especies de malezas resistentes al glifosato que han surgido en los Estados Unidos ha sido una amenaza tan importante para la productividad agrícola como *A. palmeri* (Hammond, 2010). Desde que fue identificado el primer ejemplar resistente a glifosato en 2005 en una remota área en el estado de Georgia (Culpepper et al., 2006), el biotipo de *A. palmeri* ha invadido las regiones sur y central de Estados Unidos, dejando a su paso campos abandonados y un uso masivo de variados herbicidas, sobre todo pre emergentes para su control.

### 2.8.3. Resistencia de *Amaranthus palmeri* a herbicidas

En las últimas dos décadas, la continua dependencia de herbicidas con el mismo modo de acción y un mismo manejo de malezas resultó en la evolución de malezas resistentes a herbicidas, entre ellas *A. palmeri* (Parminder et al., 2015).

El primer caso de resistencia de esta especie fue reportada en EEUU (cuadro 2) en el año 1989 a las trifluralinas. Desde entonces, se ha confirmado resistencia a glifosato (Inhibidor de la síntesis de EPSP), Inhibidores de la síntesis de ALS, a Inhibidores del fotosistema II (atrazina y metribuzin), Inhibidores de la enzima PPO (ej. fomesafén, lactofén y sulfentrazone), trifluralinas, y HPPD (Heap, 2016, cuadro 1).

Cuadro 2. Primeros casos reportados de biotipos de *A. palmeri* resistentes

Tipo de resistencia	Modos de acción	Lugar del primer reporte	Cultivos afectados
Simple	Trifluralina.	1989 (Carolina del Norte)	Algodón, soja
Simple	FS II	1993 (Texas)	Maíz y sorgo
Simple	ALS	1993 (Kansas)	Alfalfa, maíz, sorgo, soja, algodón y maní
Simple	EPSP	2005 (Georgia y Carolina del Norte)	Algodón, soja, maíz
Múltiple	ALS y EPSP	2008 (Mississippi y Georgia)	Algodón, maíz, soja
Múltiple	ALS, FSII y HPPD	2009 (Kansas)	Maíz y sorgo
Múltiple	ALS, FSII y EPSP	2010 (Georgia)	Maíz
Simple	HPPD	2011 (Nebraska)	Maíz
Simple	Protox (PPO)	2011 (Arkansas)	Soja

Fuente: adaptado de Heap (2016).

En el mundo se han reportado casos de resistencia en Estados Unidos, Israel (Heap, 2016), Argentina (Morichetti et al., 2013) y Brasil (Andrade et al., 2015). En cuanto a Uruguay, hace unos 2 años se detectaron las primeras chacras con infestación en las cuales se sospecha que exista resistencia a glifosato e inhibidores de ALS, aunque aún no oficialmente declarada.

Resistencia a glifosato: la resistencia adquirida al glifosato de *A. palmeri* es conferida por medio de dos mecanismos: 1. TSR causado por la amplificación del gen EPSPS y 2. NTRS causado por una reducción en la absorción y transporte del glifosato. Estos mecanismos de resistencia evolucionaron independientemente en dos sitios, debido al intenso uso en cultivos resistentes (Parminder et al., 2015).

Resistencia a herbicidas inhibidores de ALS: la resistencia a inhibidores de ALS en *A. palmeri* está ampliamente esparcida por los Estados Unidos (Montoya et al., 2015), y varias poblaciones de la maleza exhiben resistencia cruzada a varios inhibidores de ALS. Por ejemplo, el biotipo resistente a imazetapir en Kansas, se encontró que es aproximadamente 2800 veces más resistente al imazetapir comparado con el biotipo susceptible, siendo la población también resistente a herbicidas como las sulfonilureas. Resultados de investigación indican que la resistencia se debe a una posible mutación, que vuelve a la enzima ALS insensible al inhibidor de ALS (Sprague et al., 1997).

Resistencia a inhibidores del fotosistema II: si bien se sabe que en otras especies de *Amaranthus* el mecanismo de resistencia a la Atrazina se reporta como la sustitución de Ser-264 a Gly en el gen psbA, el mecanismo de resistencia en *A. palmeri* es desconocido (Diebold et al., 2003).

Resistencia a trifuralinas: se observó por primera vez resistencia a este modo de acción en 1989 en EEUU, sin embargo el mecanismo de resistencia es hasta ahora desconocido (Gossett et al., 1992).

Resistencia a inhibidores de HPPD: hasta la fecha, la resistencia a HPPD ha sido registrada en solo dos especies; *A. palmeri* y *Amaranthus tuberculatus* en EEUU (Heap, 2016). Experimentos están en el proceso de determinar cómo actúa éste mecanismo de resistencia.

Resistencia a PPO: estos herbicidas actúan como disruptores de membranas celulares (Kogan y Pérez, 2003). Tiene menor riesgo de seleccionar malezas resistentes, aunque a bajas dosis selecciona plantas con niveles bajos de resistencia que pueden proliferar paulatinamente y acrecentar su grado de resistencia gracias a la hibridación, recombinación y acumulación de varias mutaciones (Valverde y Heap, 2010).

#### 2.8.4. Alternativas de control de *A. palmeri*

##### 2.8.4.1. Prevención

La prevención en malezas se define como las estrategias culturales mediante las cuales se evita el ingreso principalmente de semillas viables no deseadas a un área específica.

Dada la magnitud del problema de *A. palmeri*, es de gran importancia la prevención de ingreso de la especie a los sistemas productivos. Estas estrategias pueden estar relacionadas con la limpieza de vehículos, maquinarias u otros tipos de equipos agrícolas de antes del ingreso a una chacra, como también a la salida de una con presencia de la maleza. Se debe poner especial énfasis en las cosechadoras, las que pueden venir de una chacra o zona con presencia de *A. palmeri*, como se sospecha que es una importante forma de diseminación debido a la capacidad de producir semilla y a su pequeño tamaño. Se ha reportado en EEUU diseminación vía riego, pájaros, mamíferos, arado, pasadas de rotativa, y cosecha (Parminder et al., 2015). También resulta importante hacer un monitoreo de caminos, cunetas y bordes de chacras, para así detectar temprano individuos, eliminándolos en la medida de lo posible previo al estado reproductivo. En caso de detectar esta especie sería justificable informar a los organismos oficiales, aunque aún no exista protocolo establecido para su manejo. Dado el pequeño tamaño de la semilla, se sospecha también su diseminación junto a semillas de cultivos, por lo que debería ponerse especial cuidado en el origen de la semilla que ingresa al predio.

Existen estudios que indican que luego de ser ingeridas por el ganado, un 53% de las semillas de *Amaranthus spp.* germinan al ser excretadas (Takabayashi et al., 1979). Lo que ocurre en el tracto digestivo de pájaros, como las palomas, que ingieren cantidades importantes de las mismas aún no se conoce, por lo que no se ha cuantificado la importancia de este medio en la diseminación de la maleza. De todos modos, esta vía de diseminación sería difícil de controlar.

#### 2.8.4.2. Control cultural

Toda práctica que dificulte el establecimiento de plántulas de *A. palmeri* contribuirá a su manejo.

La rotación de cultivos permite alternar herbicidas selectivos con diferentes modos de acción. La inclusión de maíz en la rotación permite utilizar herbicidas pos emergentes con modo de acción que aún controlan esta maleza (hormonales).

La labranza en campos muy infectados, puede reducir la población en un 50%; si se excede en el uso de ésta herramienta, la semilla previamente enterrada vuelve a superficie y germina, ya que la semilla puede permanecer viable por 5 años (Metzler, 2015). La labranza de la tierra en el otoño en combinación con cultivos de cobertura en el invierno, han demostrado controlar la densidad de *A. palmeri* en un 85% (Aulakh et al., 2012).

En Córdoba, Argentina, bajo infestaciones severas, ha ocurrido contrataciones de cuadrillas de personal para el desmalezado manual, siendo el objetivo de ésta técnica la eliminación de las poblaciones previo a su semillazón.

#### 2.8.4.3. Control químico

El control químico de *A. palmeri* dependerá de qué biotipo se desea controlar, ya que anteriormente se vio que algunos poseen resistencia simple a algunos modos de acción, mientras que otros poseen resistencia múltiple.

Según Parminder et al. (2015), un adecuado manejo químico involucra herbicidas de distintos modos de acción. El manejo ideal sería con una quema prescrita de las plantas ya emergidas, seguido por un herbicida pre emergente con residualidad que reduzca los nuevos flujos de emergencia, y otro tratamiento post emergente, en lo posible también incluyendo residualidad, para evitar los últimos flujos de emergencia de la maleza dentro del cultivo.

En referencia a este tipo de control, varios son los experimentos realizados en *A. palmeri* hasta el momento.

Dos aplicaciones, una temprana y la otra tardía de Enlist Duo® (glifosato y 2,4-D), mostraron niveles satisfactorios de control (95%; 21DDA; Frene et al., 2015).

La mezcla de sulfentrazone y fomesafen, con s-metolaclo-ro demostraron una alta residualidad con controles superiores a 90%, aún a los 110 DDA (Lazcano et al., 2015).

En un trabajo de investigación de Montoya et al. (2015) en *A. hybridus* y *A. palmeri* se lograron un 87% de control mediante la aplicación de sulfosato 62% + saflufenacil + dimetenamida (2000+35+1000 cm<sup>3</sup>/ha, respectivamente), con una altura de la maleza al momento de la aplicación de 15 a 20 cm durante el barbecho químico a maíz. Estos autores también evaluaron un barbecho químico a soja destacando la importancia del momento de aplicación, respecto al estado de desarrollo de la maleza, ya que lograron muy buenos controles aplicando a plantas no mayores a 10 cm de altura. En otro experimento realizado durante el barbecho químico, el mejor resultado se logró con glifosato + flumioxazin (3000+150 g/ha, respectivamente).

En ausencia de herbicidas pre emergentes, la población de *A. palmeri*, puede alcanzar entre 74 a 165 plantas por m<sup>2</sup> (Hoffner et al., 2012). Al aplicar s-metolaclo-ro o s-metolaclo-ro + fomesafen como pre emergentes, la densidad de la maleza bajó a 10 pl/m<sup>2</sup>. Los controles más efectivos en este trabajo también

demonstraron ser aquellos que incluyen un tratamiento pre, y otro de pos emergencia (Hoffner et al., 2012).

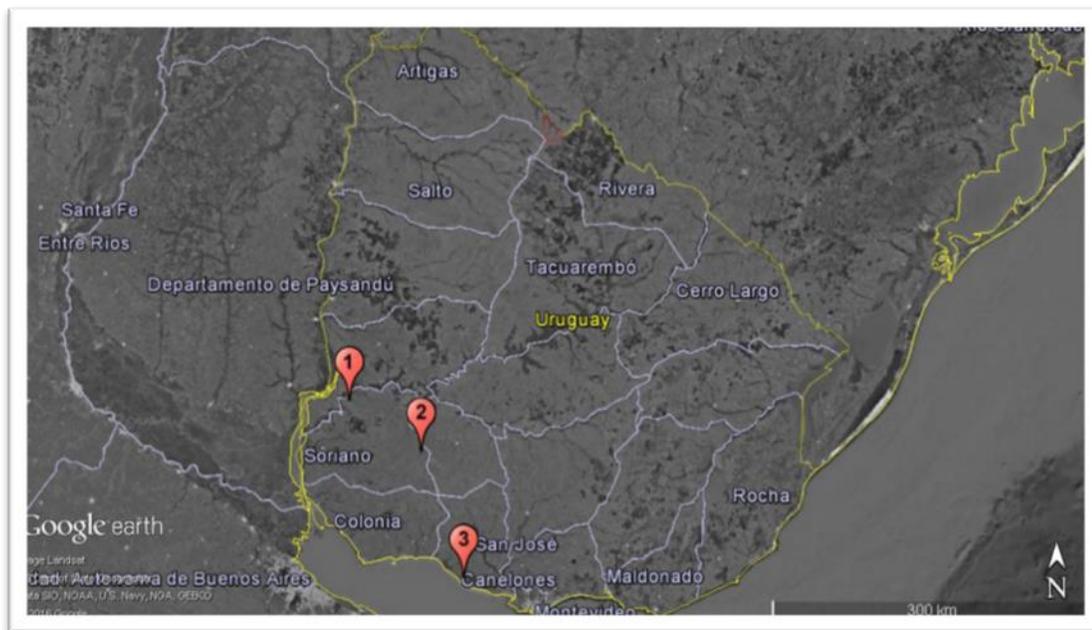
Evaluando una pre mezcla de sulfentrazone y metribuzin, se observó un control de 93%, aplicada a una dosis de 1400 g/ha (Cepeda et al., 2015).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN

Los experimentos se instalaron en los departamentos de San José y Soriano. Se seleccionaron 3 chacras comerciales (figura 10) con un extenso historial de agricultura asociado a la tecnología de siembra directa, a excepción de la chacra ubicada en San José, en la cual se comenzó implementar esta tecnología desde el año 2013. Las chacras fueron seleccionadas dado que se esperaba una emergencia y establecimiento de poblaciones por infestaciones recientes de especies pertenecientes al género *Amaranthus*.

Figura 10. Localización de los sitios donde se instalaron los experimentos



Las características, el historial y manejo de las chacras en el que se realizaron los experimentos se detallan a continuación:

Sitio 1 (S 33°08.964'; O 057°56.369)

Corresponde a la unidad Bequeló, sobre formación Fray Bentos (Areniscas cretácicas) según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), con 5.69 de pH y 4.36% de materia orgánica, según análisis de suelo (ver anexo 4). El trabajo de campo para éste sitio inició el 01/12/2015, finalizando el 09/05/2016.

Cuadro 3. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 1

Años de agricultura	Más de 15
Años de siembra directa	10
Cultivo antecesor	Maíz
Cultivo actual	Soja
Variedad	Asgrow 6211
Fecha de siembra	04/12/2015
Densidad de siembra (semillas/ha)	350000
Fertilización (kg/ha)	100 kg de 7-40-0-5s y 80 kg de kcl
Curado de semilla	Apron Max
Aplicaciones realizadas (antes y durante el cultivo)	
08/10/15	2.5 L/ha glifosato (Full) + 0.7 L/ha 2,4 D amina (hornet) + dicamba (remuver)
04/11/15	2.5 L/ha glifosato (Full) + 0.7 L/ha 2,4 D amina (hornet) + 50 cc/ha carfentrazone (shark) + 50 cc/ha adyuvante (ligier verde bio)
04/12/15	1.5 L/ha acetoclor, 0.5 L/ha imazetapir, glifosato (ultra max), 50 cc/ha adyuvante (true ligier verde bio)
16/01/16	3 L/ha glifosato (ultra max)
17/02/16	Bifentrin - imidacloprid (conclusión) + aceite mineral
30/03/16	Bifentrin (Capture) + carbendazim (prozim) + adyuvante (ligier verde bio)

Sitio 2 (S 33°34.617'; O 057°17.483')

Corresponde a la unidad La Carolina, sobre formación Basamento Cristalino según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976), con 5.89 de pH y 3.91% de materia orgánica, según análisis de suelo (ver anexo 5). El trabajo de campo para esta zona inició el 06/11/2015, finalizando el 26/04/2016.

