



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

**Efecto del agregado de adyuvantes
en el control de
Amaranthus palmeri S. Wats.
y sobre las características de la solución**

Luciana Rey Arocena
Maestría en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias Vegetales

Diciembre 2021

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (Dra) Grisel Fernández, Ing. Agr. (PhD) Alejandro García e Ing. Agr. (Dr) João Paulo A. Rodrigues da Cunha, el 8 de Diciembre de 2021. Autor/a: Luciana Rey Arocena. Director/a: Ing. Agr. (Dra) Juana Villalba.

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su ejemplo, siempre me invitaron a ser más para los demás.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle en primer lugar a Oscar Bentancur, por la ayuda en el análisis y en la comprensión de los datos.

A Leonardo Sequeira y a Mathias Collares por la ayuda incondicional en el trabajo de campo.

A todos los amigos que me regaló esta maestría.

A Grisel y a Juana por cuidar y hacer crecer mi vocación.

A todos ellos, ¡Muchas Gracias!.

TABLA DE CONTENIDO

Página	
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1. ADYUVANTES.....	2
1.1.1. <u>Clasificación de Adyuvantes</u>	3
1.1.1.1. Surfactante - Tensioactivo.....	3
1.1.1.2. Penetrantes.....	10
1.1.1.3. Adherentes.....	14
1.1.1.4. Antieaporantes.....	14
1.1.1.5. Acondicionador de agua: Acidificantes y Correctores de dureza.....	15
1.1.1.6. Antiespumantes.....	16
1.1.1.7. Antideriva.....	16
1.2. ESPECIFICIDAD DE LOS ADYUVANTES.....	17
1.2.1. <u>Especificidad de los Adyuvantes según especie de maleza</u>	19
1.2.2. <u>Especificidad de los Adyuvantes según herbicida</u>	28
1.1.2.1. Herbicida PPO.....	28
1.1.2.2. Mecanismos de absorción de herbicida PPO.....	34
1.1.2.3. Formulación de Herbicidas.....	40
1.2.3. <u>Especificidad de los Adyuvantes según condiciones ambientales</u>	41
1.3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	44
1.3.1. <u>Objetivos</u>	44
1.3.2. <u>Hipótesis</u>	44

2. <u>EFFECTO DEL AGREGADO DE DIFERENTES ADYUVANTES A LOS HERBICIDAS SAFLUFENACIL Y FOMESAFEN EN EL CONTROL DE <i>Amaranthus palmeri</i> S.Wats.</u>	46
2.1 RESUMEN.....	46
2.2 INTRODUCCIÓN.....	47
2.3 METODOLOGÍA.....	50
2.3.1 <u>Evaluación del agregado de adyuvantes en el control de malezas</u>	50
2.3.2. <u>Evaluación del agregado de adyuvantes en la solución herbicida</u>	53
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
2.4.1. <u>Efecto del agregado de adyuvantes en el control de malezas</u>	54
2.4.2. <u>Efecto del agregado de adyuvantes en las características de la solución herbicida</u>	66
2.5 CONCLUSIONES.....	73
2.6 AGRADECIMIENTOS.....	73
2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
3. <u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</u>	76
4. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	80

RESUMEN

La incorporación de adyuvantes es una de las tecnologías propuestas para mejorar la efectividad de los herbicidas de baja translocación como los herbicidas PPO. La acción de los adyuvantes no solo depende de las formulaciones adyuvante-herbicidas, sino de las características morfo-anatómicas de las malezas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de cuatro adyuvantes: Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a los herbicidas saflufenacil y fomesafen en el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats y las posibles causales de esta respuesta. Cada herbicida constituyó un experimento, con un diseño completo al azar, definido por los cuatro adyuvantes en estudio de dosis respuesta (0; 0,25; 0,5 y 1% v/v). Se realizaron estimaciones de control utilizando una escala porcentual de daño en forma diaria. Los resultados obtenidos fueron comparados con el control en *Bidens pilosa*, verificando la especificidad de esta herramienta. Se estudió el efecto de los adyuvantes sobre las propiedades físico-químicas de las soluciones que explicaran las variaciones de control. Los tratamientos en saflufenacil presentaron aumentos significativos en control de *A. palmeri* debido al agregado de adyuvantes. Los efectos dependieron del tipo y concentración del adyuvante, mostrando una fuerte dependencia con la especie, principalmente al utilizar adyuvantes oleosos. Los adyuvantes Organosiliconado y Organosiliconado Metilado fueron los únicos capaces de modificar propiedades físicas en la solución herbicida, independientemente de las especies tratada. No se detectaron importantes aumentos de control al incorporar adyuvantes a la solución de fomesafen, por el contrario, algunos tratamientos generaron disminuciones respecto al control del testigo. Estos resultados demuestran la importancia de contemplar todos los factores a la hora de decidir incorporar un adyuvante, evitando generalizaciones en las recomendaciones de esta tecnología.

Palabras clave: herbicidas PPO, tecnología de aplicación

Effect of type of adjuvant on *Amaranthus palmeri* S. Wats. control and solution properties

SUMMARY

Low translocation or non-mobility of PPO herbicides in plants makes their action dependent on the achieved coverage during application. Consequently, use of adjuvants is one of the technologies recommended to improve effectiveness of these herbicides. Adjuvants action depends not only on the adjuvant-herbicide formulations, but also on the morpho-anatomical characteristics of the weeds of interest and meteorological characteristics of application. This work aimed to evaluate the effect of using four adjuvants (Vegetable Oil, Methylated Vegetable Oil, Organosilicon and Methylated Organosilicon) with saflufenacil and fomesafen in *Amaranthus palmeri* S. Wats control. Each herbicide was analysed as an independent experiment. A complete randomized design was used with four adjuvants treatments in a dose-response study (0, 0.25, 0.5 and 1% v / v). Results were compared with control of *Bidens pilosa* in order to verify tool specificity. Herbicidal effect was daily estimated using a per cent damage scale and results were statistically analysed by fitting proportional ODD models for multinomial variables. Effect of adjuvants on solutions physical properties was also studied and means were compared using Tukey's test (p -value < 0.05). Only saflufenacil treatments presented significant increases in *A. palmeri* control when adding adjuvants and its results depended on adjuvant type and dose used. No increase of control was significantly observed when adding adjuvants to fomesafen solution. On the contrary, some treatments presented lower control than the herbicide without the adjuvant. Results evidence the importance of taking into account all the factors when deciding whether to incorporate an adjuvant or not and before generalized a recommendation of this technology.

Keywords: PPO herbicides, Application technology

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura mundial enfrenta una creciente problemática de malezas. En la actualidad se reconocen 263 especies resistentes, dentro de las cuales 152 son dicotiledóneas y 111 monocotiledóneas (Heap, 2021). Esta situación, a la que no escapa Uruguay, desafía a la agricultura como actividad sostenible desde un punto de vista económico y ambiental.

La efectividad de control en malezas se basó por muchos años únicamente en la correcta elección de un solo principio activo. Debido a esta simplificación en las estrategias de manejo, y a un mal y reiterado uso de un determinado herbicida, cada vez son menos las herramientas vigentes que proporcionan un efectivo control. Frente a esta problemática, se comenzó a mezclar y alternar principios activos, incluyendo técnicas de aplicación específicas que evitaran la llegada de subdosis y la generación de excesivas pérdidas al ambiente.

La búsqueda de nuevas herramientas de control químico dentro de un número limitado de herbicidas existentes, requirió de la incorporación de principios activos que habían dejado de ser utilizados por muchos años. Dentro de este grupo, se encuentran los herbicidas denominados desecantes y herbicidas PPO. En Uruguay, datos de la Dirección de Servicios Agrícolas del MGAP, demuestran importantes aumentos en las importaciones de algunos de los herbicidas mencionados. La cantidad de saflufenacil importada en el 2020 respecto al 2014, han aumentado en 218%. Si bien las importaciones de fomesafen se reconocen discontinuas en estos años, la importación en kilogramos del mismo principio activo en 2020, denuncia un aumento de 320% respecto a los importados en el 2018 (MGAP- DGSA, 2021).

Los herbicidas mencionados comparten como una de sus principales

características su baja o nula translocación en planta. La naturaleza de estos herbicidas ha demostrado que su efectividad es altamente dependiente de las tecnologías de aplicación que permitan lograr una buena cobertura sobre las malezas pulverizadas.

Los cambios mencionados en el manejo de malezas, han demostrado la importancia de conocer, no solo los activos utilizados, sino la forma en la cual los mismos deben ser aplicados. Surge entonces la necesidad de generar información que permita obtener conocimientos acerca de cuál es la mejor forma de utilizarlos.

Una de las tecnologías de aplicación propuestas para mejorar la cobertura y la efectividad de los herbicidas de baja o nula translocación, es la incorporación de adyuvantes a las soluciones pulverizadas.

1.1 ADYUVANTES

Los adyuvantes son sustancias agregadas a la solución de pulverización con el fin de aumentar la acción de un agroquímico y las características fisicoquímicas de la mezcla, logrando alcanzar los puntos de acción en el menor tiempo posible (Azevedo, 2011).

Otra de las finalidades de los adyuvantes es conferir a la solución herbicida, propiedades que mantengan la estabilidad de la misma, evitando posibles pérdidas de eficiencia en los herbicidas utilizados.

Los adyuvantes presentan la capacidad de generar modificaciones a nivel de la tensión superficial, el pH, la viscosidad y el tamaño de las gotas, así como en la distribución de la solución de pulverización (Green y Cahill, 2003). Si bien no presentan acción biológica de control, estas modificaciones pueden generar mejoras en la dispersión, retención y absorción de los herbicidas, traduciéndose en algunos casos, en una mayor efectividad de los

mismos (Matthews, 2000).

1.1.1 Clasificación de Adyuvantes

La clasificación actual de los adyuvantes es compleja y adquiere variaciones según se realice, por las propiedades físico-químicas de los mismos, o por sus funciones específicas (Azevedo, 2011).

Según la Sociedad Americana de Verificación de Materiales (American Society for Testing and Materials, 1999), los adyuvantes pueden ser clasificados por su funcionalidad en tres categorías. La primera categoría incluye a los denominados Adyuvantes Activadores, que son los que buscan aumentar la actividad biológica de los agroquímicos pulverizados. La segunda, se encuentra conformada por adyuvantes que buscan mejorar las características físicas y químicas de la pulverización, denominándolos Adyuvantes Modificadores o Adyuvantes de Utilidad, y la tercera categoría, bajo el nombre de Otros Adyuvantes, incluye productos colorantes y limpiadores.

Dentro de las dos primeras categorías encontramos subgrupos que dividen a los adyuvantes según su acción principal. Los Adyuvantes Activadores incluyen a los Surfactantes, Penetrantes y Adherentes; mientras que en la segunda categoría encontramos como Adyuvantes de Utilidad, aquellos con acción Antieaporante, Antiespumante, Antideriva y Acondicionadores de agua (Hazen, 2000).

1.1.1.1 Surfactantes - Tensioactivos

El efecto principal de este grupo de adyuvantes es la disminución de la tensión superficial en gotas, debilitando así, la fuerza de atracción entre las

moléculas. Por consecuencia, estos adyuvantes generan una reducción del ángulo de contacto entre las gotas y las hojas, aumentando la superficie foliar mojada (Vera et al., 2009).

A su vez, una menor tensión superficial, permite superar barreras de absorción como lo son la presencia de pelos foliares o tricomas, aumentando la cantidad de activo que alcanza las zonas de absorción (Martins et al., 2005).

Es necesario comprender que los surfactantes comerciales se encuentran formados por un conjunto de tensioactivos con funciones y beneficios diferentes entre ellos. Es por esto, que la composición química de cada adyuvante, la proporción de los componentes y la cantidad de cada tensioactivo utilizado, determina en gran parte, la calidad y la funcionalidad de los mismos (Hazen, 2000).

Los tensioactivos son moléculas anfifílicas que presentan un componente hidrofílico y uno lipofílico. El componente polar se encuentra conformado por óxidos de etileno, mientras que el apolar, lo hace por una cadena hidrocarbonada de 8 a 60 carbonos, provenientes de varias fuentes dentro de las cuales encontramos alcoholes grasos, fenoles, triglicéridos, aminas grasas, ésteres de azúcar, aquilbenzenos u organosiliconas (Veermeer y Baur, 2007).

Si bien la mayoría de los tensioactivos no iónicos tienen cadenas de óxido de etileno como grupos polares, estos también pueden ser sustituidos por azúcares o polioles derivados del azúcar, los cuales vienen en aumento en el último tiempo al estar enlazado a un producto natural (Green y Foy, 2004).

Estas moléculas muestran una fuerte tendencia a migrar a las

interfaces agua-oleo, donde su grupo polar busca encontrarse dentro del agua y su grupo apolar busca orientarse hacia un solvente orgánico o a una superficie determinada. Debido a eso, los mismos pueden presentar cuatro funciones principales. En primer lugar, los tensioactivos presentan acción emulsificante. La misma es generada por la formación de micelas que permiten disolver una gota de aceite en agua o viceversa, combinando la porción hidrofílica con el agua y la hidrofóbica con el aceite. Esta acción es la responsable de que el ingrediente activo se solubilice y permanezca estable en el agua, volviéndose de principal relevancia en la formulación comercial de los herbicidas. En segundo lugar, los tensioactivos cumplen una acción humectante. Las cadenas hidrocarbonadas (lipofílicas) tiene la capacidad de adherirse a las superficies que desean humectar, disminuyendo el ángulo de contacto de las gotas. De este modo, se produce una mayor distribución de las gotas alcanzando nuevos puntos de absorción. Por último, los tensioactivos también pueden presentar funciones antiespumantes y detergentes (Salager, 2002).

Todo esto es generado gracias al carácter anfifílico de las moléculas tensioactivas, las cuales en ciertas condiciones permiten un aumento en la absorción. Cuando estas moléculas se encuentran en bajas concentraciones en las soluciones acuosas, las mismas tienden a permanecer como moléculas individuales (Monómeros). Al aumentar la concentración de estas moléculas, las mismas presentan la capacidad de formar micelas, disminuyendo paulatinamente la tensión superficial. Esta disminución se da hasta alcanzar un nivel crítico denominado Concentración Micelar Crítica (CMC). Luego de superar este valor, la tensión superficial no seguirá disminuyendo, y el único efecto generado será la formación de micelas de mayor complejidad y tamaño coloidal (dímeros y trímeros) que dificultan el contacto de la parte lipofílica con el solvente acuoso, afectando la efectividad del tensioactivo (Vera et al., 2009).

El comportamiento de las cadenas lipofílicas en los tensioactivos, se encuentra definidas por su estructura. Su forma lineal o ramificada, determina el poder de biodegradación de la misma, siendo las cadenas lineales las más fáciles de degradar. Por otro lado, el largo de estas cadenas lipofílicas, definido por el número de carbonos, indica que a mayor longitud, el tensioactivo presenta una mayor liposolubilidad. Esto también se observa en el compuesto polar de la molécula, donde el largo de la cadena hidrofílica, indica la hidrosolubilidad de la misma (Azevedo, 2011).

La capacidad del componente hidrofílico de ionizarse en el medio acuoso, permite que los tensioactivos se clasifican en cuatro grupos: No iónicos, Catiónicos, Aniónicos y Anfotéricos.