Cuadro 4. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 2

Años de agricultura	s/d
Años de siembra directa	s/d
Cultivo antecesor	Soja
Cultivo actual	Soja
Variedad	DM5.9i
Fecha de siembra	08/11/15
Densidad de siembra (semillas/ha)	350000
Fertilización (kg/ha)	120 kg de 7-40-0-5s
Curado de semilla	Apron max
Aplicaciones realizadas (antes y durante el cultivo)	
08/07/15	10 g/ha clorsulfuron - metsulfuron metil (vector) + 50 cc/ha coadyuvante (Ph Bio ligier)
18/09/15	2 L/ha glifosato (full II) + 0.7 L/ha 2,4 D amina (hornet)
07/11/15	2 L/ha glifosato (full II) + 12 g/ha clorimuron + 1 L/ha sulfentrazone (boral)
06/12/16	1 L/ha metolaclor (Dual Gold) + 50 cc/ha coadyuvante (dash) + 1 L/ha Fomax (fomesafen) + 2.5 kg/ha glifosato (ultra max) + coadyuvante (Ph Bio Ligier) + flumetsulam (lamcide)
12/01/16	2.5 kg/ha glifosato (ultra max) + triflumuron (nion) + 50 cc/ha coadyuvante (Ph Bio Ligier)
23/02/16	50 cc/ha Coadyuvante (Ph Bio Ligier) + Bifentrin (capture)
01/04/16	Tiametoxan – lambda cialotrina (extreme) + 50 cc/ha coadyuvante (Ph Bio Ligier)

Sitio 3 (S 34°37.022´; O 056°51.689´)

Corresponde a la unidad Kiyú, sobre la formación Dolores/Raigón según la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000 (Altamirano et al., 1976) con 5.13 de pH y 2.86 % de materia orgánica según

análisis de suelo (ver anexo 6). El trabajo de campo inició el 30/10/2015, finalizando el 25/04/2016.

Cuadro 5. Historial de chacra y manejo del cultivo en el Sitio 3

Años de agricultura	s/d
Años de siembra directa	3 años
Cultivo antecesor	Maíz
Cultivo actual	Soja
Variedad	Nidera 5258
Fecha de siembra	01/11/15
Densidad de siembra (semillas/ha)	400000
Fertilización (kg/ha)	S/F (niveles de P por encima de las 50 ppm)
Curado de semilla	Apron Max
Aplicaciones realizadas (antes y durante el cultivo)	
06/04/15	2,5 kg/ha glifosato (ultra max) + 0,7 de 2,4 D amina(hornet)
15/09/15	2,2 kg/ha glifosato (ultra max)
23/10/15	2 L/há glifosato (Full) + diclosulam – aluxifen metil (texaro) 43 g/ha
20/11/15	Clethodim (clethomax) 700 cc/ha + 2 kg/ha glifosato (Ultra max)
18/02/16	Pyraclostrobin – epoxiconazole (opera) + thiametoxam + triflumuron + adyuvante
25/03/16	Thiametoxam – deltametrina (equus-D) + adyuvante

### 3.2 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Aunque se esperaba infestación de *Amaranthus spp.* en todas las localidades, solo se presentó la maleza en el Sitio 2, por lo que frente a la presencia de ésta se evaluó eficiencia de control, mientras donde no se presentó se evaluó fitotoxicidad en el cultivo, manteniendo los ensayos libres de otras malezas con los tratamientos químicos realizados en las chacras comercialmente y complementando a mano. Por lo tanto, los experimentos consistieron en la evaluación del control de *Amaranthus spp.* frente a los distintos tratamientos con herbicidas pre emergentes en el Sitio 2 (cuadro 6); mientras que se evaluó la tolerancia del cultivar de soja utilizado frente a los mismos tratamientos en los Sitios 1 y 3.

El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron 12 tratamientos de herbicidas (cuadro 6), más un testigo enmalezado (sin aplicación de herbicida) y un testigo limpio (se mantuvo limpio de malezas de forma manual). Las unidades experimentales consistieron en parcelas de 2 m de ancho por 10 m de largo y los bloques se separaron por caminos de 1 m de ancho entre sí (figura 11). Los herbicidas fueron aplicados entre 0 y 3 días previos a la siembra del cultivo.

Cuadro 6. Tratamientos experimentales

	Principio activo	Dosis de principio activo/ha	Dosis comercial/ha
1	Sulfentrazone-metribuzin (18%-27% GD)	144 gr + 216 gr	800 gr
2	Sulfentrazone-metribuzin (18%-27% GD)	198 gr + 297 gr	1,100 gr
3	Sulfentrazone-metribuzin (18%-27% GD)	252 gr + 378 gr	1,400 gr
4	Sulfentrazone (50% SC)	0.15 L	0,3 L
5	Sulfentrazone (50% SC)	0.20 L	0,4 L
6	Sulfentrazone (50% SC)	0.25 L	0,5 L
7	Metribuzin (48% SC)	0.288 L	0,6 L
8	Metribuzin (48% SC)	0.384 L	0,8 L
9	Metribuzin (48% SC)	0.672 L	1,4 L
10	Diclosulam (84% GD)	25.2 gr	30 gr
11	Diclosulam + sulfentrazone (84% GD+50% SC)	25.2 gr + 0.2 L	30 gr + 0,40 L
12	Flumioxazin (48% SC)	0.072 L	0,150 L
13	Testigo limpio	0	0
14	Testigo enmalezado	0	0

Las aplicaciones se realizaron con un equipo de CO<sub>2</sub>, provisto de picos Teejet AI 110 02, utilizando un volumen de 110 L.ha<sup>-1</sup>. Al momento de realizar las mismas se registraron distintas variables ambientales, como temperatura, viento y humedad relativa (cuadro 7), las cuales no se consideraran en ninguna de las situaciones limitantes para la aplicación de herbicidas pre emergentes.

Cuadro 7. Variables ambientales al momento de aplicación

Variable Ambiental	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Día	01/12/2015	06/11/2015	30/10/2015
Hora (inicio-fin)	16:30-18:00	16:30-18:00	13:30-18:00
Temperatura (°C)	33,2	22,3	16,4
Viento (km/h)	14,8	2,0	15,2
Humedad relativa (%)	51	74	87

### 3.2 DETERMINACIONES

Con el objetivo de caracterizar el volumen de rastrojo al momento de las aplicaciones, se estimó materia seca total de la parte aérea presente en los barbechos. Para ello, previo a la realización de las aplicaciones se extrajeron 4 muestras al azar utilizando un cuadro de 50 x 50 cm (0,25 m<sup>2</sup>). El material se secó por separado en un horno a 60 °C durante 72 horas (cuadro 8).

Cuadro 8. Biomasa aérea de rastrojo en los diferentes sitios al momento de la aplicación

	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Repetición	Materia seca (g)		
1	85	83,3	122,5
2	183	133,3	114,4
3	95	132,7	128,4
4	61	155,8	81,8
Promedio	106	126,2	111,7
Promedio (kg/ha)	4240	5048	4468

Se realizó además un conteo de especies de malezas para caracterizar el enmalezamiento inicial de los sitios mediante un muestreo al azar en el que se hicieron cuatro muestreos por cada sitio (cuadro 9), utilizando un cuadrado de dimensiones conocidas (0,25m<sup>2</sup>).

Cuadro 9. Especies de malezas presentes en los diferentes sitios al momento de la aplicación

Muestra	Sitio 1		Sitio 2		Sitio 3	
	Especies	No.	Especies	No.	Especies	No.
1	<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam.	78	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronq	1	<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link <i>Conyza bonariensis</i> Otras Hoja Ancha	136 1 2
2	<i>Zea mayz</i> <i>Eleusine tristachya</i> (lam.) Lam.	4 27	<i>Amaranthus Palmeri</i> S.Wats	1	<i>Echinochloa colona</i>  <i>Urtica urens</i> U.	126  15
3	<i>Eleusine tristachya</i>	34	<i>Amaranthus Palmeri</i> S.Wats <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Person	3 1	<i>Echinochloa colona</i>  <i>Conyza bonariensis</i> <i>Zea mayz</i> Otras Hojas Anchas (desconocidas)	91  2 6 1
4	<i>Amaranthus</i> sp <i>Eleusine tristachya</i> Otras Hoja Ancha	1 59 1	<i>Amaranthus Palmeri</i> S.Wats	5	<i>Echinochloa colona</i>  <i>Silena gallica</i> <i>Dichondra microcalyx</i> Otras Hoja Ancha	401  1 11 3

Cada sitio difirió en la fecha calendario de siembra, pero tanto los tratamientos como las mediciones fueron realizados a fecha fija; permitiendo de esta manera que las determinaciones de fitotoxicidad hayan sido realizadas en similares estadios fenológicos del cultivo.

Luego de las aplicaciones, las determinaciones fueron siempre realizadas en los dos surcos centrales de las parcelas para de esta manera minimizar el efecto de deriva de parcelas contiguas. Para las evaluaciones de fitotoxicidad (Sitios 1 y 3) de los tratamientos en soja se realizaron las siguientes evaluaciones:

- **Implantación:** mediciones a los 15 y 30 días post aplicación (DPA) donde se estimó la implantación del cultivo a través del conteo del número de plantas en 0,5 metros lineales con tres repeticiones por parcela. Los valores utilizados de implantación en las figuras corresponden a la raíz cuadrada del número de plantas implantadas debido a que fue necesario para el procesamiento estadístico de datos.

- **Susceptibilidad varietal:** ésta fue medida a los 15, 30 y 45 DPA utilizando una escala de estimación visual de daño de 1 a 10, donde 1 es de ningún a muy poco daño, o igual al testigo limpio y 10 es daño muy grave: muerte de plantas que puede ocasionar la destrucción total del cultivo (ALAM, 1977).

- **Altura de planta:** a los 45 y 60 DPA de los tratamientos se estimó altura a través de la medición de cinco plantas por parcela desde el suelo hasta la última hoja que sobre sale el conopeo.

- **Distancia entrenudos:** a los 45 y 60 DPA de los tratamientos se estimó la distancia entre nudos a través de la medición de entrenudos de cinco plantas por parcela.

- **Desarrollo:** mediciones a los 45 y 60 DPA de los tratamientos se estimó desarrollo según escala de Fehr y Caviness (1977) en cinco plantas por parcela. A cada estado de desarrollo se le asignó un valor numérico para el procesamiento de datos (ver anexo 10).

- **Biomasa:** a los 75 DPA de los tratamientos se estimó biomasa a través del peso seco de 5 plantas por parcela.

- **Rendimiento y sus componentes:** al momento de cosecha se determinó el número de vainas, número de granos por planta y el peso de granos en diez plantas. A partir de estos datos se estimó un rendimiento por parcela que se llevó a kilogramos por hectárea. Para estimar estas variables se

cosecharon diez plantas de cada parcela de forma al azar y de la zona central de cada una de ellas. Posteriormente se procedió a determinar las variables anteriormente mencionadas.

En cuanto al control de la maleza (Sitio 2) se determinó:

- Dinámica de emergencia: con el objetivo de caracterizar la dinámica de emergencia de *A. palmeri*, se establecieron grillas de 0,5 m<sup>2</sup> fuera del área del ensayo (figura 12). Cada 15 días y hasta los 60 días post siembra, se realizaron conteos con posterior remoción de las plantas de malezas emergidas.
- Eficiencia de control: las evaluaciones de eficiencia de control de malezas se realizaron a los 15, 30, 45 y 60 DPA. Estas lecturas fueron realizadas mediante estimación visual de la cobertura de *A. palmeri*. Para esto se contó con un testigo limpio (tratamiento 13), el cual se mantuvo libre de malezas de forma manual y un testigo sucio (tratamiento 14), el cual no tuvo ningún tipo de control, utilizándolo como guía para asignar valores a los tratamientos.

Figura 11. Grilla de 0.5 m<sup>2</sup> para conteo de emergencias de *Amaranthus palmeri* S. Wats



### 3.3 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANAVA) utilizándose un modelo lineal general que incluye el efecto fijo tratamiento en cada sitio y para cada momento de evaluación en el programa S.A.S®. Previo al análisis estadístico, se chequeo normalidad y homogeneidad de los datos. Como resultado, los valores de porcentaje de control fueron transformados a arco seno raíz de  $x/100$  según lo indicaron los test de normalidad, pero se presentan como los originales para evitar confusiones. Los valores de conteos, fueron transformados a raíz cuadrada según lo indicaron los test de normalidad. Al detectar diferencias significativas, las medias se compararon por el test de MDS al 5 % de probabilidad (ver anexo 7).

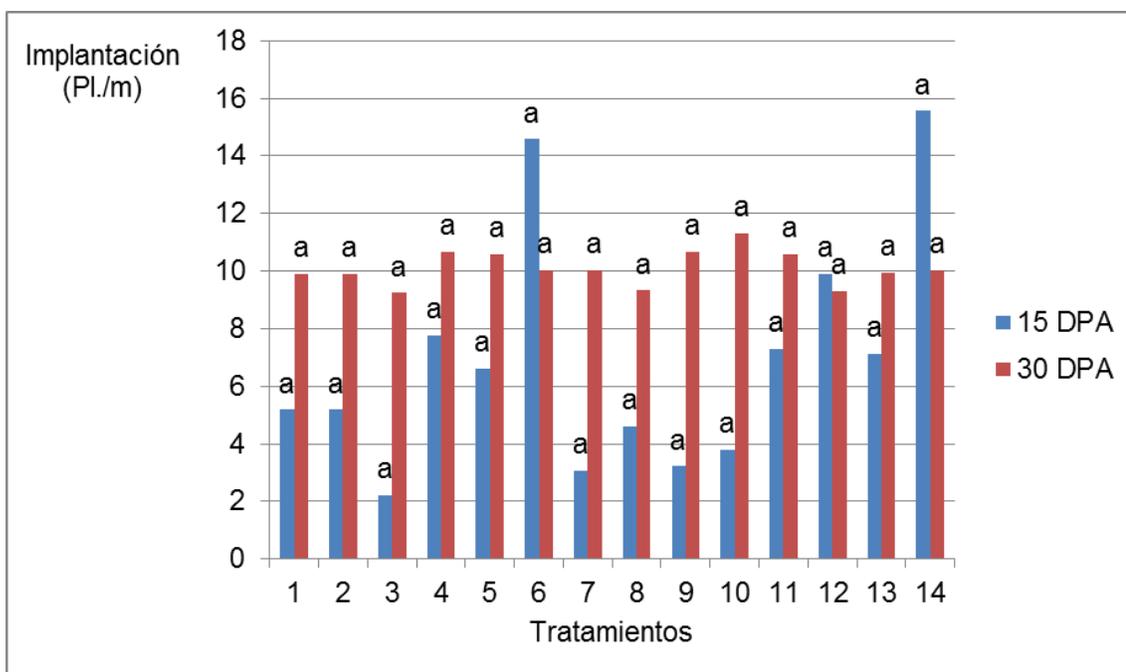
#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan y discuten por separado los resultados de los 3 experimentos que compusieron el trabajo de tesis.

##### 4.1 SITIO 1. FITOTOXICIDAD EN SOJA

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la implantación de soja 15 DPA ni tampoco a los 30 DPA (figura 12).

Figura 12. Implantación del cultivo de soja (pl./m) para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes 15 y 30 DPA

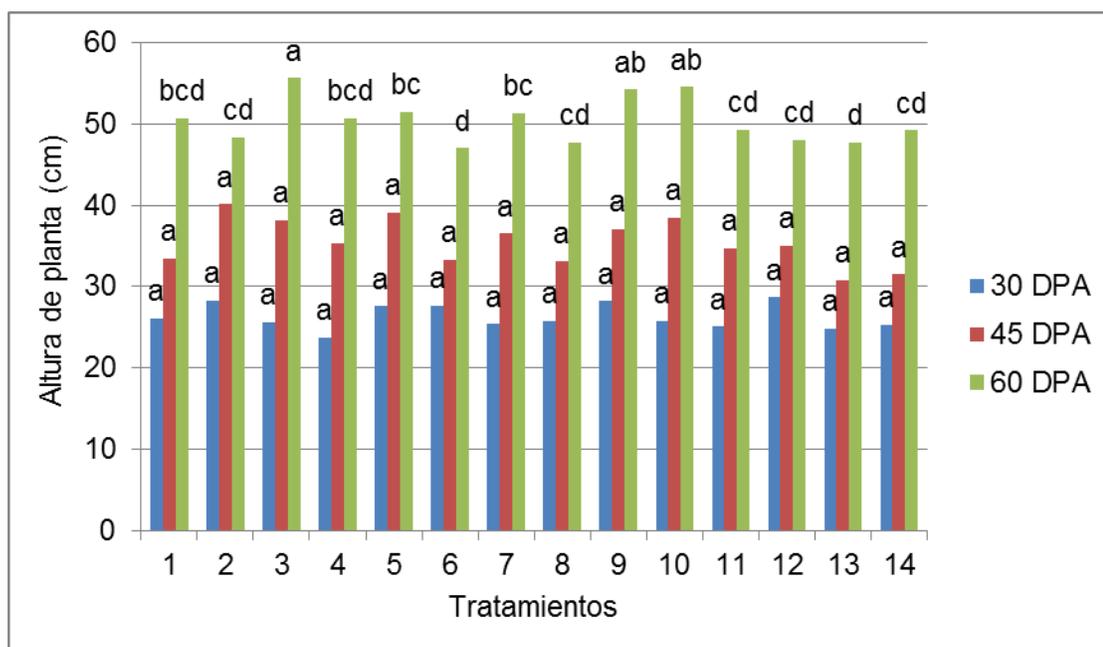


Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Hasta los 45 DPA la altura del cultivo no mostró diferencias significativas entre tratamientos (figura 14). A los 60 DPA los tratamientos 3 (sulfentrazone + metribuzin a dosis alta), 9 (metribuzin) y 10 (diclosulam) presentaron mayor altura de planta que el testigo limpio sin aplicación (figura 13). Estos efectos no han sido reportados previamente. El modo de acción diferente incluidos en estos tratamientos tampoco permite argumentar este resultado. Diferencias en crecimiento podrían esperarse en tratamientos con herbicidas inhibidores de ALS (diclosulam), los cuales podrían causar una menor altura de planta, pero no mayor. Por ejemplo, imazetapyr ha sido reportado reduciendo altura de planta 20 DPA aplicado en pre emergencia de

soja en una variedad Asgrow 6401 en Argentina (Arregui et al., 2006), incluso con reducción de rendimiento, pero cuando además se observaron síntomas visuales de daño. En cuanto a los herbicidas PPO (sulfentrazone y flumioxazin), e inhibidores del proceso fotosintético (metribuzin), tampoco pueden explicar un aumento en crecimiento en el cultivo. Por lo tanto, puede adjudicarse a un problema en la selección de plantas durante el muestreo al azar.

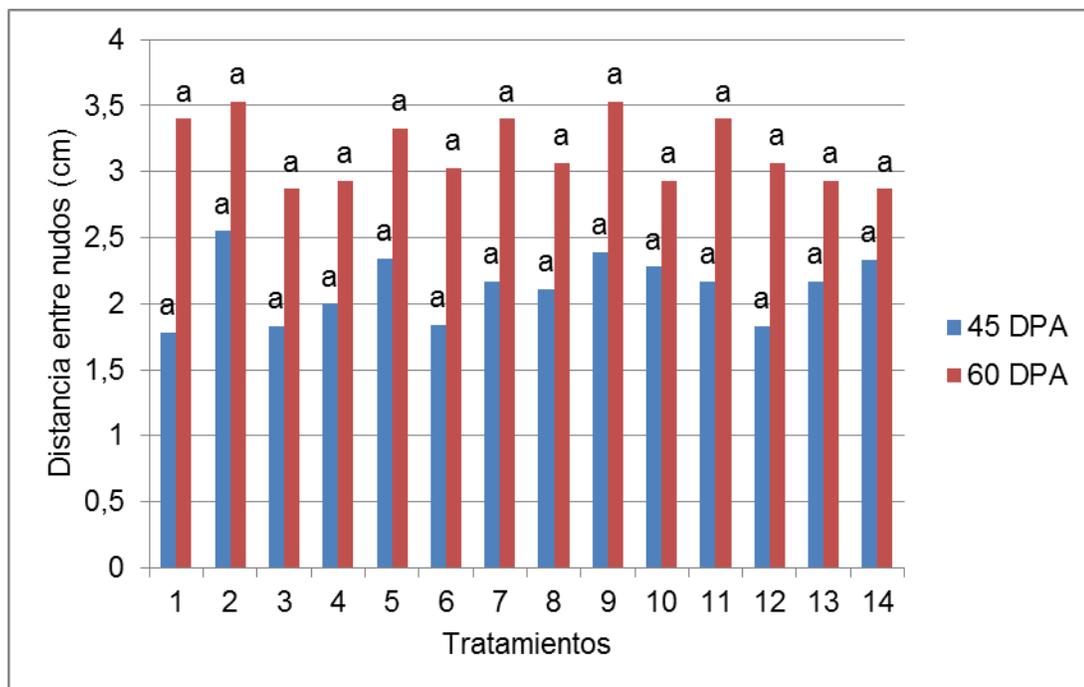
Figura 13. Altura (cm) del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 30, 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

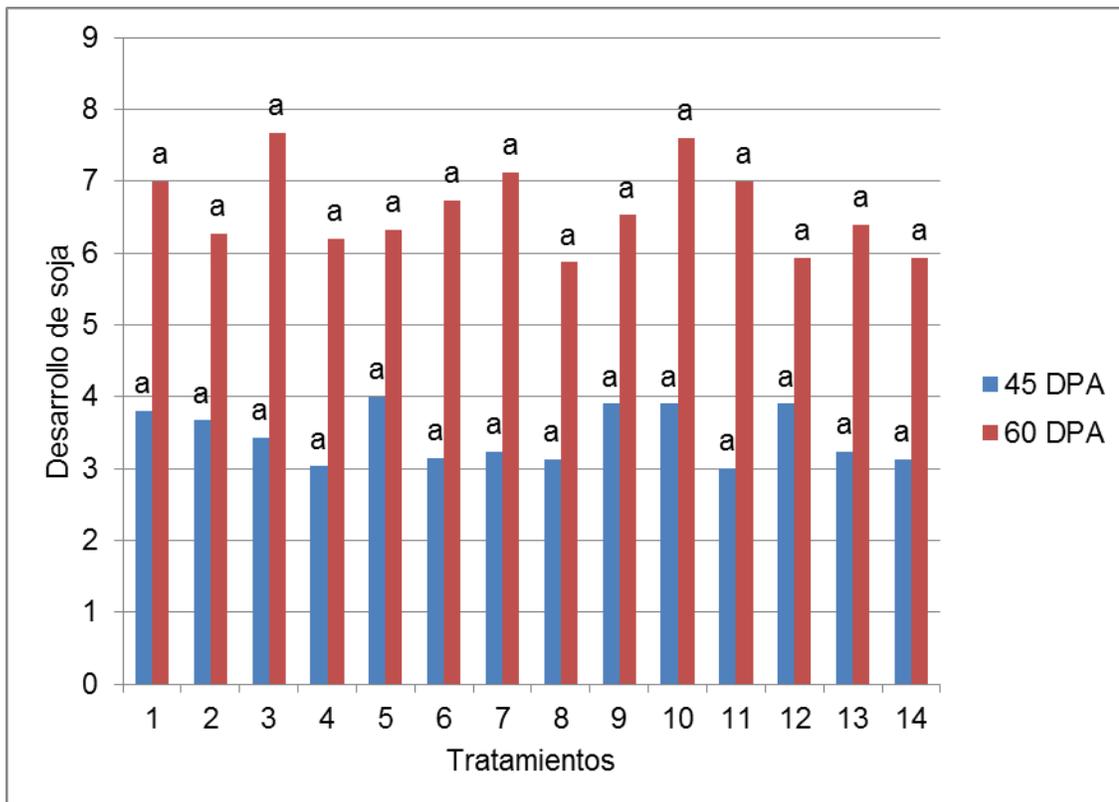
En cuanto a la distancia entre nudos y estadio de desarrollo del cultivo en los diferentes tratamientos, tampoco se evidenciaron diferencias significativas a los 30 y 45 DPA (figuras 14 y 15).

Figura 14. Distancia entre nudos (cm) en el cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Figura 15. Desarrollo del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ). A cada estado de desarrollo se le asignó un valor numérico (ver anexo 3) para el análisis estadístico.

Las diferencias significativas en altura de planta, no determinaron sin embargo diferencias significativas en biomasa (cuadro 10), por lo que aquellos tratamientos con plantas más altas posiblemente presentaron tallos más finos y con menor depósito de lignina.

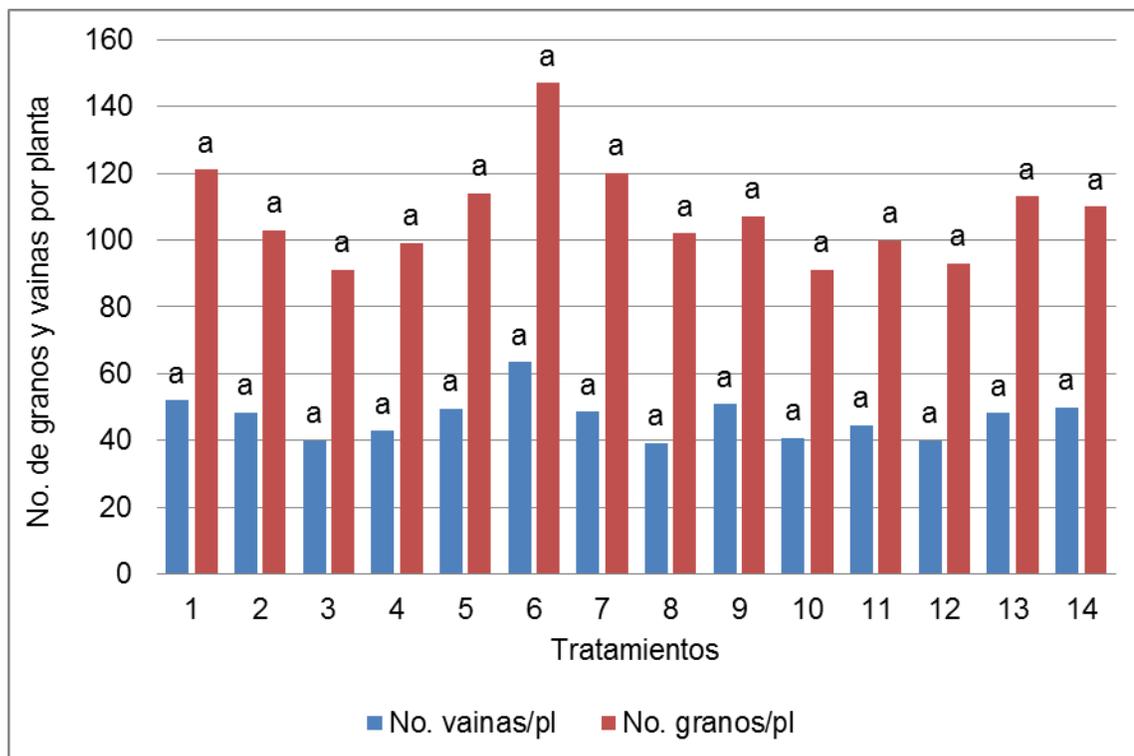
Cuadro 10. Biomasa (g) de 5 plantas de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 75 DPA

Tratamiento	Biomasa (g MS/5 pl.)
1	23,8 a
2	22,0 a
3	28,1 a
4	26,3 a
5	23,7 a
6	32,8 a
7	25,8 a
8	31,4 a
9	15,4 a
10	19,3 a
11	25,1 a
12	27,6 a
13	19,2 a
14	29,6 a

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Al momento de la cosecha, 160 DPA, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos al evaluar número de vainas y granos por planta de soja (figura 16).