Los surfactantes No iónicos son los mayormente utilizados en pulverizaciones agrícolas. Estos adyuvantes no alteran el equilibrio de cargas eléctricas en las formulaciones de la solución de pulverización, debido a que no presentan cargas en solución acuosa. De esta forma, se evita que interactúen con otros compuestos químicos o compuestos que se encuentren en suspensión. Por otro lado, los tensioactivos iónicos presentan mucha dificultad para formar micelas, debido a sus grupos hidrofílicos presentan carga, generando fuerza de repulsión e impidiendo que las porciones lipofílicas logren interaccionar entre ellas (Alister y Kogan, 2003).

Dentro del grupo de surfactantes No iónicos, encontramos tensioactivos como alcoholes lineales, alquil fenoles, ésteres de ácidos grasos, órganosiliconados y en algunas situaciones derivados de aminas y amidas (Azevedo, 2011).

En la actualidad, el mercado de los adyuvantes No iónicos mencionados, se encuentra dominado por productos etoxilados, por ejemplo: Alcoholes lineales etoxilados y alquil fenol etoxilado. La etoxilación es un

proceso químico, donde se agregan óxidos de etileno al grupo hidrofílico, fijándolos por una función hidroxilo o amina. De esta manera, se forman los denominados polióxidos de etileno, lo cuales hacen que los tensioactivos presenten características más hidrofílicas como consecuencia de un aumento en su longitud de cadena (Araújo y Raetano, 2011).

Dentro de los surfactantes No Iónicos encontramos dos grupos; los surfactantes compuestos por tensioactivos convencionales (Etoxilados, Propoxilados y Polímeros en Bloque) y surfactantes Organosiliconados (Bolsman et al., 1988).

Los efectos que cada surfactante genera sobre las gotas pulverizadas, es dependiente del grupo seleccionado. La tensión superficial del agua (72 dinas cm^{-2}) alcanza una mayor reducción al incorporar un Organosiliconado (22 dinas cm^{-2}) que cuando se incorpora un tensioactivo convencional como Nonilfenol (32 dinas cm^{-2}). El tensioactivo presente en la formulación adyuvante, también determina la afinidad del mismo con la cutícula vegetal, visualizándose una mayor afinidad por parte de los Organosiliconados (Minguela y Cunha, 2010).

La porción lipofílica de los Organosiliconados, se encuentra compuesta por grupos de sílice (Si) remplazando a varios átomos de carbono y dando origen a su nombre: Siliconas. La incorporación de grupos de sílice, permite fabricar una cadena lipofílica de menor longitud en comparación a su equivalente hidrocarbonado (surfactante convencional). Esto explica la condición super-humectante de los Organosiliconados, donde la menor longitud de cadena ofrece un menor rozamiento sobre la superficie foliar objetivo, generando un mayor esparcimiento del producto pulverizado (Salager, 2002).

Existen dos tipos de Organosiliconados: siliconas poliésteres (solventes

en agua) y alquil-siliconas (solventes en aceite). La capacidad de esparcimiento se encuentra fuertemente influenciada por la polaridad de los Organosiliconados, siendo aquellos más polares quienes logran un mayor grado de dispersión (Azevedo, 2011).

Según el número de moléculas de silicio unidas a un grupo metilo, estos surfactantes pueden dividirse en trisiloxanos, tetraloxanos y polixiloxanos, generando que la estructura molecular de los trisiloxanos, permita una mayor capacidad de esparcimiento y distribución en comparación a los polixiloxanos (Minguela y Cunha, 2010).

Si bien la incorporación de surfactantes Organosiliconados, puede traer beneficios como un aumento en la cobertura aplicada y un potencial aumento en la absorción del herbicida pulverizado, la misma también pueden incluir la ocurrencia de algunas consecuencias negativas. En algunas situaciones, la incorporación de estos adyuvantes puede provocar un aumento en la evaporación de las gotas aplicadas debido a una mayor exposición. Por otro lado, pueden generarse también un aumento en la formación de espuma a nivel de tanque de pulverización, un posible aumento de escurrimiento foliar y una baja estabilidad de la solución cuando los mismos se enfrentan a mezclas con pH bajos. Es importante mencionar que el efecto deseado al incorporar estos adyuvantes a la mezcla, se produce cuando los mismos se enfrentan a valores de pH 6 a 8 (Kogan y Pérez, 2003).

Otra de las consecuencias negativas se ve demostrada en resultados de varios estudios, los cuales indican que a iguales características de aplicación, el agregado de adyuvantes a diferentes herbicidas puede alterar los tamaños de gota. Esta disminución en el tamaño de gota es considerado negativo desde el punto de vista ambiental, debido a que aumentan las probabilidades de ocurrencia de deriva, sin necesariamente mostrar ventajas

comparativas en la deposición de estos productos ni en el control biológico (Olivet et al., 2013).

Con el fin de sobrepasar algunas de estas consecuencias negativas y potenciar algunos beneficios de los productos Organosiliconado, los mismos también pueden ser comercializados en mezcla con otros surfactantes no iónicos como polímeros surfactantes o aceites vegetales. La elección de estos co-surfactantes es de vital importancia, debido a que algunos pueden provocar un impacto negativo sobre la propagación del Organosiliconado. Esta es la situación al mezclar un adyuvante nonilfenol, quien presenta un importante grupo hidrofóbico, con un Organosiliconado trisiloxano (Azevedo, 2011).

En los últimos años, las empresas de adyuvantes han buscado fabricar productos comerciales que ofrezcan más de una acción de las anteriormente mencionadas. Esto ha incorporado a la antigua clasificación de American Society for Testing and Materials (1999), un nuevo grupo denominado Mezclas Básicas (Azevedo, 2011).

Una de las mezclas más comunes y solicitadas a nivel comercial es la mezcla de Aceite Vegetal Metilado y tensioactivo Organosiliconados (OSB). La diferencia entre utilizar un aceite con surfactante o utilizar únicamente un surfactante, radica en que, la composición del primero (80-98% de aceite no fitotóxico y 2-20% de surfactante), permite un aumento en la absorción de herbicidas lipofílicos, comparado a utilizar únicamente un surfactante, donde únicamente se expresa la modificación de la tensión superficial (Araújo y Raetano, 2011).

1.1.1.2 Penetrantes

Este grupo se encuentra mayormente conformado por adyuvantes oleoso en mezcla con emulsionantes. Esta mezcla es la responsable de permitir que los aceites formen una emulsión estable en el agua. El hecho de que este emulsionante sea un surfactante No Iónico permite que la mezcla cumpla otras funciones propias de cada adyuvante. Es por esto que en muchos casos, también logra reducir la tensión superficial e incrementar el área mojada por el pulverizado, aumentando la cobertura lograda, aunque estos efectos son dependientes de la concentración en la cual se encuentra el emulsionante utilizado (Araújo y Raetano, 2011).

En un principio los aceites presentaban una concentración de emulsificante de 2 a 5% y los mismos eran utilizados en concentraciones de 1 a 4 % v/v de la solución. En la actualidad, se encuentran disponibles en el mercado los aceites concentrados con un contenido mayor de surfactante (15 – 20%), los cuales se utilizan en una concentración menor a la anterior de 1% v/v (Kogan y Pérez, 2003).

Dependiendo del porcentaje de surfactante en la formulación del aceite, los mismos se clasifican en: Aceites emulsionables (3-6% de surfactante) o Aceites emulsionables concentrados (12-20 % de surfactante en la formulación). Los Aceites emulsionables concentrados son considerados más eficientes, lo cual permite que sean utilizado en una menor concentración (Arrospide, 2004).

Uno de las principales dificultades al utilizar adyuvantes, es la poca información real que se obtiene de la formulación por medio de las etiquetas ofertadas por las empresas. Nunca se menciona la clase de emulsificante utilizado, sino solamente su cantidad porcentual (Mendoza y Raetano, 2007).

Estas formulaciones combinadas pueden generar un aumento significativo en la absorción de herbicidas lipofílicos, en comparación a la utilización de un surfactante puro. De todas formas, los efectos en absorción, así como la variación en las características físico-químicas de la solución, son muy dependientes del tipo de formulación de Aceites emulsionantes utilizados. El efecto beneficioso de los adyuvantes oleosos no parece limitarse a los productos químicos lipofílicos. Estudios realizados Baker (1995) y Sharma (2000), han demostrado que la absorción de dicloruro de paraquat y glifosato también puede verse mejorada con la incorporación de Aceites Vegetales en el tanque de pulverización (Wang y Liu, 2007).

Si bien los aceites adyuvantes son considerados los antievaporantes por excelencia, todos sus beneficios no deben ser atribuidos únicamente a sus acciones físicas. Existen otras acciones penetrantes que dependen del tipo aceite y el surfactante presente en la formulación del adyuvante, así como de la interacción de los mismos con el principio activo del herbicida, la maleza objetivo y las condiciones ambientales de pulverización.

Existen dos tipos de aceites utilizados como adyuvantes: Aceites Vegetales, proveniente del procesamiento de granos y Aceites Minerales, originado de una fracción de la destilación del petróleo. Según Mendonça y Raetano, citados por Araújo et al. (2011) los Aceites Vegetales presentan menor efectividad que los Aceites Minerales. Estos últimos además de ser antievaporantes, presentan mejores propiedades adherentes y de absorción. A pesar de esto, los Aceites Minerales presentan una mayor toxicidad que los aceites de origen vegetal, por lo que a pesar de sus beneficios, su uso se encuentra actualmente más restringido.

Debido a esto, surgió la necesidad de generar variaciones de origen vegetal que presentaran una mayor efectividad penetrante con un menor riesgo toxicológico, obteniendo los conocidos Aceites Vegetales Metilados.

Estos confieren una muy buena capacidad de penetración, lo cual los equipara en varios parámetros a los Aceites Minerales

Los Aceites Vegetales provienen de los granos oleaginosos y se encuentran formados por triglicéridos extraídos por presión o mediante la utilización de solventes. Estos son normalmente cadenas de hidrocarburos con 16 a 18 carbonos, que necesitan ser purificados para remover resinas y fosfolípidos (Araújo y Raetano, 2011).

Este procesamiento va a dar origen a dos tipos de aceites: Naturales Desgomados y Metilados (desnaturalizados). Lo que los diferencia es que la formulación de los Aceites Vegetales Metilados, requiere que la esterificación de los ácidos grasos reaccione con metanol para producir esteres metílicos de ácidos grasos (Azevedo, 2011).

Estudios realizados por De Ruitter et al. (1997) en dos graminicidas, ya demostraba que los controles alcanzados por estos herbicidas al incorporar Aceites Metilados, lograban valores similares a los alcanzados al incorporar Aceites Minerales, concluyendo que el Aceite Mineral ciertamente no es indispensable como adyuvante para muchos de los graminicidas utilizados. De todas formas no se puede olvidar la particularidad de que las interacciones entre tipos de aceites y de herbicidas son bien específicas.

La capacidad de aumentar la absorción, se justifica por una modificación de las cutículas vegetales. Los ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal, muestran una gran afinidad por las capas lipofílicas de las superficies foliares. Estos presentan la capacidad de impregnarse en la cutícula generando alteraciones en sus propiedades físicas, incrementando de esta forma su fluidez y eliminando los sitios de adsorción que generan resistencia en la absorción del herbicida (Gauvrit y Cabanne, 1993).

Estos adyuvantes penetrantes son los derivados de la Lecitina de Soya (LI 700), los cuales modifican temporalmente la estructura de la cutícula, sin llegar a disolverla, permitiendo con ello aumentar la entrada del herbicida sin producir daño en los tejidos vegetales, sean cultivos o malezas. También es importante agregar, que al igual que los aceites, el sulfato de amonio y en especial el ion amonio (NH_3^+) contribuye en la disolución de la capa de cutina que recubre las hojas favoreciendo la penetración del caldo.

En muchas ocasiones las alteraciones mencionadas en las cutículas, pueden provocar estrés en las plantas tratadas, lo cual no resulta beneficioso al aplicar cualquier herbicida sistémico se requiere que la planta esté en óptimas condiciones para su correcta translocación.

Existen ciertas condiciones que predisponen a los cultivos a presentar consecuencias fitotóxicas por uso de aceite. Algunas de ellas son: la presencia de altas temperaturas y alta radiación solar, presencia de tensioactivos con poco poder dispersante que genera una gran cantidad de aceite concentrada (punto crítico), aceites con presencia de hidrocarburos aromáticos en gran concentración y por último, la mezcla de la solución herbicida-adyuvante con otros plaguicidas antagónicos, tanto sea por aplicar los mismos en mezcla o de forma independiente sin respetar el tiempo de espera pertinente entre unos y otros (Leiva, 2013).

Frente a la posibilidad de generar daño, el uso de los adyuvantes penetrantes debe ser utilizado y recomendado en situaciones determinadas. Esta recomendación menciona el uso de estos adyuvantes en condiciones adversas acompañando aquellos principios activos que necesiten un rápido ingreso en la planta. Aplicaciones herbicidas realizadas sobre especies estivales como *Amaranthus palmeri*, enfrentan condiciones ambientales limitantes que podrían exigir de este tipo de protección.

1.1.1.3 Adherentes

Estos adyuvantes actúan a nivel de la deposición de las gotas, aumentando su retención en la superficie foliar y disminuyendo el posible lavado de las mismas por precipitaciones, recubriendo las gotas pulverizadas con una lámina poco soluble. Su composición básica radica en dos ingredientes activos: resinas de pino y látex sintéticos, los cuales presentan fuerte adhesión con la cera y la cutina presentes en las superficies de las plantas, presentando a su vez afinidad con el agua de la solución pulverizada (Azevedo, 2011).

En muchas situaciones, esta acción puede contraponerse con la acción penetrante. Una mayor adhesión a la superficie foliar puede dificultar o disminuir la velocidad de penetración de los principios activos, por lo que la acción de estos tensioactivos resulta de interés únicamente en algunas situaciones particulares.

Comúnmente estos adyuvantes son utilizados en la formulación comercial de los productos agroquímicos. Si bien es posible encontrarlos comercializados de forma independiente al principio activo herbicida, siempre son presentados en mezcla con otros surfactantes. De esta forma los adyuvantes son comercializados como surfactantes adhesivos, presentando acción adhesiva, pero también acción mojante y esparcidora (Araújo y Raetano, 2011).

1.1.1.4 Antieaporantes

Estos adyuvantes permiten que las gotas presenten una mayor vida útil, permaneciendo por más tiempo sobre las superficies foliar gracias a la generación de un efecto antieaporante. Presentan esta funcionalidad los Aceites Vegetales y Minerales. Las gotas depositadas son recubiertas por un anillo protector, el cual les permite continuidad en la penetración de la

solución frente a condiciones ambientales limitantes como altas temperaturas y bajas humedades relativas (Leiva, 2013).

1.1.1.5 Acondicionadores de agua: Acidificantes y Correctores de Dureza

La utilización de agua con pH superiores a 7, vuelven las soluciones de pulverización menos estables. Esta situación provoca degradaciones alcalinas de algunos herbicidas volviéndolos menos efectivos. Comúnmente la mayoría de los herbicidas, se ven favorecidos con la utilización de aguas con pH entre 4 y 6. Los adyuvantes Acidificantes, presentan la capacidad de disminuir el pH del agua, minimizando estas pérdidas.

Algunos herbicidas, como el glifosato, presentan la capacidad de corregir el valor de pH del agua sin la necesidad de incorporar a la mezcla un adyuvante de acción acidificante debido a su efecto tampón o buffer. En estas situaciones la condición de dureza del agua, pasa a ser la condición de mayor importancia. Utilizar agua de calidad en las soluciones herbicida, resulta totalmente determinante para que los principios activos alcancen su máxima efectividad (Kogan y Pérez, 2003).

Las aguas duras ricas en calcio y magnesio pueden alterar la actividad biológica de los ingredientes activos utilizados, así como estropear las boquillas de pulverización. Existen adyuvantes capaces de corregir la dureza del agua, como los denominados secuestrantes de cationes. Un ejemplo de estos, es el sulfato de amonio, cuyo anión sulfato (SO_4^-) se combina con calcio y magnesio produciendo sales insolubles CaSO_4 y MgSO_4 (Leiva, 2013).

No existe una recomendación general de estos adyuvantes para todos los herbicidas ni para todas sus mezclas. Cada solución herbicida debe

valorarse según la calidad del agua utilizada, realizando análisis que evalúen dureza y pH en agua de forma previa a ser utilizada.

1.1.1.6 Antiespumantes

Los surfactantes concentrados presentes en algunas formulaciones herbicidas, pueden provocar que la solución rebalse el tanque durante la agitación debido a la producción de espuma. Esto no solo puede generar daño a nivel del flujo de boquillas, sino también dificultades para completar la carga del tanque por llenado inmediato, contaminación ambiental, así como daños en el operario (Araújo y Raetano, 2011).

Los tensioactivos antiespumantes presentan composiciones diversas. Pueden ser Fluorocarbonados, Polixiloxanos, Siliconas, Aceites Minerales o Ácidos Grasos y su utilización permite la eliminación de esta espuma formada como consecuencia de una excesiva retención de aire por parte de la solución pulverizada. Para esto, siempre deben ser agregados al agua de forma previa a la incorporación del plaguicida (Leiva, 2013).

1.1.1.7 Antideriva

La aplicación de gotas finas aumenta la deriva. La formación de las mismas (gotas menores a 150 μm) depende del tipo de boquilla y la presión utilizada, así como de las propiedades físicas del líquido pulverizado (Stainer et al., 2006).

La viscosidad de la solución tiende a resistir el fraccionamiento del líquido. Los adyuvantes denominados Antideriva, son componentes espesantes responsables de aumentar la viscosidad inicial de la solución pulverizada, disminuyendo la capacidad de formar gotas muy finas de mayor potencial de deriva (Minguela y Cunha, 2010).

1.2 ESPECIFICIDAD DE LOS ADYUVANTES

En las últimas décadas, las líneas de investigación en adyuvantes han colocado sus máximos esfuerzos en la descripción de los distintos mecanismos de acción y en el efecto de los mismos sobre gotas aisladas. Debido a esto, es poca la bibliografía disponible a nivel regional e internacional que relaciona la correcta elección y utilización de los adyuvantes, con situaciones de control específicas.

Esta falta de conocimiento, ha llevado a generalizaciones erróneas en la incorporación de adyuvantes, impidiendo alcanzar los máximos potenciales de esta herramienta y provocando en las peores situaciones, disminuciones significativas en el control de malezas. La mala utilización de adyuvantes no solo impacta en el costo económico de la actividad de aplicación, sino también aumenta en el costo ambiental, incorporando una sustancia química adicional innecesaria.

La incorporación de un adyuvante debe buscar levantar las limitantes de los herbicidas empleados y para poder cumplir con esto, es necesario estudiar su interacción con detenimiento.

El estudio necesario de esta interacción presenta variadas dificultades. En primer lugar, algunas formulaciones herbicidas requieren que el principio activo de interés ya se encuentre formulado con ciertos surfactantes específicos, volviendo muy variable la presentación de un mismo herbicida en los distintos productos comerciales. Por otra parte, los productos adyuvantes agregados, rara vez se encuentran debidamente especificados en la etiqueta, impidiendo conocer con exactitud las interacciones que existirán al mezclarlos (Araújo y Raetano, 2011).

De esta forma se toma conciencia de que la información requerida no

solo debe relacionar cada adyuvante con un principio activo herbicida, sino que debe hacerlo con la formulación específica de cada uno.

En el caso de herbicidas post emergentes, su potencial de retención y penetración en la cutícula se encuentra influenciada, no solo por las características moleculares del producto aplicado, sino también por las características intrínsecas de las malezas y las condiciones ambientales durante y después de la pulverización (Dinelli y Catizone, 2001).

Es por todo esto que el beneficio potencial de un adyuvantes depende fuertemente de la interacción entre el tipo de adyuvante, el herbicida que se utiliza, las características de las especies malezas objetivo y las condiciones ambientales (Gugaa et al. 2010; Hatterman-Valenti et al., 2011).

Esta especificidad ya fue reportada en los datos presentados por Rodríguez (1999), donde el autor demostró cómo un mismo adyuvante puede mejorar el comportamiento en una maleza y disminuir el efecto herbicida en otras. Años más tarde Zabkiewicz (2002) reafirma y agrega que la efectividad de cada tipo de adyuvante, presenta una fuerte relación con el tipo de herbicida utilizado.

La contemplación de las condiciones ambientales propias de la estación de aplicación, pueden resultar limitantes para el correcto desarrollo de la acción herbicida. En estos casos, la aplicación también puede exigir de la incorporación de un adyuvante específico. Es importante reconocer que la incorporación de un adyuvante no siempre resulta remediadora en estas condiciones. Alguna modificación generada en la población de gotas como lo es la disminución de la tensión superficial, puede enfrentar a las mismas a un escenario muy propicio para su evaporación. La eficiencia lograda por la incorporación de un surfactante, se verá limitada por condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa, que puedan generar excesivas

pérdidas de producto, volviendo contraproducente la incorporación de algunos productos adyuvante.

Todos estos aspectos demuestran que la incorporación de un adyuvante debe realizarse en base a las necesidades presentadas en cada situación particular. Solo de esta forma se obtendrán resultados que justifiquen o no incorporar una sustancia química extra al herbicida ya aplicado.

En base a esto y concientizando la necesidad de generar estrategias de control eficientes y dirigidas a especie malezas problemáticas, el primer paso de la investigación consistió en seleccionar y estudiar la especie maleza objetivo, conociendo aquellas características limitantes que pudieran estar determinando su control.

1.2.1 Especificidad de los Adyuvantes según especie maleza objetivo

Si bien las combinaciones de todos los factores mencionados de estudio resultan inabarcables en un solo proyecto de investigación, se decidió comenzar estudiando una de las malezas que presenta mayor urgencia de control en los sistemas agrícolas de Uruguay. La maleza estival *Amaranthus palmeri* S. Wats, fue la especie seleccionada para la realización de este trabajo. La invasión de esta especie representa una importante amenaza para la producción agrícola, debido principalmente a sus grandes tasas de crecimiento y colonización, su gran prolificidad y la presencia de resistencia a un gran número de principios activos.

Su gran capacidad competitiva por luz, agua, espacio y nutrientes, asociada a una importante interferencia alelopática, ha generado importantes disminuciones de rendimiento en varios cultivos estivales,

especialmente en soja (Fernández et al., 2013). Además de esto, la presencia de esta maleza, se traduce en la disminución del área de cosecha de los principales cultivos estivales.

Por otro lado, esta especie presenta además de su elevada fecundidad, un período de emergencia prolongado, generando distintos cohortes de plántulas que dificultan su control. Esto ha incluido en la realidad productiva anteriormente mencionada, importantes aumentos en los costos de insumos herbicidas justificados por la utilización de principios activos más caros, como por un mayor número de aplicaciones (Jha et al., 2007).

Esta especie problemática presenta resistencia a herbicidas de varios modos de acción. La gran variabilidad genética de *A. palmeri* y su facilidad para hibridarse con otras especies del género ha facilitado la evolución de resistencia a herbicidas, no solo en esta especie, sino en otras pertenecientes a la misma familia también presentes en nuestro país (Trucco et al., 2005).

Conocer los mecanismos de penetración de herbicidas a través de los tejidos de *Amaranthus palmeri* resulta de suma relevancia para alcanzar el éxito en el control de las malezas.

En el caso de los herbicidas de post emergencia, las hojas son el principal órgano de absorción para los mismos. Su morfología y anatomía define la cantidad de herbicida interceptado por las malezas y por lo tanto, la cantidad absorbida.

Dentro de las características morfo-anatómicas propias de cada especie malezas, existen factores que afectan la tasa de penetración de los herbicidas. Los agroquímicos absorbidos deben superar varias barreras existentes entre la superficie foliar y el citoplasma de las células. Las

mismas, se encuentran relacionadas en primer lugar con el grosor y la composición de la cutícula.

La cutícula se encuentra constituida por cera y cutina, las cuales a su vez se encuentran en contacto con la pectina y esta con la celulosa. En la mayoría de los casos, las ceras epicuticulares son consideradas la principal barrera para la penetración de herbicidas y otros plaguicidas a las plantas, primordialmente por su característica no polar e hidrofóbica (Papa y Leguizamón, 2004).

Si bien la ruta de absorción particular para cada compuesto resulta aún poco conocida, se admite que los compuestos no polares ingresan a las plantas por la ruta lipofílica en las hojas y los polares, lo hacen por la ruta hidrofílica (Silva, 2000).

Los herbicidas lipofílicos son solubilizados en componentes apolares de la cutícula y difundidos a través de esta. En el caso de los herbicidas polares, dependiendo de las condiciones ambientales, la cutícula con estructura porosa, permanece más o menos hidratada, siendo esta una de las rutas de penetración para estos herbicidas.

Otra posible vía de absorción de los mismos herbicidas es a través de los filamentos de pectina, los cuales presentan la capacidad de atravesar en algunos puntos toda la cutícula, siempre que estén hidratadas.

Si bien la naturaleza lipofílica de las ceras cuticulares puede dificultar en mayor medida el pasaje de los herbicidas polares, el mismo dependerá de los componentes polares y apolares de toda la cutícula (Minguela y Cunha, 2010).

En el caso del género *Amaranthus*, las ceras cuticulares han mostrado

características predominantemente hidrófilas en forma cristalina, por lo cual la presencia de cera no sería considerada una de las mayores dificultades de pasaje en estas especies (Monquero, 2003).

Otra de las características determinantes en la absorción de herbicidas es el grosor de la cutícula. El grosor de la cutícula de las plantas pertenecientes al género *Amaranthus*, puede oscilar entre 2,34 y 3,95 μm . Esto le genera una mayor dificultad en la penetración de la epidermis en comparación a otras especies con menor grosor cuticular como *Alternanthera tenella* y *Bidens pilosa* (Ferreira et al., 2003; Ferreira et al., 2002).

Diferencias en el grosor cuticular de las especies podría requerir distintas estrategias que potenciaran la absorción de las soluciones herbicidas aplicadas. Entre las estrategias propuestas se encuentra la incorporación de adyuvantes a la solución de pulverización, adecuando siempre el tipo y la concentración de adyuvante para cada situación.

Además de mejorar la retención de los herbicidas a las hojas, los adyuvantes pueden afectar las propiedades de la cutícula, potenciando la penetración cuticular y disponiendo la membrana a la transferencia de solutos o actuando como co-disolventes (Anzalone, 2007).

Como fuera mencionando, dentro de los adyuvantes que logran incrementar significativamente la penetración foliar de los herbicidas encontramos a los surfactantes, los aceites y las sales de amonio, siendo varias las acciones que los mismos pueden provocar sobre las malezas contribuyendo a una mejor absorción foliar.

En primer lugar, la incorporación de estos productos busca generar un contacto íntimo entre las gotas pulverizadas y la superficie foliar. Esta

acción, relacionada directamente con la reducción de la tensión superficial, es buscada especialmente en especies de gran grosor cuticular. En segundo lugar, se busca prevenir o retrasar la formación de cristales en el residuo de la gota. Algunos adyuvantes permiten la formación de un depósito más amorfo en comparación al depósito cristalino del herbicida en ausencia del mismo. Por último, la inclusión de adyuvantes puede tener como objetivo retrasar el secado de las gotas a través de un efecto higroscópico. Esta acción es especialmente importante en aquellas situaciones donde la naturaleza anatómica de las especies podría retrasar la absorción en comparación a especies con cutículas más delgadas o más permeables (Wang y Liu, 2007).

La absorción de los fitosanitarios tiende a aumentar con el aumento de la concentración del surfactante de 0,01 a 1%. Sin embargo, hay casos reportados por Gaskin et al. (2016), donde la incorporación de un adyuvante o el aumento excesivo en la concentración del mismo tuvo un efecto perjudicial en la absorción de los herbicidas aplicados en relación a la aplicación de los mismos en ausencia de adyuvante. Liu (2004) encontró que una excesiva dispersión en las gotas causada por algunos tensioactivos superhumectantes (Organosiliconados), puede diluir la dosis del ingrediente activo en la superficie de la hoja, generando un efecto antagónico sobre la captación de herbicidas como el glifosato.

Trabajos realizados por Schönherr (1994) evaluaron los efectos de los adyuvantes alcoholes, glicoles y alcoholes etoxilados sobre la movilidad del 2,4-D en cutículas de plantas aisladas. Los resultados demostraron que los alcoholes y los alcoholes etoxilados son absorbidos dentro de las ceras cuticulares, plastificándolas y cumpliendo un rol acelerador del herbicida. Los estudios indicaban que los adyuvantes que presentaban la capacidad de realizar esto cumplían con la característica de encontrarse formados por 6 y 10 átomos de carbono, sin embargo hasta la actualidad, el daño inducido en

las ceras cuticulares y los cambios en la morfología o la distribución de la misma por la incorporación de adyuvantes, no ha podido ser comprobado incluso después de que un tensioactivo haya penetrado físicamente a través de la capa de cera (Stagnari, 2007).

El efecto de los adyuvantes sobre la permeabilidad de la membrana plasmática, es otro de los puntos de investigación pendientes. Es difícil estimar si las modificaciones generadas por estos compuestos en las cutículas, podrían contribuir sobre la permeabilidad de las membranas plasmáticas. De todas formas existen teorías de que una difusión cuticular más rápida de los solutos impulsada por estas modificaciones en las células epidérmicas, deberían ayudar a mantener un mayor gradiente de concentración entre la cutícula y el apoplasto subcuticular, acelerando a su vez, la absorción general y la llegada al citoplasma de las células de interés (Wang y Liu, 2007).

Especialmente los Aceites minerales o Aceites Vegetales metilados son utilizados como adyuvantes con el objetivo de aumentar la absorción foliar como consecuencia de un aumento en la permeabilidad de las membranas (Kirkwood, 1993). El aumento de la penetración de algunos ingredientes activos por la utilización de Aceites Vegetales Metilados ha sido demostrado por Mercier et al. (1997).

Si bien uno de los efectos más conocidos del sulfato de amonio puede ser su modo de acción secuestrante, superando el efecto de los iones de calcio en el agua portadora, el mismo también es capaz de mejorar la absorción de algunos herbicidas incluso con agua destilada, demostrando otros modos de funcionamiento existentes. Trabajos realizados por De Ruiter (1996), han demostrado que la incorporación de sulfato de amonio permite el aumento de la absorción de herbicidas como glifosato por parte de protoplastos aislados (Wang y Liu, 2007).

Otras interacciones pueden ocurrir con las características de las hojas, junto con la cera hidrofóbica, la presencia de tricomas o pelos en las hojas, también pueden promover el escurrimiento de las gotas con herbicida, impidiendo la correcta humectación de la cutícula (Azevedo, 2011).

El número de tricomas presentes en la superficie foliar varía según especie y su densidad, determina el efecto que los mismos generan sobre la epidermis (Kirkwood, 1999). De todas formas, la especie bajo estudio *A. palmeri* no presenta tricomas en su cara adaxial, eliminando esta posible barrera de absorción (Ferreira et al., 2002). Sumado a esto, las hojas de *A. palmeri* se muestran totalmente glabras o casi glabras, lo cual también constituiría una barrera menos en la absorción herbicida en comparación a otras especies con importante pilosidad (Morichetti et al., 2013).