Figura 16. No. de granos y vainas por planta de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 160 DPA



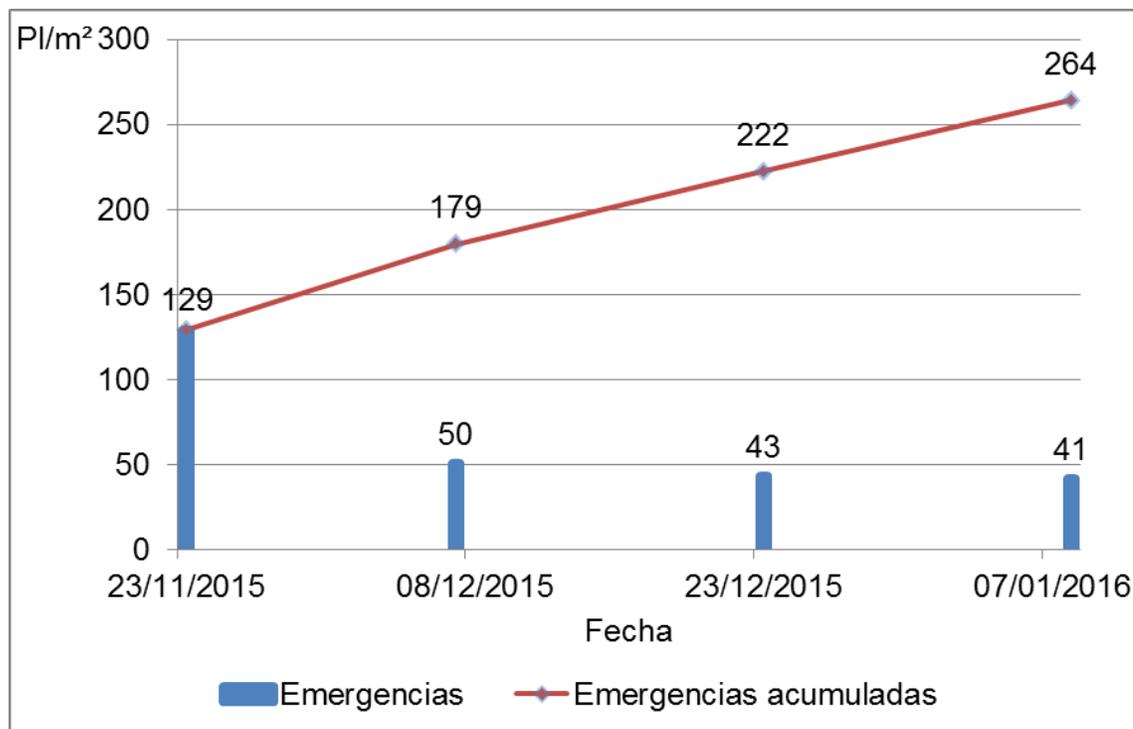
Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Es importante destacar que en ninguno de los momentos de evaluación se constataron visualmente síntomas característicos de daño por la aplicación de los herbicidas.

#### 4.2 SITIO 2. CONTROL DE *A. PALMERI*

Durante las primeras semanas del mes de noviembre se dieron los mayores flujos de emergencia de la maleza, descendiendo a medida que trascurrió el tiempo (figura 17). Esto probablemente ocurrió por las adecuadas condiciones de temperatura y humedad para la germinación (ver anexos 1 y 2). Posteriormente, los pulsos de emergencia son menos abundantes ya que se va agotando el banco de semillas aptas para germinar, las condiciones ambientales ya no son óptimas, y el cultivo comienza a ejercer competencia (ej. sombreado). Luego del primer gran flujo, el aumento de emergencias se vuelve constante en torno a 40-50 plántulas cada 15 días.

Figura 17. Emergencias (pl./m<sup>2</sup>) de *Amaranthus palmeri* para las diferentes fechas de evaluación y su acumulado en el período evaluado



Al momento de la primer evaluación visual, 15 DPA, los tratamientos 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, y 12 mostraron significativamente mejores eficiencias de control sobre *Amaranthus palmeri* (figura 18). Es importante destacar que con el paso de los días post aplicación estos resultados fueron variando probablemente por la evolución de la residualidad de los diferentes principios activos y dosis utilizados para las condiciones climáticas y edáficas dadas.

Los tratamientos 1, 2 y 3 de formulación sulfentrazone-metribuzin (18%-27% GD) mostraron una tendencia a un mejor control a medida que la dosis de principio activo fue mayor, aunque no llegaron a ser diferencias estadísticamente significativas a excepción de la dosis más baja (figura 18).

Para los tratamientos 4, 5 y 6 de formulación sulfentrazone (50% SC), se observa una tendencia a un mejor comportamiento a medida que aumenta la dosis, pero sin diferencias significativas entre ellos. Igualmente, a los 60 DPA, los controles promedio de estos 3 tratamientos (40%) son menores a los registrados para la mezcla sulfentrazone-metribuzin, lo que podría demostrar el aporte del componente metribuzin en el control.

En cuanto a los tratamientos 7, 8 y 9 de formulación metribuzin (48% SC), también se aprecia una tendencia a un mejor porcentaje de control a medida que la dosis aumenta, no existiendo diferencias significativas entre el tratamiento 7 y 8, pero si con el tratamiento 9 a partir de los 30-45 DPA (figura 18).

El tratamiento 10 de formulación diclosulam (84% GD) presentó el control más pobre de los estudiados, mejorando considerablemente en mezcla con sulfentrazone (tratamiento 11). El control de éste último tratamiento es estadísticamente igual al tratamiento en el que se aplicó sulfentrazone solo a igual dosis (salvo a los 60 DPA) (tratamiento 5). Esto sugiere que el biotipo de *A. palmeri* presente en esta situación presenta resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS, siendo el sulfentrazone en este caso el único componente de la mezcla que ejerció un control.

El tratamiento 12 de formulación flumioxazin (48% SC) presentó muy buen comportamiento, mostrando igual control que metribuzin a alta dosis hasta los 60 DPA (figura 18).

Estadísticamente los mejores controles evaluados a los 30 DPA fueron de los tratamientos 2, 3, 7, 12 y 9, siendo este último el que tuvo la mayor eficiencia de control. Las diferencias encontradas entre éstos tratamientos antes mencionados se acentúan a medida que aumentan los días post aplicación. También se aprecia un descenso en la residualidad de las diferentes formulaciones.

Al igual que la evaluación 15 DPA, la eficiencia de control fue mayor al aumentar la dosis de principio activo para cada una de las formulaciones utilizadas (aunque no siempre con diferencias estadísticas) (figura 18), información que coincide con la generada por Cepeda et al. (2015).

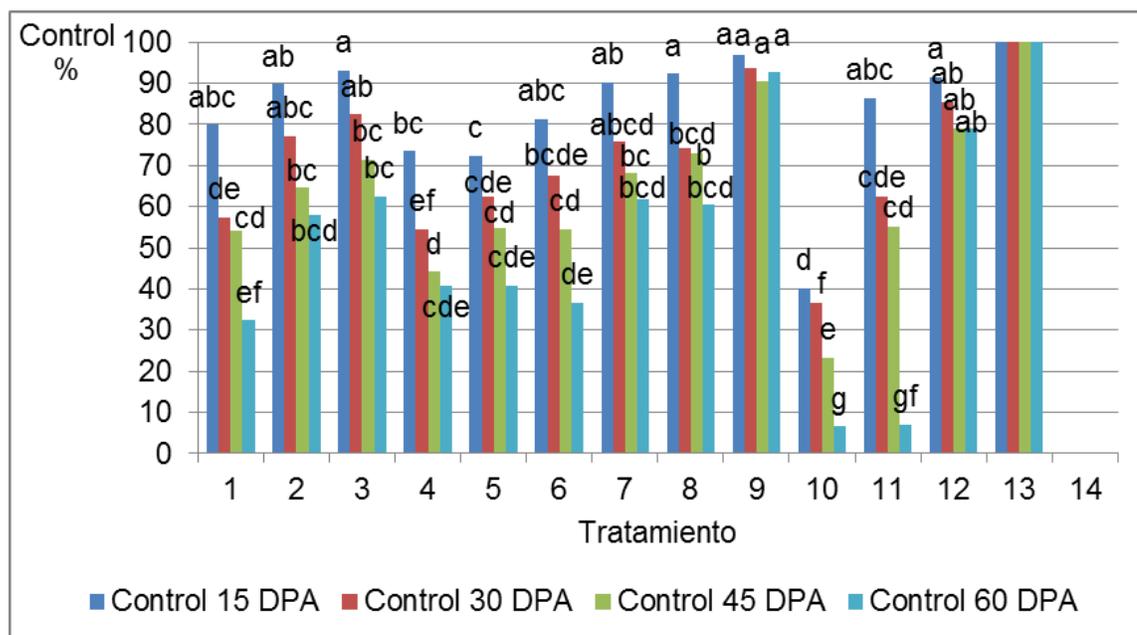
Dada la caída en residualidad de los productos, a los 45 DPA, el porcentaje de control general de para sulfentrazone, metribuzin y sus mezclas disminuyó, siendo este último, superior a dosis más altas. El tratamiento 9 es el que presenta los mejores controles sin diferencias estadísticas con el tratamiento 12, pero si con diferencias significativas sobre el resto (figura 18). Esto podría estar explicado por el eficaz control sobre la maleza de la dosis elevada de metribuzin y sus características físico químicas como su bajo potencial de lixiviación y alto koc (cuadro 1), lo que permitió al producto estar activo en suelo por más tiempo.

En el último período de evaluación, 60 DPA, se evidencia aún más la caída de residualidad de los diferentes herbicidas. Los tratamientos 9 y 12 continúan manteniendo los mayores porcentajes de control (figura 18). La

diferencia entre los anteriormente mencionados y los demás tratamientos, es cada vez mayor a medida que transcurren los días post aplicación.

En ésta última evaluación también se aprecia que el tratamiento 10 (diclosulam) presenta el control más pobre, sin diferencias estadísticas con el tratamiento 11 (diclosulam + sulfentrazone).

Figura 18. Control (%) de *Amaranthus palmeri* para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 15, 30, 45 y 60 DPA



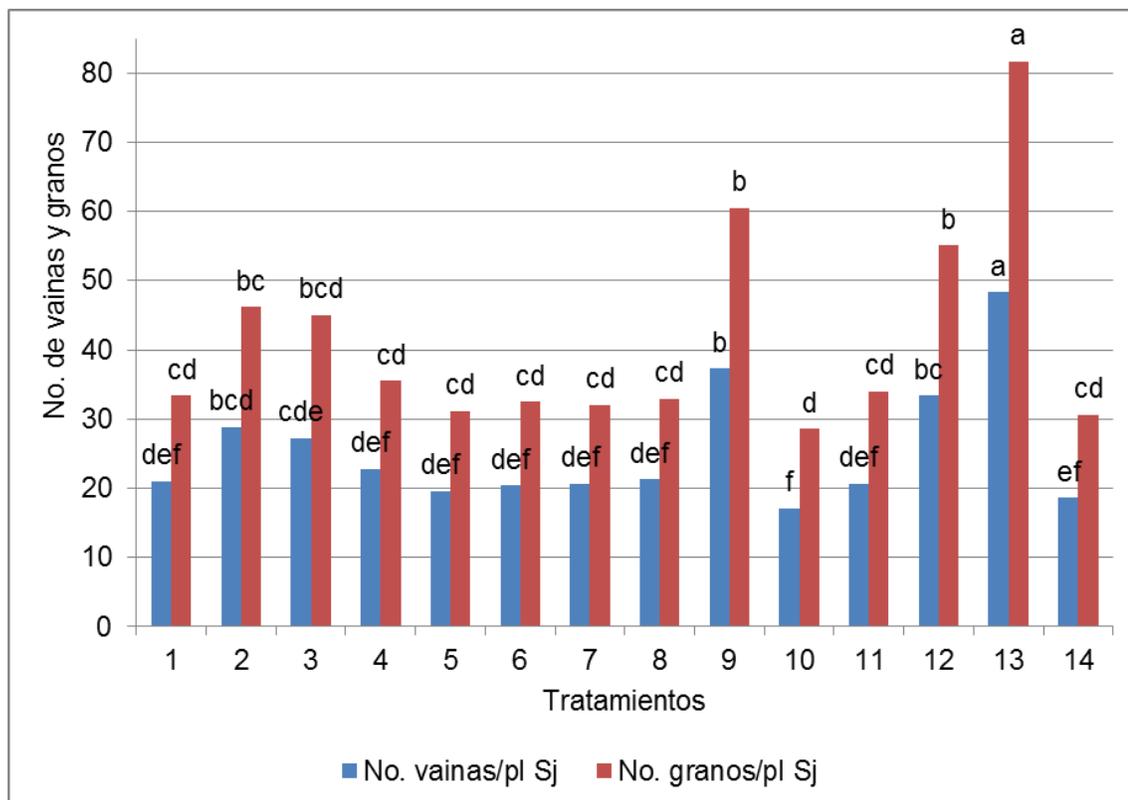
Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Figura 19. Tratamiento 9 (izquierda) y testigo enmalezado (derecha) a los 45 DPA



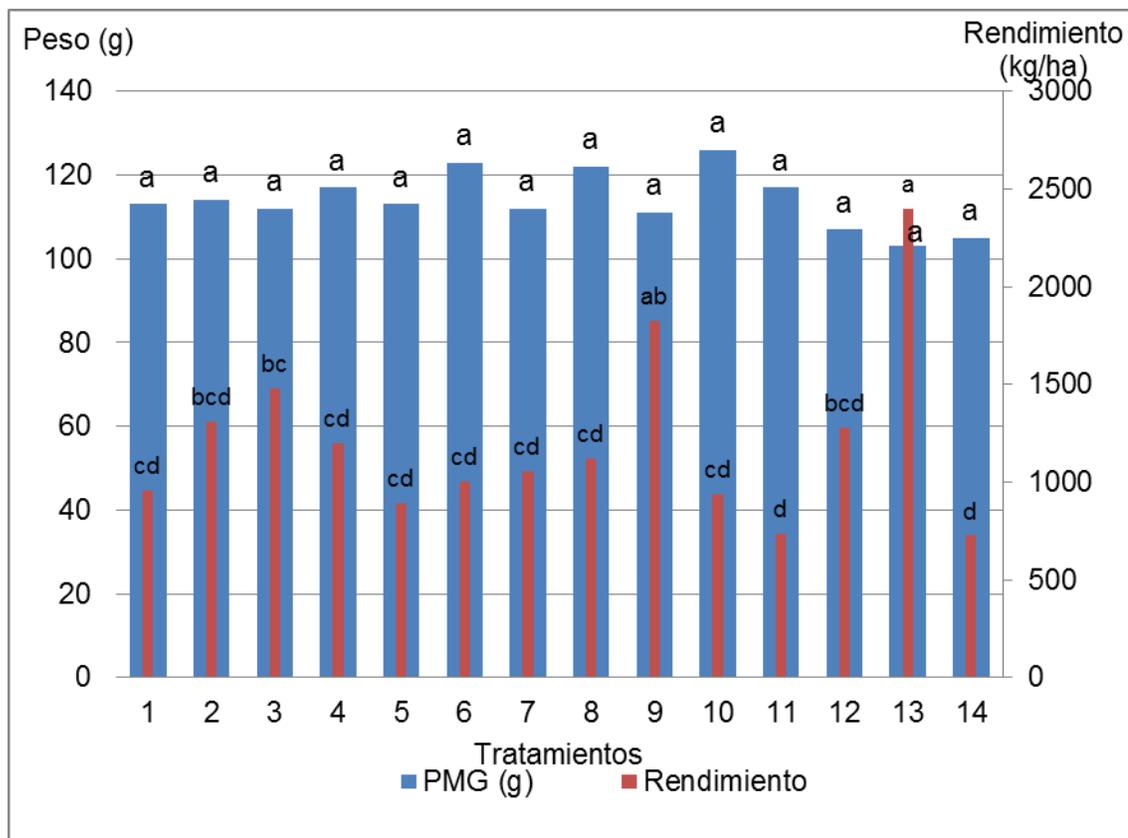
Al momento de la cosecha, 170 DPA, los tratamientos que presentaron mayor número de granos (componente principal del rendimiento) fueron los que desarrollaron mayor número de vainas (figura 20). En éstos se observa un menor peso de mil granos, pero de todas formas un mayor rendimiento debido a que un mayor peso de granos en los demás tratamientos, no alcanza a compensar el menor número de granos (figura 21). Los tratamientos con mejores resultados a la cosecha fueron el 9, 2, 3, y 12 (figura 21), obteniendo el mayor rendimiento.