Si bien no resulta interesante en el control de *Amaranthus palmeri*, herramientas adyuvantes que permitan vencer las barreras presentadas por tricomas o pelos superficiales, la existencia de estos en otras especies malezas de interés, vuelven interesante la posibilidad de estudiar si la incorporación de algún tipo de adyuvante permitiría contrarrestar estas barreras aumentando la eficiencia de control herbicida.

Otra de las posibles vías de entrada para los plaguicidas son los estomas. Algunas especies malezas son consideradas anfiestomáticas, presentando estomas no solo en su cara abaxial como es costumbre, sino también en su cara adaxial. Frente a esta situación los estomas juegan un rol importante en la penetración debido a que la cutícula de sus células guarda es más fina y más permeable, constituyendo una menor barrera para la absorción de algunos herbicidas.

El uso de surfactantes Organosiliconados, genera un aumento en la dispersión de la solución pulverizada en la hoja, permitiendo que la misma

alcance los lugares donde se encuentran estos estomas.

Por otra parte, la tensión superficial máxima que pueden presentar las gotas para poder ser absorbidas a través de los estomas es de 30 dinas cm^{-2} , valor el cual solo es alcanzado utilizando estos surfactantes. La absorción de herbicidas a través de los estomas varía mucho según la especie de planta y requiere una concentración de tensioactivos siliconado no menor a 0,5% v/v, para lograr alcanzar los valores de tensión superficial mencionados (Stagnari, 2007).

La naturaleza anfiestomática del género *Amaranthus*, permite que las especies pertenecientes al mismo puedan contar con estas vías de ingreso de mayor facilidad. Se han contabilizado entre 105 y 156 estomas en la cara adaxial de estas especies (Ferreira et al., 2003).

A finales de la década del 80 se pensaba que los estomas no constituían una vía importante para la absorción de plaguicidas. En la actualidad, se dispone de pruebas convincentes de que los mismos representan importantes vías de ingreso para muchos fitosanitarios. Si bien la superficie ocupada por estomas representa aproximadamente el 5% de la superficie foliar total de una hoja, todas las medidas que puedan aumentar la penetración cuticular de las sustancias pulverizadas, aunque lo hagan en un mínimo aporte, aseguran un potencial aumento en el control de la solución aplicada (Ferreira et al., 2003).

Esta vía de absorción se caracteriza por ser muy rápida, requiriendo solamente 10 minutos post aplicación, por lo cual se vuelve muy importante en especies de gran grosor cuticular, reduciendo los tiempos de espera en la absorción (Stagnari, 2007).

Es importante tener en cuenta que todas estas características

anatómicas pueden verse modificadas por características del ambiente. Un ejemplo de esto es el notorio engrosamiento de la cutícula visualizado frente a una excesiva falta de agua o un importante aumento de temperatura, dificultando la absorción de los productos aplicados, especialmente aquellos diluidos en agua. El número de tricomas y estomas también pueden verse modificados por las características ambientales mencionadas (Santos et al., 2014).

Por otro lado, las características mencionadas también pueden verse determinadas por el grado de desarrollo de las malezas, otorgando así un mayor o menor grado de sensibilidad. Esto determinaría en gran medida, una menor efectividad de los herbicidas aplicados, en especial aquellos considerados como desecantes.

Factores de las superficies de las plantas, como pilosidad, presencia de ceras y rugosidad pueden estar presentes simultáneamente, generando diferencias en la magnitud de mojado de las distintas superficies foliares. La incorporación de adyuvantes a las mezclas pulverizadas, lograra cumplir con su objetivo de aumentar la retención y absorción de las malezas, mientras más similares sean las características físico-químicas del adyuvante a las de las superficies foliares. Es por esto que para el éxito de los adyuvantes es necesario conocer en profundidad los procesos vitales y las características morfológicas de cada especie objetivo (Araújo y Raetano, 2011).

Si bien es conocido que las estrategias de control para *A. palmeri* incluye el solapamiento de herbicidas aplicados en mezcla de forma sucesiva, en primer instancia se buscó estudiar el efecto de los adyuvantes sobre el control de principios activos aislados. Las estrategias de control de esta especie, incluyen aumento en el uso de herbicidas PPO, como saflufenacil, herbicida considerado desecante y utilizado en barbecho, y fomesafen el cual presenta sistemía limitada y es selectivo en soja, los

cuales han sido elegidos para la realización de este trabajo.

1.2.2 Especificidad de los Adyuvantes según herbicida

Los adyuvantes son incorporados a las soluciones de pulverización con el fin de aumentar la acción de un fitosanitario y las características fisicoquímicas de la solución.

Si bien es reconocido que los mismos son capaces de alterar la tensión superficial, el pH, la viscosidad, el tamaño de la gota y la distribución de la solución de pulverización, su implicancia en el aumento de la actividad biológica de un herbicida no es tan clara (Green y Cahill, 2003).

El primer paso necesario para discernir si la incorporación de un producto adyuvante es necesaria en la pulverización, es estudiar en profundidad las características de cada principio activo, visualizando las limitantes claras que estos puedan llegar a presentar tanto a nivel de absorción, como de translocación.

1.2.2.1 Herbicidas PPO

Los herbicidas inhibidores de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO), son una de las pocas herramientas post emergentes disponibles para el control de *Amaranthus palmeri*.

Frente a la problemática de resistencia de malezas, una de las estrategias planteadas es la realización de rotaciones y mezclas de diferentes modos de acción herbicida. Frente un número limitado de principios activos, esta estrategia ha generado la necesidad de reincorporar herbicidas que habían dejado de utilizarse por mucho tiempo, dentro de los cuales encontramos a los herbicidas PPO. En la actualidad solo existen 10 casos registrados de resistencia a este grupo de herbicidas (Heap, 2021).

Aunque en los últimos años, se han reportado algunos casos de resistencia a herbicidas PPO por parte de la especie *Amaranthus palmeri*, un estudio reciente muestra que la población resistente todavía responde a varios de estos principios activos: fomesafen flumioxazin, saflufenacil y sulfentrazone (Li et al., 2018). Conocer la correcta utilización y aplicación de estos herbicidas es fundamental para retrasar la evolución de esta resistencia.

Los herbicidas PPO, controlan malezas latifoliadas de no más de 5 cm de altura, siendo rápidamente absorbidos por las hojas y con menor intensidad por las raíces, debido a su alta adsorción por los coloides del suelo (Vidal, 1997). Dentro de esta clasificación encontramos varios grupos químicos como Difeniléteres como el fomesafen y Pyrimidinedione como el saflufenacil.

Estos herbicidas actúan como disruptores de membranas celulares. En su normal comportamiento, los cloroplastos forman protoporfirinógeno (Proto IX) a partir de glutamato. Este compuesto, luego de ser oxidado por la enzima PROTOX, forma protoporfirina IX dando lugar a la clorofila. Los herbicidas denominados PPO inhiben a la enzima PROTOX, generando una acumulación de Proto IX en el cloroplasto, que luego de ser filtrado por difusión al citoplasma, se oxida naturalmente formando protoporfirina IX. Este compuesto promueve la peroxidación de lípidos, generando la destrucción de las membranas celulares y la posterior muerte de la planta (Vidal, 1997).

El herbicida saflufenacil fue inicialmente desarrollado para ser usado en la pre siembra de varios cultivos, para el control residual de malezas hojas anchas (Grossman et al. 2011). Actualmente algunas investigaciones han demostrado que el mismo presenta actividad tanto pre como post emergente (Morichetti et al., 2013), alcanzando buenos niveles de control en

Amaranthus palmeri y otras hojas anchas de difícil control como *Conyza canadensis* (Montgomery et al., 2014).

Por otra parte, fomesafen también es recomendado para el control de malezas latifoliadas, pero a diferencia del principio activo anterior, el mismo es ampliamente utilizado como herbicida selectivo de pos emergencia en soja (Mallory-Smith y Retzinger, 2003).

Ambos principios activos son considerados herbicidas de baja o limitada translocación en planta. La limitada translocación de los herbicidas puede presentar varias causas. En primer lugar el sitio de acción del herbicida puede encontrarse muy cercano al área donde el herbicida toma contacto con las plantas. Por otro lado, una rápida acción fitotóxica, puede destruir el tejido conductor y con ello la posibilidad de translocación. El herbicida puede presentar una alta afinidad por los lípidos ($\log K_{ow} > 3$), produciendo una fuerte absorción por la membrana citoplasmática con pocas posibilidades de ser liberados o una baja solubilidad en agua, imposibilitando su disolución en el contenido citoplasmático o el xilema.

La solubilidad define en gran medida la movilidad de un compuesto, tanto dentro de las plantas como en el ambiente y se encuentra fuertemente influenciada por algunos factores como, el pH, la capacidad de disociación de la molécula y la temperatura. La solubilidad del saflufenacil es de 2100 mg L^{-1} (Grossman et al, 2011) mientras que la solubilidad del fomesafen es de 50 mg L^{-1} (MacBean, 2012). Si bien este no es el único factor que influye la translocación dentro de los tejidos vasculares, indica con precisión el nivel de translaminaridad que los herbicidas presentan, demostrando una mayor translaminaridad por parte del principio activo saflufenacil en comparación al fomesafen.

En la mayoría de los casos la solubilidad de una molécula es

directamente proporcional a la temperatura, pero en el caso particular de la mayoría de los herbicidas, en el rango de temperatura entre 10 y 30 °C existen pocas variaciones en la solubilidad (Otto et al., 2001).

Según sus propiedades iónicas, el herbicida fomesafen es clasificado como un herbicida No iónico (Monaco et al., 2002). Según Nandula et al. (2018), si bien el fomesafen presenta translocación apoplástica, su sistemia se ve limitada a malezas de poco desarrollo (*Amarathus palmeri* de 10 cm de altura).

Las variaciones de pH, presentan una considerable influencia sobre la solubilidad en agua de algunos herbicidas, en especial aquellos que son ácidos débiles como el saflufenacil (Grossman et al., 2011).

Los herbicidas post emergentes ácidos débiles, se disocian dependiendo del pH del medio. En el sistema vascular los valores de pH en el xilema es 6, mientras en el floema es 8 (Liebl et al., 2008). Debido a esto, la forma ácida del saflufenacil expresa su forma aniónica, permitiendo su translocación por xilema, aunque también por floema. De todas formas existen especies donde solamente el 7% del saflufenacil absorbido puede ser traslocado y esto es justificado debido a que la movilidad sistémica de un compuesto también depende de la integridad del tejido vascular (Frihauf et al., 2010).

Una de las características comunes de los herbicidas PPO es que su alta actividad provoca una rápida necrosis y un importante daño de los tejidos vasculares, lo que reduce su potencial sistémico. De todas maneras la acción específica en la inhibición de la PROTOX por parte del saflufenacil provoca una lesión retardada de los tejidos vasculares después de la absorción foliar, que igual permite la translocación de un porcentaje de lo absorbido, antes de que ocurra la destrucción completa del tejido (Anzalone,

2007).

Como cualquier herbicida, su acción depende de la llegada del principio activo a lugares específicos en la planta y la falta de translocación total de estos principios activos genera la necesidad de dirigir con precisión la pulverización de los mismos. Si bien la cobertura de aplicación, no siempre tiene una relación directa con el nivel de control de las malezas, la probabilidad de alcance de estos puntos requeridos aumenta al generar una buena cobertura sobre las malezas pulverizadas.

La cobertura que se obtiene en una aplicación está asociada directamente al volumen de aplicación e indirectamente al tamaño de gota. El aumento de los volúmenes de aplicación para mejorar la cobertura, es una alternativa resistida por las empresas vendedoras de servicios de aplicación, ya que va en contra de su eficiencia operativa y económica. Por otra parte, si bien es la opción más utilizada, la disminución en el tamaño de gota es considerada negativa desde el punto de vista ambiental, debido al aumento de las probabilidades de ocurrencia de deriva.

Frente a esto, otra de las tecnologías propuestas para mejorar la cobertura generada sobre malezas es la utilización adyuvantes específicos, buscando mejorar el escenario de absorción y minimizar el impacto de las condiciones ambientales en su comportamiento (Knezevic et al., 2009; Mellendorf et al. 2015).

Comparaciones del herbicida saflufenacil aplicado solo o en combinaciones con adyuvantes indicaron mejoras en el control de varias malezas de hoja ancha por el agregado de ciertos adyuvantes. Incluso en el caso de este herbicida el agregado de adyuvante fue asociado a un aumento en la absorción (Ashigh y Christopher, 2010). Trabajo publicados por Eubank et al. (2013) también han demostrado que la incorporación de adyuvantes

No lónicos y Aceites Vegetales Metilados, también lograron mejorar significativamente la eficiencia de control del Saflufenacil.

Resultados reportados por Nandula et al. (2018) demostraron que la incorporación de adyuvantes No lónico y Aceite Vegetal Metilados a la solución de dos formulaciones comerciales de fomesafen, no modificaron el control de *Amaranthus palmeri* en comparación a los controles alcanzados por los testigos sin adyuvante. Estos resultados fueron independientes de la altura y el estado de desarrollo que presentara la maleza. El control de *A. palmeri* se mostró más dependiente del tipo de formulación comercial de fomesafen utilizada, que de la incorporación de adyuvantes a las mismas.

De todas maneras los resultados anteriormente mencionados, tampoco parecen ser concluyentes debido a que existen evidencias donde el agregado de Aceites vegetales Metilados con fomesafen mejoró el control del herbicidas, aunque el resultado fue muy dependiente de la especie maleza objetivo (Yu-jan et al., 2014).

Para lograr potenciar la eficiencia de estos herbicidas con la utilización de adyuvantes, no solo es importante estudiar la compatibilidad química de los mismos con cada uno de los herbicidas específicos, sino también, entender cuál es el modo de absorción de cada herbicida, reconociendo aquellas limitantes que puedan ser levantadas incorporando productos adyuvantes específicos para cada ocasión.

1.2.2.2 Mecanismos de absorción de Herbicidas PPO

Todos los herbicidas ejercen su mecanismo de acción dentro de las células de las plantas, y para esto es necesario que los mismos puedan penetrar al citoplasma de las mismas de forma exitosa.

Además de los factores biológicos y anatómicos ya descritos, la penetración de la cutícula vegetal también depende en gran medida de factores inherentes al herbicida. Entre estos factores encontramos, sus características fisicoquímicas, su tamaño molecular, su lipofilicidad y su potencial de ionización, así como las características de otros componentes en su formulación (Prado et al., 2001).

Los herbicidas son moléculas orgánicas conformadas básicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno, los cuales dependiendo del herbicida, también pueden presentar átomos de cloro, flúor, nitrógeno, fósforo, etc. El comportamiento de los herbicidas dentro de las plantas y en el ambiente, depende en gran medida de la combinación y ubicación espacial de estos dentro de las moléculas.

Muchos herbicidas poseen un átomo halógeno dentro de su estructura o moléculas de alcoholes, ácidos orgánicos y/o ésteres, teniendo influencia en las propiedades químicas y estructurales del herbicida, como la solubilidad, la carga eléctrica y la volatilidad (Rao, 2002).

La forma ácida de algunos herbicidas presenta una baja solubilidad en agua y en aceite, por lo que no es utilizada en formulaciones comerciales. De todas formas, el ácido puede reaccionar con bases para formar sales y con alcoholes para formar ésteres, presentando propiedades diferentes (Kogan y Pérez, 2003).