Figura 20. Número de vainas y granos por planta de soja para 12 tratamientos de herbicida pre emergentes a los 170 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Figura 21. Rendimiento (kg/ha) y peso de mil granos (g) de soja para 12 tratamientos de herbicida pre emergentes a los 170 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

No se evidenciaron efectos de fitotoxicidad para el tratamiento 9 a través de síntomas visuales, ni tampoco en desarrollo y crecimiento, al no existir diferencias significativas en rendimiento con el testigo limpio (tratamiento 13).

La mayor eficiencia de control de *Amaranthus palmeri* y por un período más prolongado de este tratamiento y el tratamiento 12 también determinó una tendencia a mayor rendimiento en kg por hectárea de grano de soja, por lo que se puede concluir que a menor interferencia de la maleza, mayor rendimiento del cultivo. Al comparar los tratamientos limpios y sucios, se registró una pérdida de productividad de alrededor de 75% al estar el cultivo compitiendo con la maleza (diferencia entre testigo limpio y sucio).

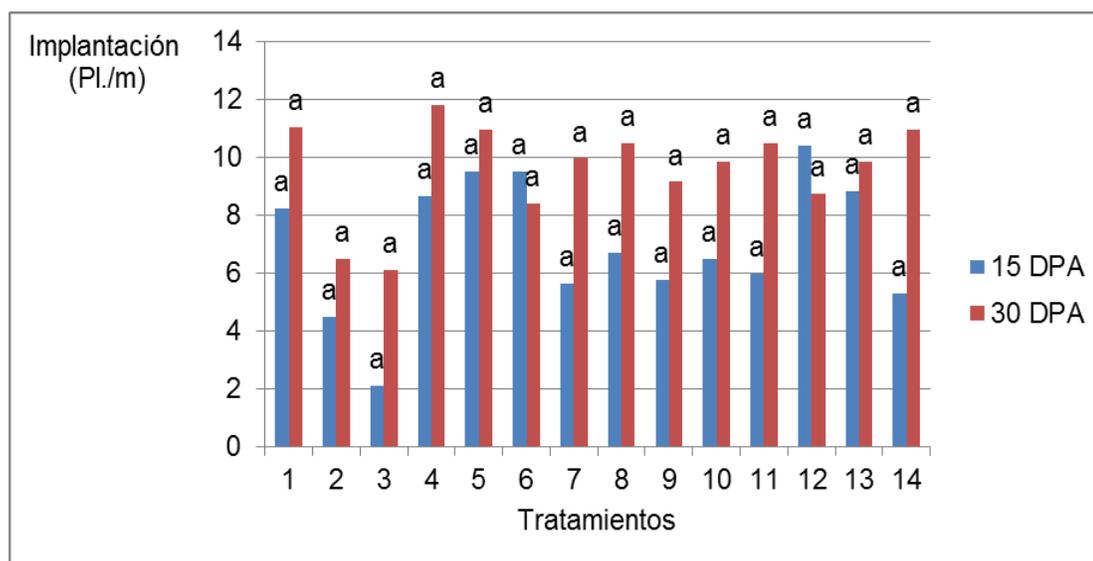
A pesar de la caída en la eficiencia de control de la maleza de los tratamientos 2 y 3 a los 60 DPA, cabe destacar que se alcanzaron iguales

rendimientos de cultivo que los tratamientos 9 y 12, demostrando que los primeros mantuvieron el cultivo limpio durante su período crítico.

#### 4.3. SITIO 3. FITOTOXICIDAD EN SOJA

Al igual que en el Sitio 1, en el primer momento de evaluación, 15 DPA, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el número de plantas de soja establecidas (figura 22). A los 30 DPA tampoco se observaron diferencias significativas en la implantación del cultivo de soja (figura 22).

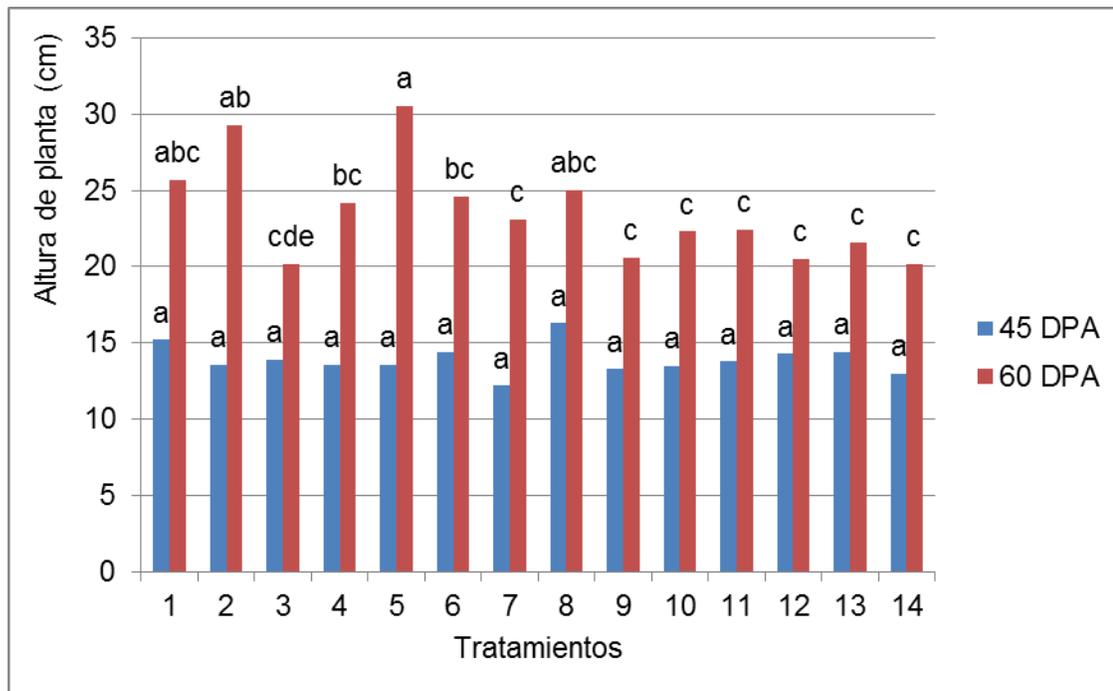
Figura 22. Implantación del cultivo de soja (pl./m) para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes 15 y 30 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Hasta los 45 DPA la altura de planta no mostró diferencias significativas entre tratamientos (figura 23). A los 60 DPA los tratamientos 2 (sulfentrazone + metribuzin a dosis media) y 5 (sulfentrazone), presentaron mayor altura de planta (figura 23). En cuanto a estos efectos, no han sido reportados previamente, por lo que no se ha podido argumentar estos resultados. Por lo tanto, puede adjudicarse a un problema en la selección de plantas durante el muestreo al azar. Tampoco coinciden estos tratamientos con los que causaron el mismo efecto en el Sitio 1, pero la diferente sensibilidad puede deberse a la diferencia en los materiales genéticos, hecho que sí ha sido reportado repetidamente en soja por Reiling et al. (2006).

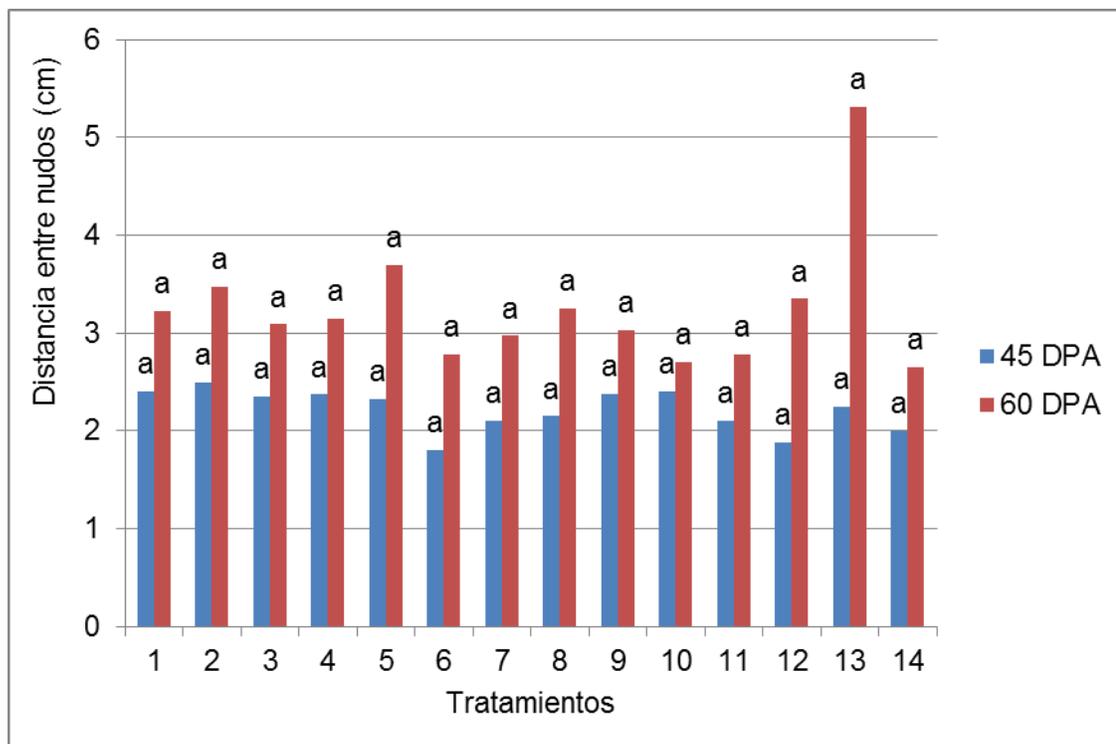
Figura 23. Altura (cm) del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

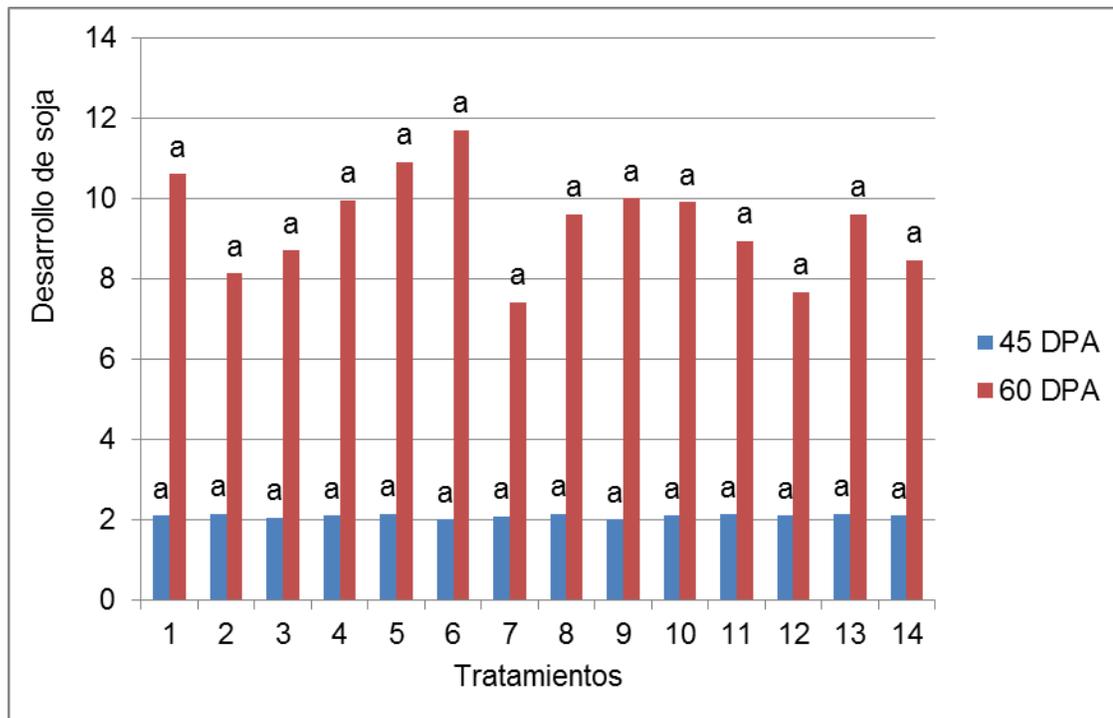
En cuanto a la distancia entre nudos y estadio de desarrollo del cultivo en los diferentes tratamientos, tampoco se evidenciaron diferencias significativas a los 45 y 60 DPA (figuras 24 y 25), información que coincide con la ya descrita en el Sitio 1.

Figura 24. Distancia entre nudos (cm) en el cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

Figura 25. Desarrollo del cultivo de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 45 y 60 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ). A cada estado de desarrollo se le asignó un valor numérico (ver anexo 3).

El tratamiento 5 fue el que presentó mayor peso de planta, con diferencias significativas, lo que sí coincide con la mayor altura de planta a los 60 DPA (cuadro 11).

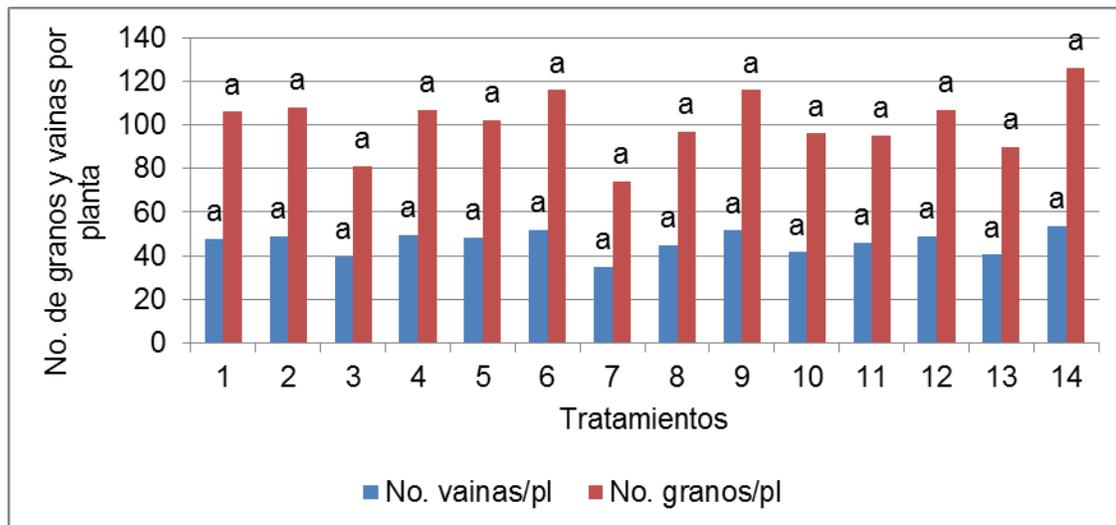
Cuadro 11. Biomasa (g) de 5 plantas de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 75 DPA

Tratamiento	Biomasa (g MS/5 pl.)
1	15,4 bc
2	22,6 b
3	15,9 bc
4	18,1 bc
5	35,5 a
6	18,7 bc
7	10,6 c
8	19,6 bc
9	15,0 bc
10	14,3 bc
11	21,2 bc
12	10,1 c
13	13,5 bc
14	20,9 bc

Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p > 0,05$ ).

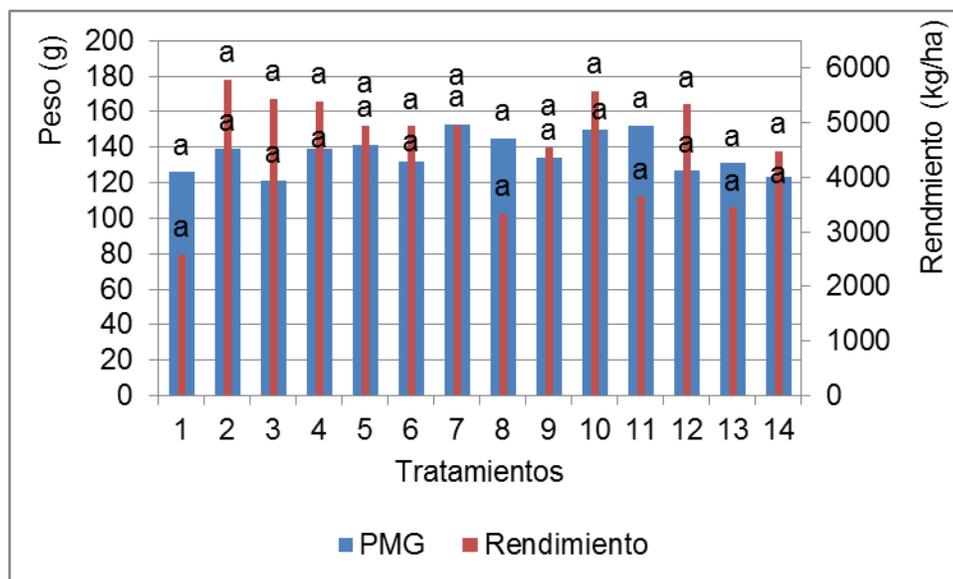
Al momento de la cosecha, 170 DPA, no existieron diferencias significativas en cuanto a los componentes del rendimiento (figuras 26 y 27).

Figura 26. No. de granos y vainas por planta de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 170 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p>0,05$ ).

Figura 27. Rendimiento (kg/ha) y peso de mil granos (g) de soja para 12 tratamientos de herbicidas pre emergentes a los 170 DPA



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ( $p>0,05$ ).

Es importante destacar que en ninguno de los momentos de evaluación se constataron visualmente síntomas característicos de daño por la aplicación de los herbicidas, al igual que en el Sitio 1.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. SITIO 1

- Los resultados indican que no existió fitotoxicidad en el cultivo de soja, cultivar Asgrow 6211, bajo las condiciones del año de estudio, no observándose daño visual ni tampoco efecto alguno en ninguna de las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo evaluadas.

### 5.2. SITIO 2

- El flujo máximo de emergencia de *Amaranthus palmeri* para el año en estudio se dio a mediados de noviembre, descendiendo el número de emergencias en las siguientes evaluaciones.

- La presencia de *A. palmeri* determinó una pérdida de rendimiento de aproximadamente un 75% al comparar el testigo limpio con el testigo enmalezado.

- Tanto las mezclas como los productos solos, mostraron mejores eficiencias de control a lo largo del período de evaluación al incrementar la dosis de aplicación.

- Las mezclas tuvieron mejor comportamiento que sus componentes actuando solos a igual dosis, determinando esto un mayor rendimiento de cultivo, con excepción de la mezcla sulfentrazone con diclosulam. Esto sugiere un posible efecto antagónico entre estos dos productos para el control de *A. palmeri* al ser utilizados en mezcla.

- Los tratamientos de metribuzín a dosis alta (tratamiento 9) y de flumioxazin (tratamiento 12) fueron los que presentaron mayor porcentaje de control para todas las evaluaciones realizadas.

- Únicamente el tratamiento 9 (metribuzin a dosis elevada), bajo las condiciones del año en estudio, alcanzó porcentajes considerados como mínimos necesarios para el control de ésta maleza (controles por encima del 90 %).

- Estos resultados demuestran que existen alternativas de pre emergencia para el control de esta maleza en el cultivo de soja. Aquellos tratamientos que no alcancen un 90 % de control se debe instrumentar el uso de un post emergente como una herramienta de repaso para el control de ésta especie.

### 5.3 SITIO 3

- Los resultados indican que no existió fitotoxicidad en el cultivo de soja, cultivar Nidera 5258, bajo las condiciones del año de estudio, no observándose daño ni tampoco efecto alguno en ninguna de las variables de crecimiento y desarrollo del cultivo evaluadas.

## 6. RESUMEN

*Amaranthus palmeri* es una maleza sumamente agresiva, con gran capacidad de invasión e interferencia e importantes dificultades de control. Hace unos años ya se detectaron infestaciones de esta maleza en la región y más recientemente en Uruguay. Poblaciones de esta maleza ya han generado resistencia a varios herbicidas con distintos modos de acción como lo son protox (PPO), ALS, EPSP, FSII y trifuralina, en otras partes del mundo. Teniendo en cuenta este contexto, resulta de vital importancia implementar estrategias de control integrado, por lo que es necesario conocer las mejores opciones de control adaptadas a las características biológicas que desarrolla la especie en los ambientes que invade (como lo es el patrón de emergencia). El presente trabajo tuvo como objetivos evaluar la eficacia del control químico con herbicidas pre emergentes para el cultivo de soja y los posibles efectos de fitotoxicidad al cultivo a diferentes dosis. Como objetivo secundario se planteó el estudio de las dinámicas de emergencia de la maleza en Uruguay. Para esto se instalaron tres experimentos en chacras comerciales donde se esperaba una alta infestación de *Amaranthus spp.* En los Sitios 1 y 3, se evaluaron los potenciales efectos de fitotoxicidad en el cultivo; mientras que en el Sitio 2, se evaluó la eficiencia de control de los herbicidas. Los resultados no mostraron efectos de fitotoxicidad por parte de los herbicidas en el cultivo, siendo las opciones evaluadas seguras para los cultivares implantados y bajo las condiciones del año de evaluación. En el Sitio 2, el pico de emergencia de *A. palmeri*, ocurrió a mediados del mes de noviembre, cuando se presentaron las mejores condiciones de temperatura y humedad. Se evidenció una caída del 75% en el rendimiento del cultivo por la presencia de la maleza sin ningún tipo de control. Los distintos tratamientos mostraron diferentes eficiencias de control y velocidad en la caída de residualidad al variar dosis y formulaciones.

Palabras clave: *Amaranthus palmeri*; Resistencia; Residualidad; Control; Emergencia; Fitotoxicidad.

## 7. SUMMARY

*Amaranthus palmeri* is an extremely aggressive weed, with great invasion and interference capacity and a huge difficulty to control. For some years now, large infestations of this weed were confirmed in the region, and currently found in Uruguay. Populations of this weed, have already generated resistance to several herbicide modes of action such as: protox (PPO), ALS, EPSP, PSII and trifluralin. Therefore, it is vital to implement integrated control management strategies, which makes it necessary to research into the biological traits that the species develops in the invaded environment (such as its emergence pattern). This study aimed to study the chemical control efficiency using pre emergence herbicides in soybean and to evaluate possible phytotoxicity effects to the crop at different doses. As a secondary objective, the dynamics of the weed emergence in Uruguay was studied. Three experiments were installed on commercial fields where high infestation of *Amaranthus spp.* were expected. At Site 1 and 3, the potential effects of phytotoxicity on soybean was evaluated. While at Site 2, the efficacy control of *A. palmeri* by herbicides was evaluated. Results showed that no phytotoxicity effect was detected by none of the tested herbicides. The maximum emergence of *Amaranthus palmeri* was recorded in November when the best temperature and humidity conditions were observed. A drop of 75% in crop yield was observed by the presence of this weed without any type of weed control. In addition, several weed control efficacies were observed as varying herbicides and doses.

Keywords: *Amaranthus palmeri*; Resistance; Residuality; Control; Emergence; Phytotoxicity.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmadi, M. S.; Haderlie, L. C.; Wicks, G. A. 1980. Effect of growth stage and water stress on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control and on glyphosate absorption and translocation. *Weed Science*. 28:277-282.
2. ALAM (Asociación Latinoamericana de Malezas). 1977. Métodos de evaluación de control de malezas en Latinoamérica. In: Congreso ALAM (2º., 1977. Cali, CO). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 6-12.
3. Altamirano, A.; Aguirre, L.; Álvarez, C.; Cayssials, R.; Da Silva, H.; Echeverría, A.; Falco, L.; Liesegang, J.; May, H.; Molfino, J.; Morelli, C.; Panario, D.; Piñeyrúa, J.; Puentes, R.; Sacco, G.; Sganga, J.; Terra, J.; Trambauer, A.; Víctora, C.; Acosta, G.; Palacios, J. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Montevideo, UY, s.e. Esc. 1:1.000.000. Color
4. Andrade, E. R.; Cavenaghi, A. L.; Guimarães, S. C.; Carvalho, S. J. P. 2015. Primeiro relato de *Amaranthus palmeri* no Brasil em áreas agrícolas no Estado do Mato Grosso. Circular Técnica IMA-MT. 19: 1-8.
5. Arregui, M. C.; Scotta, R.; Sánchez, D. 2006. Improved weed control with broadleaved herbicides in glyphosate-tolerant soybean (*Glycine max*). *Crop Protection*. 25(7): 653-656.
6. Arshad, M. A.; Gill, K. S.; Coy, G. R. 1994. Wheat yield and weed population as influenced by three tillage systems on a clay soil in temperate continental climate. *Soil and Tillage Research*. 28: 227-238.
7. Aulakh, J. S.; Price, A. J.; Enloe, S. F.; Santen, E. V.; Wehtje, G.; Patterson, M. G. 2012. Integrated Palmer amaranth management in glufosinate-resistant cotton; I. Soil-inversion, high-residue cover crops and herbicide regimes. *Agronomy*. 2(4): 295-311.
8. Ball, D. A.; Miller, S. D. 1990. Weed seed population response to tillage and herbicide use in three irrigated cropping sequences. *Weed Science*. 38: 511-517.
9. Belgeri, A.; Caulin, M. P. 2008. Comunidades de malezas en siembra directa en el litoral agrícola centro. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 59 p.
10. Birriel, I.; Damboriarena, F. 2016. Estudio de factores planta y ambientales afectando la capacidad germinativa de semillas de *Amaranthus*

*palmeri*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 52 p.

11. Boerboom, C. M.; Wyse, D. L.; Ysomers, D. A. 1990. Mechanism of glyphosate tolerance in birdsfoot trefoil (*Lotus corniculatus*). *Weed Science*. 38: 463-467.
12. Buhler, D. D.; Hartzler, R. G.; Forcella, F. 1997. Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Science*. 45: 329-336.
13. Cepeda, S. A.; Felipe, D. J.; Osso, E.; Milani, G.; Giménez, F.; Defelippio, F. 2015. Eficiencia de metribuzin y sulfentrazone en el manejo de *Amaranthus palmeri*. In: Congreso Latinoamericano de Malezas ALAM (21°. 2015, Buenos Aires, Argentina). Ciencia y producción; hacia un manejo racional. Buenos Aires, s.e. pp. 130-133.
14. Chhokar, R. S.; Balyan, R. S. 1999. Competition and control of weeds in soybean. *Weed Science*. 51: 107-111.
15. Cornejo, L.; Garay, J. 2014. *Amaranthus palmeri*, manejo integrado para su control. (en línea). San Luis, INTA. s.p. Consultado 3 dic. 2015. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/amaranthus-palmeri-manejo-integrado-para-su-control>
16. Covas, G. 1999. Plantas pampeanas. Buenos Aires, Fondo Editorial Pampeano. 181 p.
17. 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. *Weed Science*. 54:620–626
18. De Rutter, H.; Uffing, A. J. M.; Meinen, E.; Prins, A. 1990. Influence of surfactants and plant species on leaf retention of spray solutions. *Weed Science*. 38:567-572.
19. Derksen, D. A.; Thomas, A. G.; Lafond, G. F.; Loeppky, H. A.; Swanton, C. L. 1994. Impact of agronomic practices on weed communities; fallow within tillage systems. *Weed Science*. 42: 184-194.
20. Diebold, R. S.; McNaughton, K. E.; Lee, E. A.; Tardif, F. J. 2003. Multiple resistance to imazethapyr and atrazine in Powell amaranth (*Amaranthus powellii*). *Weed Science*. 51(3): 312-318.