Dentro de las sales que se pueden formar, encontramos las sales de sodio, potasio, amonio y sales de amina (Dimetilamina, Dietilamina, Trietilamina), las cuales presentan la capacidad de ionizarse en agua formando radicales con carga negativa.

En general, las moléculas no disociadas de ácidos débiles penetran

más rápido que las disociadas y las formulaciones de éster penetran más rápidamente que las sales (Kogan y Pérez, 2003).

Un aspecto importante que cabe resaltar es que, a pH normales, la cutícula posee una carga residual negativa, lo que permite que los compuestos catiónicos se adhieran a la cutícula con mayor facilidad que los compuestos aniónicos dificultando su pasaje (Ashton y Crafts, 1973). Esta interacción físico-eléctrica puede jugar un importante papel en el proceso de adhesión y penetración de algunos compuestos a la cutícula. La formulación de estos principios activos como sales o éster busca neutralizar estas cargas positivas, permitiéndole una mayor penetración de la cutícula. Esta neutralización también vuelve más hidrosoluble al herbicida.

Por otro lado, los herbicidas ionizables pueden dividirse en tres grandes grupos: moléculas completamente disociadas como cationes o bases fuertes, moléculas que se comportan como bases débiles y moléculas que se comportan como ácidos débiles. La constante de disociación (pK) cuantifica la posibilidad que tiene una molécula de presentarse en forma molecular o iónica en un medio con un pH determinado (Anzalone, 2007).

Este valor indica el grado de acidez o basicidad de la molécula, teniendo influencia sobre la absorción y la translocabilidad del herbicida. A mayor valor de pK_a , más débil es el ácido y más fuerte la base (Otto et al., 2001). El valor del pK_a de fomesafen a pH 7 es 2.83 (MacBean, 2012), mientras el valor de pK_a para saflufenacil es 4.4 (Grossman et al., 2011).

El peso molecular es otro de los factores que influyen sobre la absorción y la movilidad translaminar del herbicida. Según los primeros experimentos sobre el peso molecular y el tamaño de las sustancias químicas, el tamaño molecular y la configuración espacial no parecían influir en la penetración de la cutícula (Goodman y Addy 1962). Posteriormente,

Whitecross y Mercer (1972) observaron que la permeabilidad de la cutícula a la cadena de cepas de alcoholes y amidas, era directamente proporcional al tamaño de la molécula.

La absorción foliar de los herbicidas cumple con un proceso de difusión a través de la cera epicuticular, la cutícula y la membrana plasmática de células epidérmicas hasta alcanzar el citoplasma objetivo como sitio de acción. La velocidad de difusión tanto de herbicidas lipofílicos, como de compuestos hidrófilos fue correlacionada negativamente con el peso o tamaño de las moléculas (Schönherr y Schreiber, 2004). De todas formas estas conclusiones siempre surgen de investigaciones donde la comparación de herbicidas se realiza entre moléculas de igual polaridad. Es incierto el conocimiento acerca de cuál de estos factores influye en mayor medida sobre la absorción.

El herbicida fomesafen presenta un peso molecular de 438,8 g/mol (National Center for Biotechnology Information, 2021) y el herbicida saflufencil presenta 500,9 g/mol (Do et al., 2014). Es reconocido que si los valores de peso molecular se encuentran dentro del rango descrito anteriormente (100-500 g/mol), el efecto del tamaño molecular en la absorción de plaguicidas específicamente puede no ser de gran importancia, ya que el peso molecular no es el único factor que afecta la absorción de sustancias químicas. Por otro lado, el uso de adyuvantes adecuados pueden reducir en gran medida el efecto de tamaño de productos químicos en difusión transcuticular (Wang y Liu, 2007).

Los plasmodesmos de las plantas solo pueden permitir la libre circulación de moléculas menores de 1000 g/mol (Oparka y Roberts 2001). No es una coincidencia que la mayoría de los herbicidas de aplicación foliar tengan un peso molecular entre 100 y 500 g/mol (Tice 2001), ya que muchas moléculas fuera de rango serían eliminadas en la etapa de selección si no

pueden ingresar a las hojas de las plantas o moverse entre las células.

Una de las principales características fisicoquímicas que define la absorción y el comportamiento de los herbicidas en las plantas es el grado de afinidad que éste posea con los compuestos lipídicos denominada liposolubilidad.

Debido a la naturaleza lipídica de la cera epicuticular y la cutícula, en general la captación foliar tiende a aumentar, al aumentar la lipofiliidad de las sustancias químicas, por lo que hasta cierto punto, el aumento de la lipofiliidad del herbicida parece aumentar la velocidad y eficacia de la penetración de la cutícula (Kerler y Schönerr 1988; Schönherr y Riederer 1989; Schönherr y Baurr 1994).

El coeficiente de partición Octanol-Agua (K_{ow}) ha sido utilizado tradicionalmente como estimador fisicoquímico de la solubilidad de los lípidos y de la absorción cuticular de moléculas de herbicidas. El mismo mide la solubilidad diferencial de un soluto en esos dos disolventes, simulando el carácter hidrófobo o la afinidad hacia los lípidos de una sustancia disuelta en agua (Paschke et al., 2004).

Los herbicidas lipofílicos ($\log K_{ow} > 3$) son absorbidos en las hojas por medio de la ruta lipofílica, representada por las ceras embebidas de la cutícula y los grupos no-polares de la cutina. Por otro lado, los herbicidas considerados hidrófilos lo hacen a través de ruta hidrófílica (Kirkwood, 1999).

Fomesafen es un herbicida ácido con un coeficiente de reparto octanol-agua ($\log K_{ow}$) de 2,9 a pH 1 (Cui et al., 2017). El valor del $\log K_{ow}$ de saflufencil es de 2,6 a pH 1 (Shaner, 2014). Estos valores indican que ambos herbicidas pueden considerarse de neutros a lipofílicos.

Estas vías de penetración no son excluyentes, ya que existen compuestos que pueden penetrar por ambas rutas, debido a su condición de compuestos de polaridad intermedia. En este caso, los herbicidas pueden utilizar la vía lipofílica para superar las ceras epicuticulares, para luego pasar a la ruta hidrofílica y superar la capa de cutina y pectina. Este tipo de compuestos son los ideales para ser aplicados sobre el follaje, ya que compuestos totalmente apolares pueden quedar acumulados en las ceras epicuticulares de la cutícula, incapacitados de moverse desde allí, mientras que un compuesto totalmente polar tendrá mucha dificultad de penetrar la capa de ceras epicuticulares, donde el contenido de agua puede ser nulo. En el proceso de penetración de la cutícula por los herbicidas, también juega un importante papel el solvente o vehículo en el que se encuentre formulado el herbicida (Asthon y Crafts, 1973; Monaco et al., 2002).

La proporción de las rutas lipofílicas e hidrofílicas es especie dependiente, definiendo la facilidad de entrada de cada herbicida. En algunas situaciones donde los herbicidas polares se enfrentan a una mayor dificultad de penetración y a una mayor repulsión por parte de las ceras cuticulares, el agregado de tensioactivos adecuados mejoran la dispersión y la retención de las gotas hasta encontrar las rutas hidrofílicas presentes en menor proporción.

Sin embargo, el K_{ow} no es la única propiedad que determina la penetración foliar, por lo que sería erróneo concluir que todos los compuestos lipofílicos son absorbidos más rápidamente por el follaje de las plantas que los hidrofílicos. Tampoco puede utilizarse como predictor para el proceso de sorción en las membranas cuticulares, lo cual en muchos casos presenta una mayor relevancia que el simple pasaje a través de la barrera de cera cuticular (Stagnari, 2007).

Para los fitosanitarios que se comporten como ácido o bases débiles, el

Kow depende del pH del medio en que se encuentre el sistema, debido al proceso de ionización que sufre la molécula; las formas neutras son significativamente más lipofílicas que las formas iónicas. Este coeficiente de reparto influye de forma importante sobre la capacidad de movilización de los herbicidas en las plantas, en especial por vía apoplástica. Compuestos con valores muy altos de $\log Kow$ tienden a ser poco móviles por el apoplasto, debido a su alta afinidad con la membrana celular. Los plaguicidas con valores intermedios de Kow , como es el caso de fomesafen y saflufenacil se mueven con facilidad por el apoplasto, debido a la capacidad de penetración de la membrana y su distribución en los medios acuosos circundantes a ésta (Otto et al., 2001).

Existen numerosos trabajos que han intentado reportar el efecto de los adyuvantes sobre la absorción foliar, aunque muchos de ellos solo incluyen un número reducido de adyuvantes disponibles comercialmente y un limitado número de especies vegetales (Foy, 1993). La conclusión de estos trabajos refuerza lo mencionado anteriormente, donde no todos los tensioactivos presentan la capacidad de aumentar la absorción de cualquier químico, aunque tampoco proporcionan la información necesaria acerca de las características químicas y estructurales requeridas en un adyuvante para lograr alcanzar el objetivo de mejorar la absorción de los herbicidas (Wang y Liu, 2007).

Estudios realizados por Stock y Holloway (1993) indicaron que tensioactivos de bajo contenido de óxido de etileno (EO) lograban promover la absorción de compuestos lipofílicos ($\log Kow > 3$), mientras que los de alto contenido de OE eran más beneficiosos para la absorción de compuestos hidrofílicos ($\log Kow < 0$). Cuando los herbicidas de interés presentaban una lipofilidad intermedia o neutra, la absorción era independiente del contenido de OE del tensioactivo añadido. Estos resultados fueron confirmados posteriormente por otros estudios realizados

por Sharma et al. (1996), aunque los mismos solo pueden ser aplicados al número limitado de productos adyuvantes y especies vegetales evaluadas (Wang y Liu, 2007).

El aumento de la penetración de algunos ingredientes activos por la utilización de Aceites Vegetales Metilados ha sido demostrado por Mercier et al. (1997), donde el mecanismo de acción de los mismos se mostró similar a la de los tensioactivos con baja cantidad de OE.

Si bien esta teoría fue contemplada durante mucho tiempo, y en muchas situaciones lo sigue siendo, las últimas investigaciones comenzaron a prestarle menos atención a estas estructuras polares de los tensioactivos (OE) para comenzar a enfocarse en el efecto que las estructuras hidrófobas de los mismos generaban sobre la absorción de los distintos fitosanitarios. Estudios realizados por Gaskin y Holloway (1992) mostraron que los adyuvantes alcohol lineal resultaban más efectivos que los adyuvantes nonilfenol en la absorción del glifosato, mientras que Liu (2004) observó que al utilizar el herbicida bentazon adyuvantes de alcohol lineal provocaban un mayor efecto en la absorción que nonil fenol y octilfenol sin importar que todos ellos presentan el mismo número de EO (Wang y Liu, 2007).

1.2.2.3 Formulación de los herbicidas

La mayoría de los herbicidas no pueden utilizarse como son obtenidos del proceso industrial de extracción o síntesis. La formulación de un herbicida consiste en mezclar el ingrediente activo, en su concentración adecuada, con sustancias inertes y adyuvantes capaces de conferirle una mejor eficiencia biológica al ingrediente activo y una mayor estabilidad al producto durante su almacenamiento y transporte.

Los productos herbicidas comúnmente contienen tensioactivos o

surfactantes y otros componentes para asegurar buenas características de almacenaje y facilitar su mezcla con el agua en el tanque del equipo pulverizador.

El beneficio de incorporar un adyuvante de forma anticipada a la pulverización del herbicida seleccionado, será beneficios siempre y cuando el mismo interactúe de forma positiva con los componentes de la formulación comercial del herbicida. El desconocimiento exacto de los adyuvantes incorporados en la formulación genera, en muchos casos, que la incorporación posterior de un adyuvante no genere cambio alguno en las características de la solución o en el peor de los casos genere un cambio contrario al deseado, disminuyendo el control alcanzado.

1.2.3 Especificidad de los Adyuvantes según condiciones ambientales

Las variables meteorológicas más importantes a tener en cuenta en una pulverización son la temperatura y la humedad relativa siempre y cuando el viento no sea un impedimento. Condiciones de altas temperaturas y baja humedad relativa predisponen a la solución pulverizada a una alta probabilidad de evaporación, provocando que los productos aplicados no alcancen las malezas objetivo en la cantidad deseada.

La maleza bajo estudio es una especie estival C4, lo cual genera que sus períodos de control y por lo tanto de aplicación coincidan con la presencia de altas temperaturas.

En algunas situaciones la elección de algunos adyuvantes puede ayudarnos a reducir los riesgos de evaporación mejorando la calidad de la aplicación, aunque es de suma importancia reconocer que esta herramienta no puede ser utilizada de manera remediadora de situaciones extremadamente limitantes donde no debería realizarse ningún tipo de

aplicación.

Los adyuvantes disponibles más utilizados para esta función son los aceites. Tanto los aceites de origen mineral como vegetal son efectivos en reducir la evaporación produciendo un efecto de recubrimiento exterior de las gotas formando un anillo protector. El efecto antievaporante se mantiene luego de impactar sobre la hoja, factor que favorece la continuidad de la penetración del caldo (Minguela y Cunha, 2010).

Cuando la humedad relativa ambiente (HR%) es igual o mayor al 60% la utilización de aceites no es tan recomendada. Por el contrario, cuando la misma se presenta de manera inferior los aceites se presentan como buenos aliados. Cuando la humedad relativa alcanza niveles muy bajos, la recomendación pertinente sería no realizar ningún tipo de aplicación, ya que, como fue mencionado anteriormente existen ciertas limitantes ambientales frente a las cuales es imposible remediar la evaporación de las gotas con adyuvantes.

Los aceites tampoco deben ser utilizados en condiciones de temperaturas extremas, mayores a 30°C o menores a 0° C. Utilizarlos fuera del rango podría generar efectos fitóxicos no deseados sobre los cultivos de interés frente a la aplicación de herbicidas selectivos o un nivel de estrés sobre las malezas suficiente que evitar el correcta acción del herbicida dentro de la planta.

Resultados presentados por Christofoleti et al. (2013) concluyeron que la utilización de aceites como adyuvantes mejoró el control de malezas resistentes con herbicidas post-emergentes en situaciones tropicales, obteniendo los mejores resultados al utilizar aceite de semilla / organosilicona metilado (MSO / OSL) más UAN en el tanque.

Otra de las razones por las que se utilizan aceites, es porque su incorporación a la solución herbicida, genera un aumento de viscosidad en la solución pulverizada. Según Araújo y Raetano (2011), los aceites más viscosos tienden a persistir más en planta y esta característica les proporciona una alta resistencia a la evaporación de las gotas. Si bien estos adyuvantes pueden presentar muchas veces una baja capacidad solvente y en algunos casos, de penetración, su viscosidad podría ser una característica tomada en cuenta a la hora de optar por un adyuvante frente a condiciones ambientales limitantes.

Además de los aceites, la utilización de cualquier adyuvantes que puedan provocar una absorción foliar más rápida, también puede resultar beneficioso desde el punto de vista que las gotas se encuentren expuestas a estas condiciones limitantes por menor tiempo. De todas formas es necesario contemplar que adicionar adyuvantes a la solución puede provocar variaciones en las propiedades físicas del caldo, disminuyendo la tensión superficial de las gotas. Una menor tensión superficial de las gotas en la superficie expone a las mismas a una mayor probabilidad de evaporación. Es por eso que frente a situaciones de alta temperatura y baja humedad relativa, la incorporación de algunos adyuvantes que provoquen esta excesiva disminución en la tensión superficial, puede ser contraproducente (Cunha et al., 2010).