21. Ehleringer, J. 1983. Ecophysiology of *Amaranthus palmeri*, a Sonoran Desert summer annual. *Oecologia*. 57(1-2): 107-112.
22. Ernst, O.; Siri-Prieto, G.; Bentancur, O.; Carballo, C.; Lazbal, E. 2007. Siembra directa en sistemas lecheros; evolución y situación actual en el Uruguay. *Agrociencia* (Montevideo). 11 (2): 78-86.
23. Fawcett, R.; Towery, D. 2003. Conservation tillage and plant biotechnology; how new technologies can improve the environment by reducing the need to plow. (en línea). West Lafayette, IN, CTIC (Conservation Technology Information Center). 20 p. Consultado 3 mar. 2016. Disponible en <http://www.ctic.org/media/pdf/Biotech2003.pdf>
24. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University. Special Report no. 80. 11 p.
25. Feldman, S. R.; Lewis, J. P. 1990. Output and dispersal of propagules of *Carduus acanthoides*. *Weed Research*. 30: 161-169.
26. \_\_\_\_\_; Vesprini, J. L.; Lewis, J. P. 1994. Survival and establishment of *Carduus acanthoides* L. *Weed Research*. 34: 265-273.
27. Frene, R.; Teran, E.; Apestegui, M.; Gerardo, U. 2015. Programas de control de malezas para biotipos de *Amaranthus* resistente a glifosato en soja Enlist en Argentina. In: Congreso Latinoamericano de Malezas ALAM (21°. 2015, Buenos Aires, Argentina). Ciencia y producción; hacia un manejo racional. Buenos Aires, s.e. pp. 141-155.
28. Frick, B.; Thomas, A. G. 1992. Weed surveys in different tillage systems in southwestern Ontario field crops. *Canadian Journal of Plant Science*. 72: 1337-1347.
29. Garay, J. C.; Colazo, J. C.; Scappini, E., Rivarola, R.; Verges, A.; Bernasconi, H.; Suarez, A. 2015. Patrón de emergencia de yuyo colorado (*Amaranthus palmeri* S. Watson) en la provincia de San Luis. In: Congreso Latinoamericano de Malezas ALAM (21°. 2015, Buenos Aires, Argentina). Ciencia y producción; hacia un manejo racional. Buenos Aires, s.e. pp. 55-68.
30. García Préchac, F. 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. In: Curso de Actualización sobre Siembra Directa (1998, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
31. Gill, K. S.; Arshad, M. A. 1995. Weed flora in the early growth period of spring crops under conventional, reduced and zero tillage systems on

- a clay soil in northern Alberta, Canada. *Soil and Tillage Research*. 33: 65-79.
32. Gossett, B. J.; Murdock, E. C.; Toler, J. E. 1992. Resistance of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) to the dinitroaniline herbicides. *Weed Technology*. 35: 587-591.
  33. Gottrup, O.; O'sullivan, P. A.; Schraa, R. J.; Vanden-Born, W. H. 1976. Uptake, translocation, meta bolism and selectivity of glyphosate in Canadá thistle and leafyspurge. *Weed Research*. 16:197-201.
  34. Gustafson, D. I. 1989. Groundwater ubiquity score; a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 8(4): 339-357.
  35. Hammond, E. 2010. Un "desliz" genéticamente modificado; el impacto del *Amaranthus palmeri* resistente al glifosato en la agricultura de los Estados Unidos. In: *Third World Network* (131°.., 2010, Penang, Malaysia). *Proceedings*. Penang. s.e. pp. 967-978.
  36. Heap, I.; LeBaron, H.; Powles, S. B.; Shaner, D. L. 2001. Introduction and overview of resistance; herbicide resistance and world grains. 3<sup>rd</sup>. ed. Boca Raton, FL, CRC. 22 p.
  37. \_\_\_\_\_. 2016. The international survey of herbicide resistant weeds. (en línea). s.l. s.p. Consultado 15 may. 2016. Disponible en <http://www.weedscience.org>
  38. Hoffner, A. E.; Joedan, D. L.; York, A. C.; Dunphy, E. J.; Everman, W. J. 2012. Influence of soybean (*Glycine max*) population and herbicide program on Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) control, soybean yield, and economic return. *ISRN Agronomy*. 2012: 1-8.
  39. Hyvönen, T.; Salonen, J. 2002. Weed species diversity and community composition in cropping practices at two intensity levels—a six-year experiment. *Plant Ecology*. 159(1): 73-81.
  40. Jasieniuk, M.; Brûlé-Babel, A. L.; Morrison, I. N. 1996. The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science*. 44: 176-193.
  41. Jaworski, E. G. 1972. Mode of action of N-phosphonomethylglycine. Inhibition of aromatic amino acid biosynthesis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 20(6): 1195-1198.

42. Kapusta, G. Krauz, R. F. 1993. Weed control and yield are equal in conventional, reduced, and no-tillage soybean (*Glycine max*) after 11 years. *Weed Technology*. 7: 443-451.
43. Klingman, T. E.; Oliver, L. R. 1994. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) interference in soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*. 42: 523-527.
44. Kogan, M.; Pérez, A. 2003. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards. *Weed Research*. 43(1): 12-19.
45. Lazcano, J. M.; Venier, F.; Murillo, F. 2015. Control químico de *Amaranthus palmeri* S. Watson. In: Congreso Latinoamericano de Malezas ALAM (21°. , 2015, Buenos Aires, Argentina). Ciencia y producción; hacia un manejo racional. Buenos Aires, s.e. pp. 156-172.
46. Luna, I. M.; Druetta, M. A. 2015. Uso de la tecnología Clearfield en maíz para el manejo de *Pappophorum papiferum* en la región Noreste de Santiago del Estero. (en línea). Mendoza, INTA 6 p. Consultado 17 ago. 2016. Disponible en [http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-uso\\_de\\_la\\_tecnologia\\_clearfield\\_en\\_maiz\\_para\\_el\\_manejo\\_de\\_pappophorum\\_papiferum\\_en\\_la\\_region\\_noreste\\_de\\_santiago\\_del\\_estero.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-uso_de_la_tecnologia_clearfield_en_maiz_para_el_manejo_de_pappophorum_papiferum_en_la_region_noreste_de_santiago_del_estero.pdf)
47. Mailhos, V.; San Román, G.; Ríos, A.; García, M. A.; Belgeri, A.; Caulin, M. P. 2008. Comunidades florísticas asociadas a los sistemas de siembra directa en Uruguay; factores que pueden afectar la efectividad del herbicida glifosato. Montevideo. INIA. 167 p. (Actividades de Difusión no. 554).
48. Mann, H.; Cavers, P. B. 1979. The regenerative capacity of root cuttings of *Taraxacum officinale* Weber under natural conditions. *Canadian Journal of Botany*. 57: 1783-1791.
49. Martino, D. 1995. El herbicida glifosato; su manejo más allá de la dosis por hectárea. Montevideo, INIA. 22 p. (Serie Técnica no. 61).
50. \_\_\_\_\_. 1997. Siembra directa en los sistemas agrícola ganaderos del litoral. Montevideo, INIA. 25 p. (Serie Técnica no. 82).
51. Marwat, K. B.; Nafziger, E. D. 1990. Cocklebur and velvetleaf interference with soybean grown at different densities and planting patterns. *Agronomy Journal*. 82(3): 531-534.
52. Metzler, M. J. 2015. *Amaranthus palmeri* S. Watson; biología y manejo. Paraná, INTA. 4 p. (Serie Extensión Digital. Segundo trimestre. no. 2).

53. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2007. Anuario estadístico agropecuario 2007. 195 p.
54. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2015. Anuario estadístico agropecuario 2015. 215 p.
55. Moguloju, M.; Ramana, M. V.; Parameswari, Y. S. 2012. Effect of pre-emergence herbicides on weed control, seed yield and returns of soybean (*Glycine max*). *Agricultural Research* 44 (3): 314-317.
56. Montoya, J. C.; Garay, J. A.; Cervellini, J. M. 2015. Amarantáceas en la región semiárida central Argentina; La Pampa y San Luis. San Luis, INTA. 28 p. (Serie técnica no. 113).
57. Morichetti, S.; Cantero, J. J.; Núñez, C.; Barboza, G. E.; Amuchastegui, A.; Ferrel, J. 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. 48 (2): 347-354.
58. Mortensen, D. A.; Bastiaans, L.; Sattin, M. 2000. The role of ecology in the development of weed management systems; an outlook. *Weed Research*. 40: 49-62.
59. Mosier, D. G.; Oliver, L. R. 1995. Common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and entireleaf morningglory (*Ipomoea hederacea* var. *integriuscula*) interference on soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*. 42: 239-246.
60. Moss, S. R. 2002. Herbicide-resistant weeds; weed management handbook. 9<sup>th</sup> ed. Malden, Blackwell Science. 423 p.
61. Mulugeta, D.; Boerboom, C. M. 2000. Critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. *Weed Science*. 48(1): 35-42.
62. Norsworthy, J. K.; Riley, M. B.; Bridges, W. 2010. Annual changes in temperature and light requirements for germination of Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) seeds retrieved from soil. *Weed Science*. 58: 426-432.
63. Nurse, R. E.; Hamill, A. S.; Swanton, C. J.; Tardif, F. J.; Deen, W.; Sikkema, P. H. 2007. Is the application of a residual herbicide required prior to glyphosate application in no-till glyphosate-tolerant soybean (*Glycine max*). *Crop Protection*. 26(4): 484-489.
64. Parminder, S.; Aulakh, J. S.; Jugulam, M.; Jhala, A. J. 2015. Herbicide-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats.) in the United States; mechanisms of resistance, impact, and management.

(en línea). In: Price, A.; Kelton, J.; Sarunaite, L. eds. Herbicides, agronomic crops and weed biology. Rijeka, Croatia, INTECH. pp. 1-29. Consultado 30 may. 2016. Disponible en <http://www.intechopen.com/books/herbicides-agronomic-crops-and-weed-biology/herbicide-resistant-palmer-amaranth-amaranthus-palmeri-s-wats-in-the-united-states-mechanisms-of-res>

65. Perrachón, J. 2011. Siembra directa en Uruguay; algunos mitos muy arraigados en el ámbito agropecuario. *Revista del Plan Agropecuario*. 139: 42-45.
66. Pornprom, T.; Sukcharoenvipharat, W.; Sansiriphun, D. 2010. Weed control with pre-emergence herbicides in vegetable soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Crop Protection*. 29: 684-690.
67. Powles, S. B. 1997. Success from adversity; herbicide resistance can drive changes to sustainable weed management systems. *Weed Research*. 3: 119-1126.
68. Radosevich, S. R.; Devilliers, O. T. 1976. Studies on the mechanism of s-triazine resistance in common groundsel. *Weed Science*. 24: 229-232.
69. \_\_\_\_\_. 1977. Mechanism of atrazine resistance in lambsquarters and pigweed. *Weed Science*. 25: 316-318.
70. Reiling, K. L.; Simmons, F. W.; Riechers, D. E.; Steckel, L. E. 2006. Application timing and soil factors affect sulfentrazone phytotoxicity to two soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars. *Crop Protection*. 25 (3): 230-234.
71. Reznick, D. N.; Cameron, K. G. 2001. The population ecology of contemporary adaptations; what empirical studies reveal about the conditions that promote adaptive evolution. *Genetica*. 112 (1): 183-198.
72. Ríos, A.; Fernández, G.; Collares, L. 2005. Estudio de las comunidades de malezas asociadas a los sistemas de siembra 56 directa en Uruguay. In: Seminario Taller-Iberoamericano Resistencia a Herbicidas y Cultivos Transgénicos (2005, Colonia del Sacramento). Ponencias. Colonia, INIA. 1 disco compacto.
73. \_\_\_\_\_. 2013. Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables. Montevideo, INIA. 168 p. (Serie Técnica no. 204).

74. Robinson, E. L.; Langdate, G. W. Stuedemann, J. A. 1984. Effect of three weed control regimes on no-till and tilled soybean (*Glycine max*). *Weed Science*. 32: 17-19.
75. Robles Vázquez, W. 2015. Propiedades físicas y químicas de los herbicidas. (en línea). s.n.t. 23 p. Consultado 8 ago. 2016. Disponible en <http://passel.unl.edu/Image/Robles%20VazquezWilfredo1129928587/Propiedades.pdf>
76. Røynberg, T.; Blake, N. E.; Lund-Høie, K. 1992. Effects of adjuvants and temperatura on glyphosate absorption by cultured cells of velvetleaf (*Abutilon theophrasti Medic*). *Weed Research*. 32:419-428.
77. Ruegg, W. T.; Quadranti, M.; Zoschke, A. 2007. Herbicide research and development: challenges and opportunities. *Weed Research*. 47: 271-275.
78. Ryan, G. F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science*. 18: 614-616.
79. Sandberg, C. L.; Meggitt, W. F.; Penner, D. 1980. Absorption, translocation and metabolism of <sup>14</sup>Cglyphosate in several weed species. *Weed Research*. 20:195-200
80. Schonbeck, M. 2014. Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*). (en línea). s.l., Virginia Association for Biological Farming. s.p. Consultado 7 dic. 2015. Disponible en <http://articles.extension.org/pages/65209/palmer-amaranth-amaranthus-palmeri>
81. SEMARNAT. INECC (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Ecología y Cambio Climático, MX). 2015. Características físico químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. (en línea). s.l. s.p. Consultado 8 ago. 2016. Disponible en [http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas\\_fyq\\_plaguicidas.pdf](http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf)
82. Servaites, J. C.; Tucci, M. A.; Geiger, D. R. 1987. Glyphosate effects on carbón assimilation, ribulose biphosphate carboxylase activity, and metabolite levéis in sugar beet leaves. *Plant Physiology*. 85:370-374.
83. Singh, S.; Kirkwood, R.; Marshall, G. 1999. Biology and control of *Phalaris minor* Retz in wheat. *Crop Protection*. 18: 1-16.
84. Sprague, C. L.; Stoller, E. W.; Wax, L. M.; Horak, M. J. 1997. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and common waterhemp

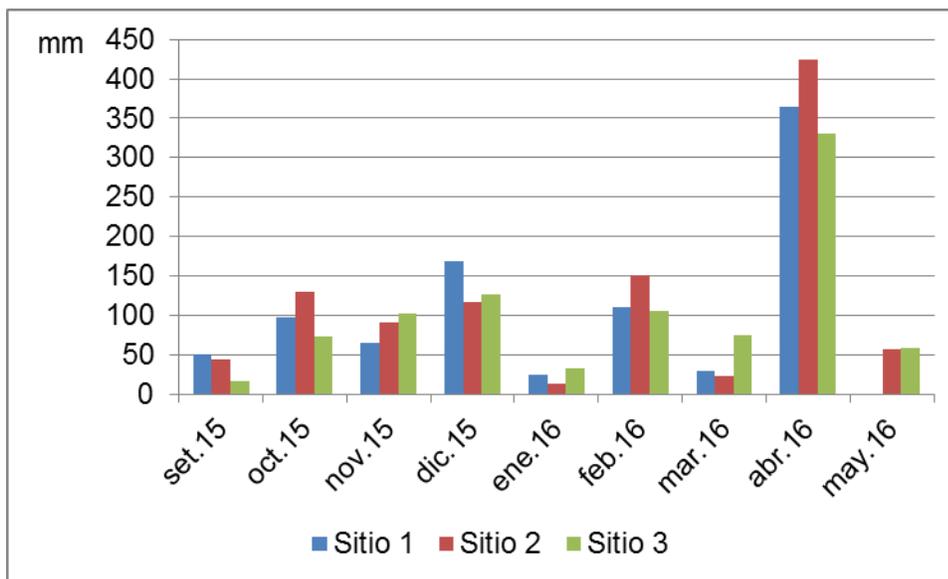
(*Amaranthus rudis*) resistance to selected ALS-inhibiting herbicides. *Weed Science*. 45: 192-197.

85. Steinrücken, H. C.; Amrhein, N. 1980. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 94(4): 1207-1212.
86. Suwunnamek, U.; Y Parker, C. 1975. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate; the influence of ammonium sulphate and other additives. *Weed Research*. 15:13-19.
87. Swanton, C. J.; Weaver, S.; Cowan, P.; Acker, R. V.; Deen, W.; Shreshta, A. 1999. Weed thresholds; theory and applicability. *Journal of Crop Production*. 2(1): 9-29.
88. Takabayashi, M.; Kubota, T.; Abe, H. 1979. Dissemination of weed seeds through cow feces. *Japan Agricultural Research Quarterly*. 13 (3): 204-207.
89. Teaster, N. D.; Hoagland, R. E. 2014. Characterization of glyphosate resistance in cloned *Amaranthus palmeri* plants. *Weed Biology and Management*. 14(1): 1-10.
90. Toledo, R. E. s.f. Fases de desarrollo del cultivo de soja. (en línea). s.n.t. 12 p. Consultado 20 ago. 2016. Disponible en [http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/feno\\_soja.pdf](http://agro.unc.edu.ar/~ceryol/documentos/soja/feno_soja.pdf)
91. Towson, J. K.; Butler, R. 1990. Uptake, translocation and phytotoxicity of imazapyr and glyphosate in *Imperata cylindrica* (L). Raeuschel; effect of herbicide concentration, position of deposit and two methods of direct contact application. *Weed Research*. 30:235-243.
92. Trezzi, M. M.; Von Hertwig, H.; Galon, L.; Diesel, F.; Vidal, R. V. 2016. Biological characteristics, resistance to herbicides and management of *Amaranthus palmeri* in agroecosystems. *Revista Brasileira de Herbicidas*. 15 (1): 48-57.
93. Tuesca, D.; Puricelli, E.; Papa, J. C. 2001. A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. *Weed Research*. 41: 369-382
94. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 2005. Efecto del sistema de labranza sobre la dinámica de la comunidad de malezas en trigo y en barbechos de secuencias de cultivos resistentes a glifosato. *Agriscientia*. 21 (2): 69-78.

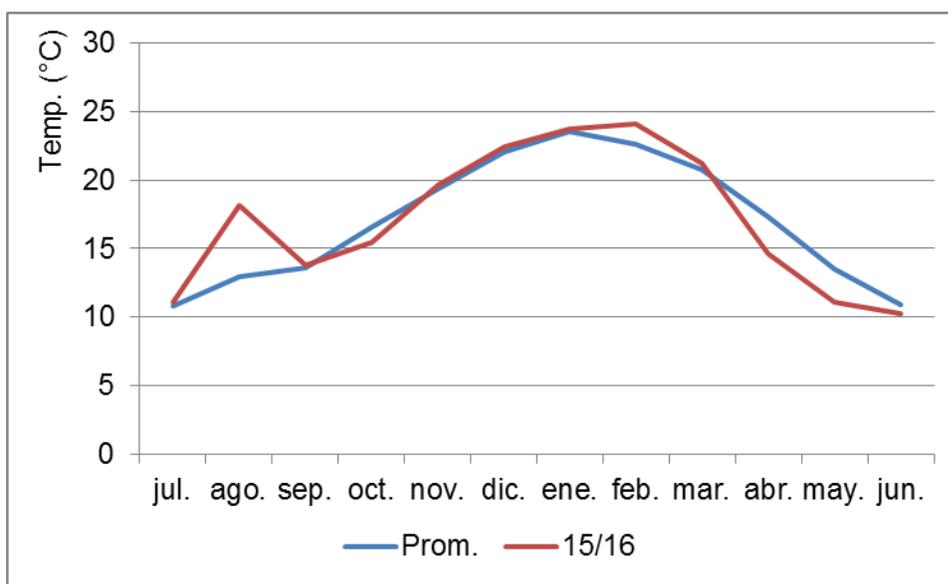
95. UH (University of Hertfordshire, UK). PPDB; pesticides properties data base. (en línea). Hatfield. s.p. Consultado 8 ago. 2016. Disponible en <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es/index.htm>
96. Valverde, B. E.; Fischer, A. 2000. Evolución de resistencia a herbicidas, diagnóstico y manejo en malezas del arroz. s.n.t. 21 p.
97. \_\_\_\_\_. 2004. Manejo de la resistencia a los herbicidas en los países en desarrollo. *In*: Labrada, M. ed. Manejo de malezas para países en desarrollo; addendum 1. Roma, FAO. pp. 247-270 (Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal no. 120).
98. \_\_\_\_\_.; Heap, I. M. 2010. El estado actual de la resistencia a herbicidas en el mundo. *In*: Seminario Internacional Diagnóstico y Manejo de la Resistencia a Herbicidas (44°. 2010, Temuco, Chile). Trabajos presentados. s.n.t. pp. 1-26.
99. Viviani, F.; Little, J. P.; Pallett, K. E. 1998. The mode of action of isoxaflutole II. Characterization of the inhibition of carrot 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase by the diketone nitrile derivative of isoxaflutole. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 62(2): 125-134.
100. Wrubel, R. P.; Gressel, J. 1994. Are herbicide mixtures useful for delaying the rapid evolution of resistance? A case study. *Weed Technology*. 8: 635-648.
101. WSSA (Weed Science Society of America). 1998. Herbicide resistance and herbicide tolerance defined. *Weed Technology*. 12(4): 784-789.

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Régimen de precipitaciones para los diferentes sitios en estudio



Anexo 2. Régimen de temperaturas para los diferentes sitios en estudio



Anexo 3. Escala de desarrollo de soja

Escala de desarrollo de soja	
v1	0
v2	1
v3	2
v4	3
v5	4
v6	5
v7	6
v8	7
v9	8
v10	9
v11	10
v12	11
v13	12
v14	13
v15	14
R1	16
R2	17
R3	18
R4	19
R5	20

#### Anexo 4. Análisis de suelo. Sitio 1

<b>Estudio solicitado:</b> pH Agua - Materia orgánica.-			
<u>Datos aportados por el cliente:</u> Se recibe una muestra de suelo identificada como : 1			
<b>PROCESAMIENTO</b>			
<b>Análisis</b>	<b>Método</b>		<b>Operador</b>
pH agua	INIA La Estanzuela. Lab. de Suelos- Potenciométrico		JLG
Carbono Orgánico	Combustión a 900°C y detección de CO2 por infrarrojo		JLG
<b>RESULTADOS</b>			
ID MUESTRA	pH agua	% Materia Orgánica	% Carbono Orgánico
1	5.69	4.36	2.53

Fuente: Colaveco.<sup>1</sup>

#### Anexo 5. Análisis de suelo. Sitio 2

<b>PROCESAMIENTO</b>			
<b>Análisis</b>	<b>Método</b>		<b>Operador</b>
pH agua	INIA La Estanzuela. Lab. de Suelos- Potenciométrico		JLG
Carbono Orgánico	Combustión a 900°C y detección de CO2 por infrarrojo		JLG
<b>RESULTADOS</b>			
ID MUESTRA	pH agua	% Materia Orgánica	% Carbono Orgánico
1	5.89	3.91	2.27

Fuente: Colaveco.<sup>1</sup>

#### Anexo 6. Análisis de suelo. Sitio 3

<b>PROCESAMIENTO</b>			
<b>Análisis</b>	<b>Método</b>		<b>Operador</b>
pH agua	INIA La Estanzuela. Lab. de Suelos- Potenciométrico		JLG
Carbono Orgánico	Combustión a 900°C y detección de CO2 por infrarrojo		JLG
<b>RESULTADOS</b>			
ID MUESTRA	pH agua	% Materia Orgánica	% Carbono Orgánico
1	5.13	2.86	1.66

Fuente: Colaveco.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Colaveco. Servicio de Análisis de Suelo. 2015. Análisis de materia orgánica, carbono orgánico, y pH de suelo (sin publicar).

Anexo 7. Datos generales obtenidos en el programa S.A.S.

Sitio 1					
Trat.	$\sqrt{\text{PI. Sj. en 0,5 m lineales}}$ (implantación 20 DPA)	% control 35 DPA	acos 35 DPA	$\sqrt{\text{PI. Sj en 0,5 m lineales}}$ (implantación 35 DPA)	Altura Sj. (35 DPA)
	A	C	D	E	G
1	1.61 bc	33.5 bcdef	1.19 abcde	2.23	26.1
2	1.61 bc	46.3 bcde	1.08 bcde	2.23	28.3
3	1.05 c	55.7 bcd	0.89 cde	2.15	25.6
4	1.97 abc	55.6 bcd	0.93 cde	2.31	23.8
5	1.82 abc	45.9 bcde	1.08 bcde	2.30	27.6
6	2.70 a	11.0 ef	1.46 ab	2.24	27.7
7	1.24 bc	66.2 abc	0.81 de	2.24	25.4
8	1.52 bc	43.1 bcde	1.11 abcde	2.16	25.8
9	1.27 bc	65.1 abc	0.85 de	2.31	28.2
10	1.38 bc	71.3 ab	0.77 e	2.38	25.8
11	1.91 abc	30.5	1.25	2.30	25.1

		cdef	abcd		
12	2.23 ab	21.9 def	1.34 abc	2.16	28.7
13	1.89 abc	100 a	0 f	2.23	24.8
14	2.79 a	0 f	1.57 a	2.24	25.3
C.V (%)	35	49	27	8	12
Pr>F	0.0545	0.0015	0.0001	0.9361	0.7615
MDS	1	38	0.5	0.3	5
R2	0.52	0.71	0.77	0.27	0.4

Sitio 2						
Trat.	Control 15 DPA	Arc 15DPA	√Pl. Sj. en 0,5 m lineales (implantación 15 DPA)	% control 30 DPA	acos 30 DPA	√Pl. Sj. en 0,5 m lineales (implantación 30 DPA)
	A	B	C	E	F	G
1	79.9 cd	0.63 cde	2.51	57.3 ef	0.94 cd	2.23
2	89.8 abc	0.44 efg	2.56	77.2 bcd	0.67 efg	2.22
3	93.0 abc	0.36 fg	2.59	82.4 abc	0.60 fg	2.35
4	73.5 d	0.71	2.83	54.5 f	0.99	2.39

Sitio 3

		cd			bc	
5	72.5 d	0.72 c	2.45	62.5 def	0.88 cde	2.18
6	81.3 bcd	0.59 cdef	2.43	67.7 cdef	0.83 cdef	2.29
7	90.2 abc	0.44 defg	2.67	75.8 cd	0.69 efg	2.32
8	92.3 abc	0.38 efg	2.29	74.3 cde	0.72 defg	2.32
9	96.8 ab	0.22 gh	2.47	93.8 ab	0.34 h	2.32
10	40.3 e	1.13 b	2.61	36.5 g	1.19 b	2.25
11	86.5 abcd	0.51 cdef	2.48	62.4 def	0.89 cde	1.88
12	91.5 abc	0.36 fg	2.41	85.4 abc	0.54 gh	1.96
13	100 a	0 h	2.58	100 a	0 i	2.34
14	0 f	1.57 a	2.45	0 h	1.57 a	2.10
C.V (%)	14	32.7	10	19	21	11.2
Pr>F	0.0001	0.0001	0.6208	0.0001	0.0001	0.1670
MDS	16	0.27	0.37	18	0.2	0.36
R2	0.89	0.86	0.42	0.85	0.88	0.41

Trat.	% control EC. 15DPA	acos EC. 15DP	$\sqrt{\text{Pl. Sj. en 0,5 m lineales}}$ (implantación 15 DPA)	% control EC 30 DPA	acos EC 30 DPA	$\sqrt{\text{Pl. Sj. en 0,5 m lineales}}$ (implantación 30 DPA)
	A	B	C	E	F	G
1	52.9 bcd	0.99 bc	2.03	66.5 bcd	0.84 bc	2.35
2	55.8 bcd	0.91 bc	1.50	85.4 ab	0.53 cd	1.80
3	59.2 bcd	0.85 bc	1.03	70.2 abcd	0.72 bc	1.75
4	47.1 bcd	1.04 bc	2.08	63.4 bcd	0.88 bc	2.43
5	52.9 bcd	0.96 bc	2.18	75.9 abc	0.69 bc	2.34
6	53.3 bcd	0.97 bc	2.18	66.8 bcd	0.83 bc	2.05
7	66.9 bc	0.83 c	1.68	50.6 cd	1.00 b	2.23
8	67.3 bc	0.81 c	1.83	51.1 cd	1.03 b	2.29
9	69.3 b	0.79 c	1.7	58.8 cd	0.94 b	2.14
10	55.4 bcd	0.94 bc	1.80	62.1 bcd	0.89 b	2.22
11	35.8 d	1.19 b	1.73	59.8	0.91 b	2.26

				bcd		
12	39.8 cd	1.15 bc	2.28	49.8 d	1.04 b	2.09
13	100 a	0 d	2.10	93.2 a	0.19 d	2.22
14	0 e	1.57 a	1.63	0 e	1.57 a	2.34
C.V (%)	36	25	28	30	29	24
Pr>F	0.0001	0.0001	0.1009	0.0001	0.0001	0.8443
MDS	29	0.4	0.7	26	0.4	0.7
R2	0.75	0.81	0.55	0.66	0.67	0.34