Además de generar importantes disminuciones en la tensión superficial de las gotas, los cambios en la viscosidad, pueden generar variaciones en el tamaño y la uniformidad de gotas (Al Heidary et al., 2014). Con la consecuente mayor probabilidad de ocurrencia de deriva, sin necesariamente mostrar ventajas comparativas en la deposición de estos productos, ni en el control biológico (Olivet et al., 2013).

Este trabajo se basa en el convencimiento de que alcanzar un efectivo

control de malezas requiere poder diferenciar las limitantes que presenta el sistema en el momento de la aplicación. Como se viene mencionando, las limitantes deben ser evaluadas a nivel de la especie, del herbicida y de las condiciones ambientales a las cuales se enfrenta la aplicación. Seleccionar los productos adyuvantes que mejor se adapten para levantar las limitantes diagnosticadas, requerirá de un minucioso estudio de todas las partes, reconociendo que no todas las aplicaciones herbicidas van a requerir de la incorporación de esta herramienta.

1.3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.3.1 Objetivos

Este trabajo, tuvo como objetivo determinar el efecto del agregado de cuatro tipo de adyuvantes: Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado metilado a los herbicidas saflufenacil y fomesafen en el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats y las posibles causales de esta respuesta.

1.3.2. Hipótesis

- Los niveles de control alcanzados de *Amaranthus palmeri* S. Wats por la aplicación de los herbicidas saflufenacil y fomesafen serán superiores por el agregado de adyuvantes específicos y dependerán de la concentración utilizada de los mismos.

- Los efectos del agregado de adyuvantes mostrarán relación con las características morfo-anatómicas de *Amaranthus palmeri* S. Wats y los cambios generados por la incorporación de los mismos en las características de la solución: tensión superficial y viscosidad.

2. EFECTO DEL AGREGADO DE DIFERENTES ADYUVANTES A LOS HERBICIDAS SAFLUFENACIL Y FOMESAFEN EN EL CONTROL DE

Amaranthus palmeri S. Wats¹.

Luciana Rey^a, Juana Villalba^b, Oscar J. Bentancur^c.

^a Docente, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; lrey@fagro.edu.uy.

^b Docente, Departamento de Protección Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; villalba@fagro.edu.uy.

^c Docente, Departamento de Biometría, estadística y computación, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Paysandú, Uruguay; obent@fagro.edu.uy.

2.1 RESUMEN

La incorporación de adyuvantes es una de las tecnologías propuestas para mejorar la efectividad de los herbicidas de baja translocación como los herbicidas PPO. La acción de los adyuvantes no solo depende de las formulaciones adyuvante-herbicidas, sino de las características morfo-anatómicas de las malezas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la incorporación de cuatro adyuvantes: Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a los herbicidas saflufenacil y fomesafen en el control de *Amaranthus palmeri* y las posibles causales de esta respuesta. Cada herbicida constituyó un experimento, presentando un diseño completo al azar, definido por los cuatro adyuvantes en concentraciones: 0; 0,25; 0,5 y 1% v/v. Se realizaron estimaciones visuales de control durante 10 y 12 días para saflufenacil y fomesafen

¹ Artículo a ser publicado en *Advances in weed science*

respectivamente. Los resultados obtenidos en esta especie fueron comparados con los obtenidos en *Bidens pilosa*, de forma de verificar la especificidad de esta herramienta. Los tratamientos en saflufenacil presentaron aumentos significativos en control de *Amaranthus palmeri*, demostrando una fuerte dependencia con el tipo de adyuvante, su concentración y la especie maleza a controlar. No se detectaron importantes aumentos de control al incorporar adyuvantes a la solución de fomesafen, por el contrario, algunos tratamientos generaron controles menores a los alcanzados por el herbicida en ausencia de adyuvantes. Estos resultados demuestran la importancia de relativizar todos los factores a la hora de incorporar un adyuvante, evitando generalizaciones en las recomendaciones de esta tecnología.

Palabras clave: Herbicidas PPO, Tecnología de aplicación

2.2 INTRODUCCIÓN

Los herbicidas inhibidores de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO), comparten como una de sus principales características, su baja o nula translocación en planta. Esto genera que su acción de control sea altamente dependiente de la cobertura del pulverizado sobre las malezas. Una de las tecnologías propuestas para mejorar la absorción y la efectividad, es la utilización de adyuvantes.

La incorporación de estas herramientas resulta atractiva por las variaciones que pueden generar sobre la solución herbicida y la formación de gotas. Existen evidencias que demuestran que la incorporación de ciertos adyuvantes pueden generar modificaciones en la tensión superficial, el pH, la viscosidad, el tamaño de la gota y la distribución de la solución de pulverización en la superficie foliar (1). También pueden provocar disminuciones significativas en la evaporación de los productos y aumentos

en la solubilidad de las cutículas vegetales (2). A pesar de esto, la información disponible pocas veces relaciona estas variaciones con el efecto que las mismas pueden provocar sobre el control de las malezas objetivo.

Los adyuvantes de interés para los herbicidas de limitada translocación, resultan ser aquellos que actúan permitiendo un aumento en la deposición y/o absorción en planta. Debido a la complejidad del proceso de absorción, no existe un modelo que pueda predecir cuantitativamente el efecto de un adyuvante determinado sobre la absorción de un herbicida específico (3). Este proceso es considerado especie dependiente, demostrando que la acción de los adyuvantes, no solo dependerá de la formulación adyuvante-herbicida utilizada, sino de las características morfo-anatómicas de las malezas de interés y de las limitantes meteorológicas a las cuales se enfrente la aplicación (4).

La efectividad de los adyuvantes depende de su capacidad de respuesta a todos los factores mencionados en cada caso particular. Frente a la imposibilidad de estudiar todas las combinaciones maleza-herbicida-adyuvante factibles, la forma de asegurar la correcta utilización de esta herramienta, es contar con la información de control para aquellas malezas de mayor interés.

La invasión de *Amaranthus palmeri* en los sistemas agrícolas de Uruguay y la región es considerada reciente. A pesar de esto, en la actualidad, esta especie constituye una de las mayores amenazas en la producción de cultivos estivales. Es conocida por sus elevadas tasas de crecimiento, su gran interferencia en soja y su resistencia a herbicidas de varios modos de acción (5).

. La importancia de esta especie en nuestra región, su dificultad de control y la magnitud de sus consecuencias en la producción agrícola,

determinaron que la misma fuera una de las malezas a estudiar en este trabajo, buscando adicionar herramientas eficaces de control para la misma.

Las estrategias de control de *Amaranthus palmeri*, incluyen un aumento en el uso de herbicidas PPO, como saflufenacil (herbicida desecante de baja translocación) y fomesafen (herbicida de sistemía limitada, selectivo en soja), ambos herbicidas utilizados en este trabajo.

Si bien la morfología foliar de las malezas, influye en la cantidad de herbicida interceptado y retenido, son las características anatómicas de las mismas, quienes realmente influyen en la cantidad de producto absorbido. La efectividad de un adyuvante, depende de su afinidad con las superficies foliares (6). Debido a esto, fue importante incluir en el trabajo otra especie maleza estival que presentara características anatómicas contrastantes con *Amaranthus palmeri*, pudiendo ser controlada por los mismos herbicidas seleccionados. De esta forma, se evaluó si el efecto de incorporar adyuvantes sobre el control se mostraba especie-dependiente. La maleza seleccionada con este fin fue *Bidens pilosa*.

Una de las primeras barreras anatómicas en la absorción de herbicidas es el grosor de la cutícula. La presencia de tricomas y el número de estomas presentes en la cara adaxial de las hojas también pueden determinar diferencias en este proceso. Todas estas características presentan diferencias entre ambas especies de malezas seleccionadas (7,8).

La elección de los adyuvantes utilizados se basó en la baja sistemía de los herbicidas, buscando superar ciertas barreras y potenciando la absorción de estos productos a nivel foliar. Se seleccionaron cuatro adyuvantes: Aceite vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado. Los adyuvantes aceites son considerados antievaporantes y cuando los mismos son formados utilizando aceite metilado también

presentan condiciones penetrantes (2). Por otro lado, el principal objetivo de los surfactantes Organosiliconados es generar una mayor probabilidad de que el ingrediente activo de movilidad baja o nula alcance una mayor superficie foliar, disminuyendo la tensión superficial de las gotas y por lo tanto su ángulo de contacto.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la incorporación de cuatro adyuvantes: Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a los herbicidas saflufenacil y fomesafen en el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats y las posibles causales de esta respuesta. De esta forma, se buscó explorar posibles explicaciones de los efectos en control que justifiquen o no, la incorporación de una sustancia química extra al herbicida ya aplicado.

2.3. METODOLOGÍA

2.3.1. Evaluación del agregado de adyuvante en el control de *Amaranthus palmeri*

Los experimentos fueron llevados a cabo en el 2020, en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Udelar-Uruguay. Cada herbicida constituyó un experimento en el que se evaluaron cuatro tipos de adyuvantes, en cuatro concentraciones distintas, planteando un diseño experimental de bloques al azar con 5 repeticiones por tratamiento, siendo cada repetición una maceta.

Las semillas de las especies latifoliadas estivales seleccionadas, *Amaranthus palmeri* S. Wats. y *Bidens pilosa* habían sido cosechadas en abril del 2019 y fueron sembradas sobre macetas de 1244 cm³, obteniendo 3 plantas por maceta.

Los herbicidas evaluados fueron saflufenacil 24 g ia/ha (HEAT ®, 70%), utilizado como herbicida desecante en barbecho y fomesafen 300 g ia/ha (FOMEX PRO ®, 22,3%), seleccionado como herramienta pos emergente del cultivo de soja.

Los adyuvantes evaluados fueron, un Aceite vegetal, un Aceite Vegetal Metilado, un Organosiliconado y un Organosiliconado Metilado; utilizados en un estudio de dosis respuesta (0; 0,25; 0,5 y 1% v/v).

Tabla 1. Adyuvantes seleccionados y sus propiedades.

Adyuvantes	Marca comercial	Tensoactivos	Concent. en volumen
Aceite Vegetal	ECO - OLEO Tampa	Aceite vegetal SOJA	861 g/l - 92,5 %
		Emulsionantes y Sufactantes	c.s.p 1 l - 5%
Aceite Vegetal Metilado	UPTAKE M Corteva	Ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal	754 g/l - 85%
Organosiliconado	SILWET LAG RIZOBACTER	Heptametiltrisiloxano Modificado	837 g/l - 84%
		Copolimero Polieter Silicona	
Organosiliconado Metilado	EXTREMO RIZOBACTER	Ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal	698 g/l - 77%
		Copolimeros de polialquileno y silicona	208 g/l - 23%

Los tratamientos fueron aplicados cuando las plantas presentaron un estado de desarrollo de 5 hojas (10 cm de altura). Para esto, se utilizó un equipo pulverizador experimental presurizado con CO₂ para aplicar sobre las malezas de interés. El mismo se encontraba calibrado para un volumen de aplicación de 120 l ha⁻¹ y a una presión de 2,5 bar, utilizando boquillas TT 11001 generando gotas de tamaño medio.

Las condiciones meteorológicas promedio durante la aplicación fueron de 37 °C de temperatura, 66,6 % de humedad relativa, sin viento y la aplicación se realizó a 3,6 km/h.

Luego de la aplicación, las plantas fueron colocadas en condiciones controladas simulando condiciones estivales (30° C, temperaturas día / noche; fotoperíodo 12 h).

Las malezas tratadas se evaluaron cada 24 horas durante 10 y 12 días luego de la aplicación de saflufenacil y fomesafen respectivamente, ya que luego de esta cantidad de días el control se vio invariado. Se realizaron evaluaciones visuales de control, a partir de observaciones de síntomas de daño en las plantas, usando una escala subjetiva de la asociación latinoamericana de malezas, donde 0 representaba sin control y 100% un control completo o muerte total de planta (ALAM, 1974).

El efecto de la incorporación de adyuvantes a los herbicidas sobre el nivel de control de malezas fue analizado ajustando un modelo lineal generalizado asumiendo que el control es una variable multinomial ordinal. El modelo fue de tipo ODD proporcional. Se calcularon los valores de ODD Ratio del nivel de control de cada adyuvante respecto al control (el mismo herbicida pero sin adyuvante). Valores menores a 1, indican que el control logrado con adyuvante fue menor al herbicida sin adyuvante, valores iguales a 1 indican que no se encontraron diferencias en el control, y valores mayores a 1 indican que el nivel de control alcanzado por el uso de adyuvante fue mayor al alcanzado con el herbicida sin adyuvante. Se utilizó el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico SAS On Demand for Academics versión 9.04 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2018).

2.3.2. Evaluación del agregado de adyuvante en las características de las soluciones herbicidas

Para la evaluación de los cambios generados por los adyuvantes en las propiedades del caldo, se planteó un diseño completo al azar con tres repeticiones de cada tratamiento mencionado en las evaluaciones de control. Se evaluó viscosidad (Vicosímetro Brookfield CAP 1000+), pH (pHMetro Biriden HI-98108) y tensión superficial (Tensiómetro BP50 marca Kruss) en cada una de las repeticiones a temperatura ambiente (20° C).

Los resultados de estas evaluaciones fueron sometidos a análisis de varianza y a una comparación de medias, realizada por un test de Tukey ($p < 0,05$), comparando todos los tratamientos adyuvantes en todas sus concentraciones con el tratamiento testigo de cada herbicida sin adyuvante.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1. Evaluación del agregado de adyuvantes en el control de *Amaranthus palmeri*

Los resultados presentados en la Tabla 2, reflejan las medias de control estimadas de saflufenacil a los 10 días post aplicación. El control logrado por el herbicida saflufenacil en ausencia de adyuvantes se mostró diferente en ambas especies. En *Bidens pilosa* fue del 90%, mientras que en *Amaranthus palmeri* apenas alcanzó el 80%, visualizándose a su vez, que el 50% de las plantas de *A. palmeri* aplicadas habían rebrotado (datos no presentados). Esto confirma las importantes diferencias entre estas especies y remarca la mayor dificultad de control por parte de *A. palmeri*.

Los valores de ODD RATIO, resultan de la comparación de todos los tratamientos adyuvantes con los testigos anteriormente mencionados para

cada especie. Esta comparación se realizó en cada una de las fechas evaluadas permitiendo generar gráficas de evolución en el tiempo para cada adyuvante (Figura 1-8). En cada una de las comparaciones, se obtuvieron los p-valores correspondientes a cada fecha, obteniendo información, si los tratamientos evaluados lograban diferenciarse significativamente del testigo. A continuación se presentan únicamente los resultados de ODD RATIO y p-valor obtenidos al día 10 días post-aplicación (Tabla 2).

Tabla 2. Medias estimadas y valores de ODD RATIO a los 10 días post aplicación del herbicida saflufenacil, según tratamientos adyuvantes.

Adyuvantes	Concentración (% v/v)	Media		Media		Media	
		estimada <i>A. palmeri</i> (%)	ODD RATIO valor Pr > t	estimada <i>B. pilosa</i> (%)	ODD RATIO valor Pr > t	estimada <i>B. pilosa</i> (%)	ODD RATIO valor Pr > t
SIN	-	80		90			
Aceite Vegetal	0,25	89	4,179 0,0024	92	2,235 0,136		
	0,5	83	1,024 0,9602	93	2,988 0,067		
	1	85	1,895 0,1735	97	4,533 0,014		
Aceite Vegetal Metilado	0,25	82	0,524 0,1815	100	46,125 <,0001		
	0,5	81	0,647 0,3802	100	60,422 <,0001		
	1	94	3,384 0,0232	96	6,127 0,0032		
Organo- siliconado	0,25	96	10,518 <,0001	99	6,261 0,0023		
	0,5	100	48,948 <,0001	100	38,023 <,0001		
	1	100	46,211 <,0001	100	15,785 <,0001		
Organo- siliconado Metilado	0,25	89	11,069 0,0002	95	2,713 0,094		
	0,5	100	63,211 <,0001	99	64,392 <,0001		
	1	99	41,169 <,0001	100	109,33 <,0001		

Los tratamientos adyuvantes mostraron diferencias según especie. El agregado de aceite vegetal incrementó el control de *A. palmeri* únicamente cuando el mismo fue incorporado en su concentración 0,25% v/v,

aumentando el porcentaje de control del testigo a un 89%. De todas formas, este aumento en el control, fue menor al logrado por otros tratamientos adyuvantes (Organosiliconado 0,5 y 1% v/v = 100 % de control, Organosiliconado Metilado 0,5 y 1% v/v = 100% y 99% de control).

El Aceites Vegetal utilizado, es considerado principalmente como un buen anti-evaporante, influyendo de forma indirecta sobre la absorción foliar de los productos herbicidas. Esta condición es requerida en ambientes de alta temperatura y baja humedad relativa. A pesar de que estos tratamientos fueron aplicados simulando condiciones estivales, el tiempo necesario para alcanzar la máxima absorción de saflufenacil es relativamente corto. Esto minimiza la exposición de las gotas a estas condiciones ambientales de alta evaporación, generando que esta no sea la condición más requerida como aporte de los adyuvantes.

Por el contrario, en *B pilosa* el único tratamiento de Aceite Vegetal capaz de aumentar el buen control del testigo, fue la mayor concentración del adyuvante (1% v/v) alcanzando un control del 97% (Fig. 1B). La presencia de tricomas en la cara adaxial de las plantas de *B. pilosa* (20 tricomas mm^{-2}), a diferencia de la inexistencia de los mismos en *A. palmeri*, pueden dificultar la cantidad total de producto interceptado y absorbido por las mismas, evitando que las gotas lleguen a la epidermis (Ferreira et al., 2002). La utilización de Aceite Vegetal pudo haber sido una herramienta para vencer esta barrera, permitiendo un mayor deslizamiento de las gotas interceptadas por los tricomas. Este efecto es otorgado por la presencia de emulsificantes en los adyuvantes Aceite, lo cuales cumplen un rol esencial en la propagación de las gotas de solución herbicida. La cantidad de emulsionante en el Aceite Vegetal es de 5% de la formulación, concentración a la cual se espera que los propios tensioactivos puedan influir en la eficacia del herbicida (9). Los resultados demostraron que solamente la utilización de la máxima concentración de Aceite Vegetal (1%

v/v) pudo lograr este efecto en *B. pilosa*.

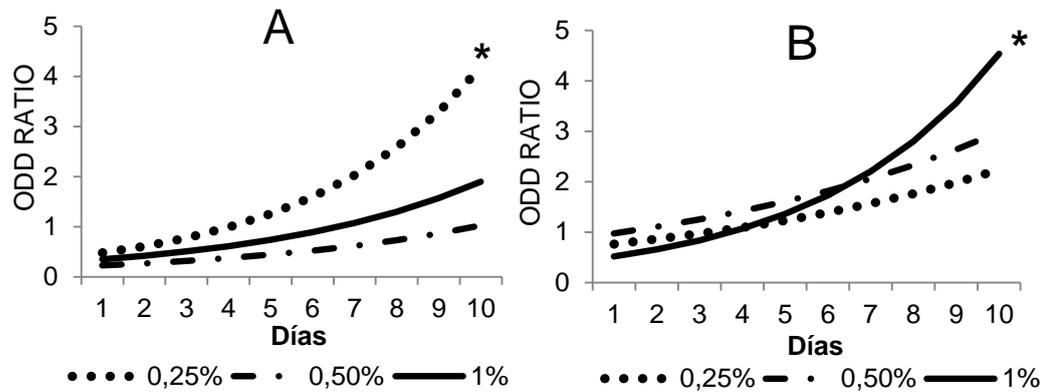


Figura 1. Efecto del agregado de Aceite Vegetal al herbicida saflufenacil en relación al testigo de saflufenacil sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*.

*Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difieren significativamente del control alcanzado por el testigo a los diez días post aplicación ($P \leq 0,05$).

A pesar de las pocas variaciones en control, es importante resaltar que la incorporación de Aceite Vegetal al herbicida saflufenacil no generó disminuciones significativas de control, independientemente de las concentraciones utilizadas del mismo. En ninguno de los tratamientos con Aceite vegetal se visualizó rebrotes en las especies aplicadas, a diferencia del tratamientos testigo en *Amaranthus palmeri*.

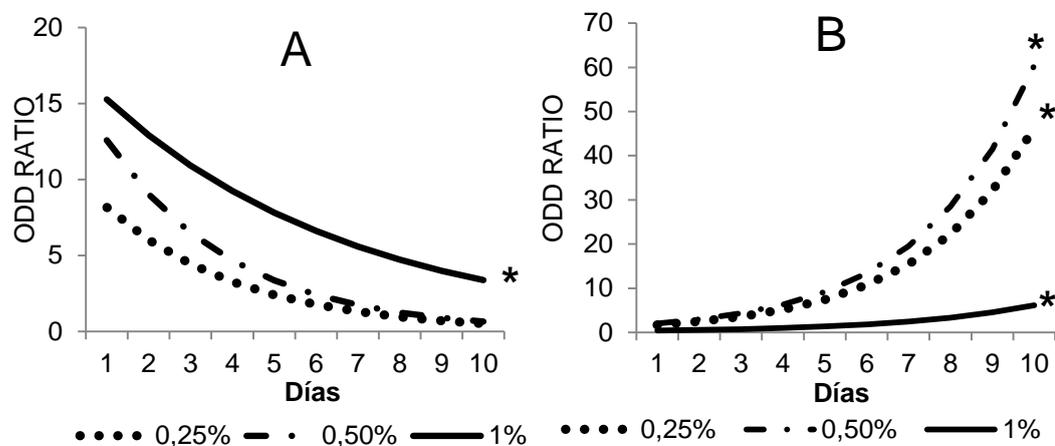


Figura 2. Efecto del agregado de Aceite Vegetal Metilado al herbicida saflufenacil en relación al testigo de saflufenacil sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*. *Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

La incorporación de Aceite Vegetal Metilado generó significativos aumentos en el control de *Bidens pilosa* independientemente de la concentración en la que había sido utilizado. Estos resultados difirieron con los encontrados en *Amaranthus palmeri*, donde la incorporación de este adyuvante solo logró estos efectos cuando el mismo fue incorporado en su mayor concentración (Tabla 2; Figura 2).

Los ésteres metílicos de ácidos grasos de origen vegetal, presentan excelentes cualidades penetrantes además de antievaporantes. Este adyuvante logra impregnarse en la cutícula, generando alteraciones en sus propiedades físicas. De esta forma incrementa su fluidez y elimina los sitios de adsorción, disminuyendo así, su resistencia de absorción (9).

La concentración óptima de Aceite Vegetal Metilado también depende

de lo anteriormente citado, demostrando que existe una fuerte dependencia de la estructura de la superficie foliar de las especies maleza a controlar. En *B. pilosa*, fue suficiente la menor concentración de adyuvante para aumentar significativamente los controles de saflufenacil, explicado por el menor grosor de cutícula de *B. pilosa* 1,33 μm en relación a *A. palmeri* 3,95 μm (7,8).

Los adyuvantes Organosiliconado (Fig. 3) y Organosiliconado Metilado (Fig. 4), fueron los únicos adyuvantes que evidenciaron efectos similares sobre las dos especies evaluadas.

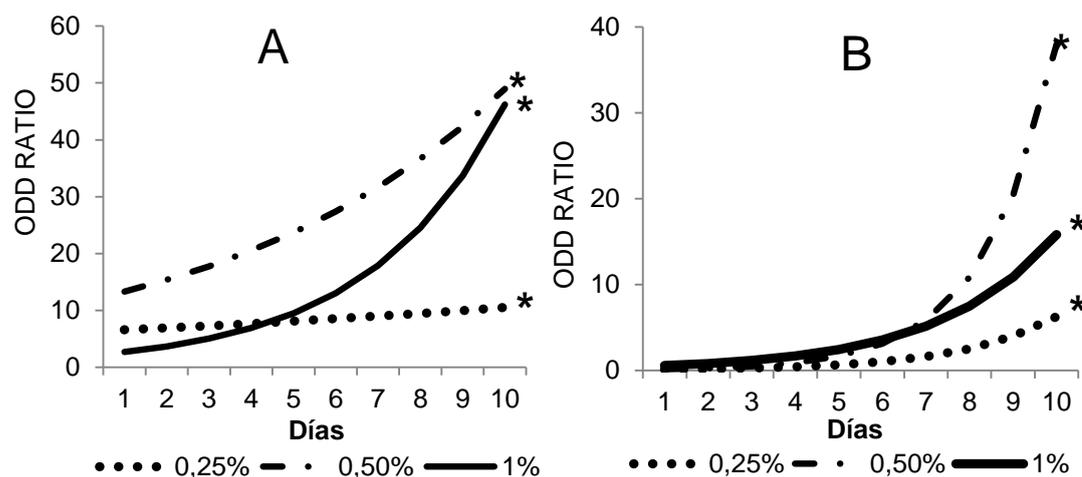


Figura 3. Efecto del agregado de Organosiliconado al herbicida saflufenacil en relación al testigo de saflufenacil sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*.

*Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

Cuando el adyuvante agregado fue Organosiliconado, todas las concentraciones evaluadas lograron aumentar significativamente el control alcanzado por el testigo. Los valores de control se mostraron muy similares

independientemente de las concentraciones utilizadas en *B. pilosa* (99, 100 y 100% de control). En el control de *A. palmeri*, existieron diferencias entre concentraciones, donde 0,5 y 1% v/v alcanzaron controles del 100%, mientras que la menor concentración 0,25% v/v generó 96% de control.

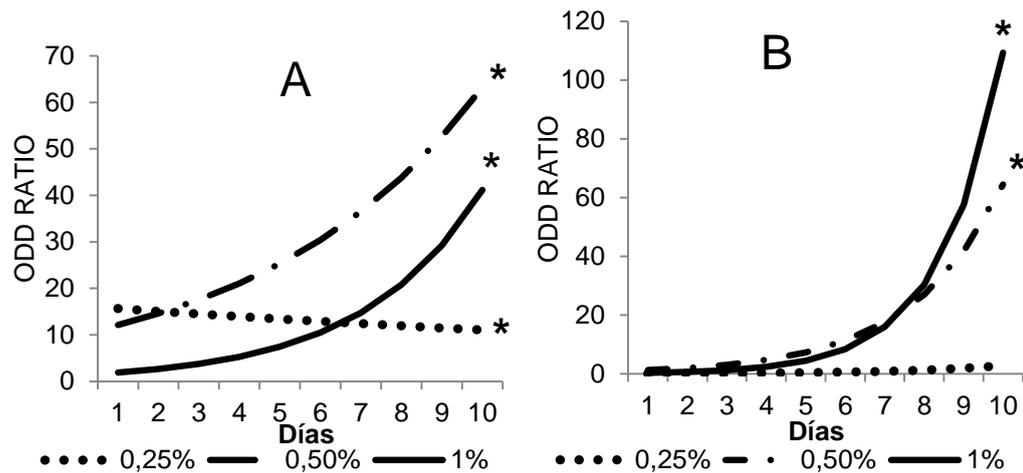


Figura 4. Efecto del agregado de Organosiliconado Metilado al herbicida saflufenacil en relación al testigo de saflufenacil sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*. *Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

La incorporación del adyuvante Organosiliconado Metilado provocó aumentos significativos en el control de *A. palmeri* independientemente de la concentración utilizada. A pesar de esto, los valores de control alcanzados por las diferentes concentraciones mostraron diferencias entre ellos, donde 0,25% v/v alcanzó un control del 89%, menor al generado por 0,5 y 1% v/v de 100 y 99% respectivamente.

En *B. pilosa*, las únicas concentraciones de Organosiliconado metilado que lograron aumentar significativamente el control respecto al testigo fueron 0,5% y 1% de v/v.

Los trisiloxanos presentes en los adyuvantes Organosiliconados, así como los copolímeros de polialquileno y silicona presentes en los Organosiliconados Metilados, tienen la capacidad de causar una superpropagación, extendiéndose en una magnitud mayor que los tensioactivos orgánicos tradicionales, logrando aumentar drásticamente la cobertura de 10 a 100 veces el diámetro de la gota pulverizada (10). Existe evidencia de que estos adyuvantes también permiten la absorción de herbicidas a través de la infiltración estomática. Si bien *B. pilosa* presenta en su estructura foliar un menor número de estomas que *A. palmeri* (45 y 156 estomas en la cara adaxial respectivamente), ambas especies son consideradas anfiestomáticas, pudiendo cumplir con esta vía de absorción (7,8).

Los tratamientos (adyuvante x concentración) que lograron los mejores controles, diferenciándose significativamente del testigo, fueron comparados entre sí logrando identificar las mejores herramientas de control para *Amaranthus palmeri* y *Bidens pilosa* al aplicar saflufenacil (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias estimadas de aquellos tratamientos que lograron diferenciarse significativamente del testigo a los 10 días post aplicación del herbicida saflufenacil.

	Tratamiento 1	Media estimada (%)	Tratamiento 2	Media estimada (%)	Pr > t
<i>A. palmeri</i>	AV 0,25% v/v	89	AVM 1% v/v	94	<,0001
	AV 0,25% v/v	89	OM 0,25% v/v	89	0,0856
	AVM 1% v/v	94	O 0,25% v/v	96	0,3122
	AVM 1% v/v	94	O 0,5% y 1% v/v	100	<,0001
	AVM 1% v/v	94	OM 0,25% v/v	89	<,0001
	AVM 1% v/v	94	OM 0,25% v/v	89	<,0001
	AVM 1% v/v	94	OM 0,25% v/v	89	<,0001
	AVM 1% v/v	94	OM 1% v/v	99	<,0001
	O 0,25% v/v	96	O 0,5 y 1 % v/v	100	<,0001
	O 0,5% v/v	100	OM 0,5% v/v	100	0,44208
	O 1% v/v	100	OM 1% v/v	99	0,32545
<i>B. pilosa</i>	AV 1% v/v	96	AVM 1% v/v	96	0,0946
	AV 1% v/v	96	AVM 0,25 y 0,5% v/v	100	<,0001
	AVM 1% v/v	96	O 0,25 % v/v	99	<,0001
	AVM 1% v/v	96	O 0,5 y 1% v/v	100	<,0001
	AVM 1% v/v	96	OM 1% v/v	99	<,0001
	O 0,25% v/v	99	OM 0,5% v/v	100	0,3122
	O 0,5% v/v	100	OM 0,5% v/v	100	0,2208
	O 1% v/v	100	OM 1% v/v	100	0,0846

Los mejores tratamientos adyuvantes para el control de *Amaranthus palmeri* con saflufenacil fueron Organosiliconado y Organosiliconado Metilado, en sus concentraciones 0,5 y 1% v/v.

Cabe destacar que el control alcanzado por la incorporación de 0,25% v/v de Organosiliconado alcanzó controles significativamente más altos que la misma concentración de Organosiliconado Metilado. Si bien ambos adyuvantes lograron aumentar significativamente el control de saflufenacil, sus diferencias en composición pueden explicar los resultados obtenidos en relación a sus concentraciones óptimas. El adyuvante Organosiliconado presenta en su formulación un 84% de Heptametiltrisiloxano modificado, a diferencia del Organosiliconado Metilado compuesto por 23% de Copolímeros de poliaquileno y silicona, ambos responsable de generar los efectos de humectación requeridos. Si bien ambos compuestos son diferentes, impidiendo su comparación total, estas grandes diferencias porcentuales pueden explicar el hecho de que el adyuvante Organosiliconado Metilado haya alcanzado los mismos resultados que el Organosiliconado, solamente cuando aumento su concentración utilizada.

La menor concentración de Organosiliconado Metilado, presentó valores similares a los obtenidos por Aceite Vegetal incorporado en 1% v/v. Si bien estos dos tratamientos también lograron diferenciarse significativamente del testigo, fueron quienes dentro de este grupo presentaron los menores aumentos de control.

Los mejores tratamientos en *B. pilosa* fueron, la incorporación de Organosiliconado independientemente de la concentración utilizada, Organosiliconado Metilado al 0,5 y 1 % v/v y Aceite Vegetal Metilado en 0,25 y 0,5% v/v. Todos los tratamientos alcanzaron controles del 100% con excepción del Organosiliconado 0,25% v/v que mostró controles del 99% sin diferenciarse significativamente del máximo obtenido.

Aceite Vegetal y Aceite Vegetal Metilado incorporados al 1% v/v, alcanzaron controles del 96% en ambos casos, diferenciándose significativamente del testigo, pero también de los mejores tratamientos

anteriormente nombrados.

Los resultados presentados en la Tabla 4, reflejan las medias estimadas de control evaluadas de fomesafen a los 12 días post aplicación. El control logrado por el herbicida en ausencia de adyuvantes se mostró diferente en ambas especies. En *Amaranthus palmeri* fue del 98% y en *Bidens pilosa* fue del 90%.

Tabla 4. Medias estimadas y valores de ODD RATIO a los 12 días post aplicación del herbicida fomesafen, según tratamientos adyuvantes.

Adyuvantes	Concentración (% v/v)	Media		Media estimada		ODD RATIO	
		estimada	ODD RATIO	Media estimada	ODD RATIO		
		<i>A. palmeri</i> (%)	Valor Pr > t	<i>B. pilosa</i> (%)	valor Pr > t		
SIN	-	98		90			
	0,25	99	1,037 0,4320	93	1,058 0,1250		
Aceite	0,5	100	1,885 <,0001	98	1,239 <,0001		
Vegetal	1	62	0,552 <,0001	79	0,768 <,0001		
Aceite	0,25	97	1,009 0,4004	88	0,927 0,2051		
Vegetal	0,5	98	1,076 0,5333	88	0,93 0,2065		
Metilado	1	100	2,814 <,0001	85	0,891 0,0003		
	0,25	100	1,608 <,0001	88	0,968 0,329		
Organo-	0,5	100	1,105 0,3000	89	0,9739 0,4130		
siliconado	1	99	1,029 0,0624	99	1,2786 <,0001		
Organo-	0,25	100	1,200 0,0003	87	0,9283 0,2071		
siliconado	0,5	100	1,293 <,0001	91	1,0772 0,4030		
Metilado	1	100	1,158 0,0051	97	1,1764 <,0001		

Si bien algunas de las concentraciones de los adyuvantes evaluados lograron mejorar el control respecto al herbicida sin adyuvante, el nivel de control de este ya era excelente (98%), por tanto, las mejoras resultaron agronómicamente insignificantes (Figura 5A-9A).

El fomesafen utilizado es formulado como sal sódica, presentando ciertas incompatibilidades en el tanque de pulverización, tanto en interacción con el agua como con otras moléculas. Estas incompatibilidades suceden debido a que el sodio presenta carga iónica efectivamente alta, generando la necesidad de incluir tensioactivos determinados en las formulaciones de los

productos comerciales (11). La mayoría de las veces, el tensioactivo utilizado es un alcohol graso etoxilado, lo cual genera descensos importantes de tensión superficial. Esto explica que los niveles de control de *A. palmeri* alcanzados por fomesafen, así como algunos tratamientos en *B. pilosa*, no hayan presentado aumentos significativos por el agregado de adyuvantes, debido a que la formulación comercial utilizada ya los presenta.

En *Bidens pilosa*, la incorporación de los adyuvantes; Aceite Vegetal (0.5% v/v), Organosiliconado (1% v/v) y Organosiliconado Metilado (1% v/v) aumentaron de forma significativa el control logrado por el testigo (Figura 5B, 7B y 8B).

A pesar del menor grosor de cutícula, la presencia de tricomas y de un menor número de estomas presentes en *Bidens pilosa*, pueden dificultar el alcance del control total herbicida en esta especie (100%). La incorporación de adyuvante Aceite vegetal en 0,5% v/v puede haber permitido un mayor deslizamiento de las gotas interceptadas por los tricomas. Efecto visualizado únicamente en esta concentración óptima.

La incorporación de Organosiliconado y Organosiliconado Metilado permitió alcanzar una mayor cantidad de puntos de absorción, cumpliendo un efecto aditivo a los tensioactivos incorporados en la formulación comercial, únicamente cuando fueron incorporados en su máxima concentración.

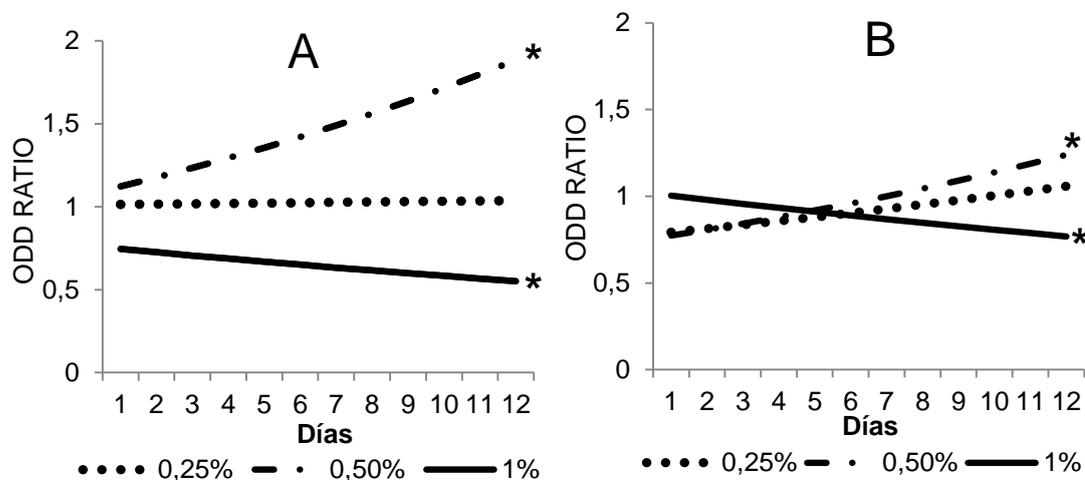


Figura 5. Efecto del agregado de Aceite Vegetal al herbicida fomesafen en relación al testigo de fomesafen sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*. *Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación.

Por el contrario, fueron visualizadas disminuciones en control del 30% respecto al control testigo *Amaranthus palmeri*, por la incorporación de Aceite vegetal (1% v/v). Estas disminuciones de control, se debieron a un aumento en el porcentaje de plantas rebrotadas (datos no presentados). Si bien agregados de este adyuvante en menores concentraciones no generaron disminuciones en control, es de esperar que un exceso en la concentración de Aceite Vegetal haya provocado el barrido de las gotas de baja tensión superficial depositadas inicialmente en la superficie foliar. Esta baja tensión superficial en las gotas pulverizadas, también se explica por la inclusión de tensioactivos presentes en la formulación comercial del fomesafen aplicado.

En *B. pilosa* también se constataron reducciones de control por la incorporación de Aceite vegetal (1% v/v) y Aceite Vegetal Metilado (1% v/v)

generaron reducciones de control del 10% respecto al control testigo sin adyuvante, también consecuencia del porcentaje de plantas rebrotadas.

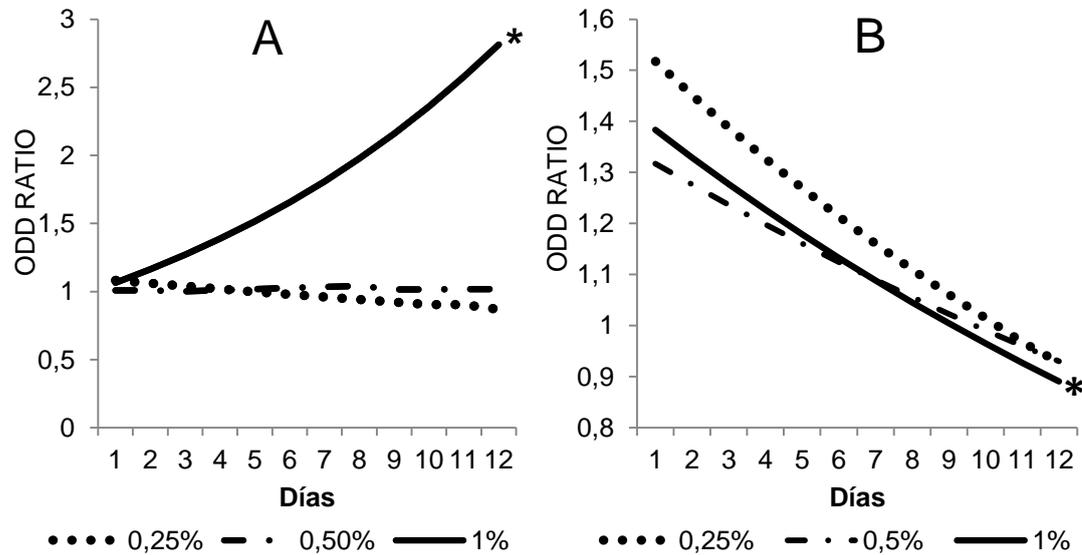


Figura 6. Efecto del agregado de Aceite Vegetal Metilado al herbicida fomesafen en relación al testigo de fomesafen sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*.

*Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

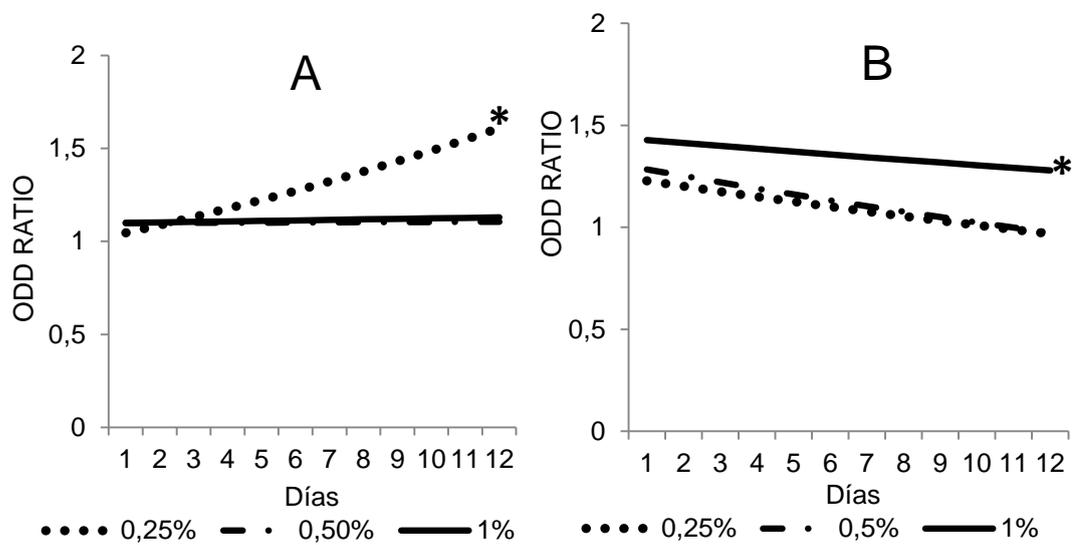


Figura 7. Efecto del agregado de Organosiliconado al herbicida fomesafen en relación al testigo de fomesafen sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*.

*Indica que el control de los tratamientos herbicida con adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

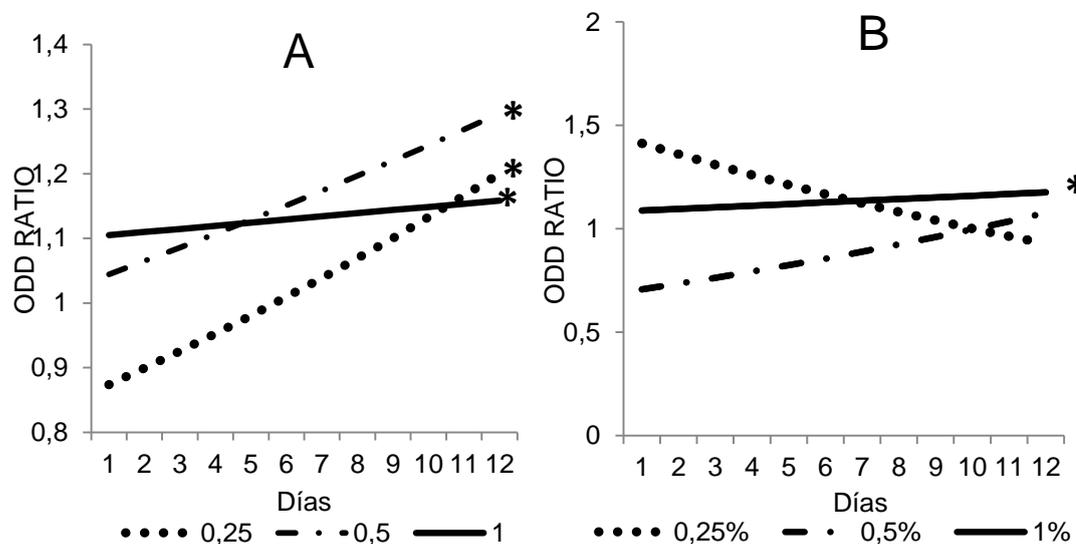


Figura 8. Efecto del agregado de Organosiliconado Metilado al herbicida fomesafen en relación al testigo de fomesafen sin adyuvante el control de las malezas estudiadas: A) *Amaranthus palmeri* S. Wats. y B) *Bidens pilosa*. *Indica que el control adyuvante difiere significativamente del control alcanzado por el testigo al día diez de evaluación ($P \leq 0,05$).

2.4.2 Efecto del agregado de adyuvantes sobre las características de la solución herbicida

Los cambios en viscosidad, pH y tensión superficial generados por la incorporación de adyuvantes en las soluciones se evaluaron comparando todos los tratamientos con un testigo de cada herbicida sin adyuvante (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación de las características de las diferentes soluciones herbicida según tratamiento adyuvante.

Adyuvantes	(% v/v)	saflufenacil			fomesafen		
		Viscosidad (cP)	pH	Tens. Sup. (N m-1)	Viscosidad (cP)	pH	Tens. Sup. (N m-1)
SIN	-	7,94 B	7,6A	69,7 A	7,71 A	8,5 A	47,6 A
Aceite Vegetal	0,25	8,55 B	7,5 A	70,5 A	7,42 A	8,5 A	48,2 A
	0,5	7,79 B	7,5A	61,3 A	8,61 A	8,4 A	47,3 A
	1	8,64 B	7,4 A	59,7 A	8,16 A	8,5 A	46,8 A
Aceite Vegetal Metilado	0,25	7,05 B	7,5A	63,0 A	8,12 A	8,6 A	47,1 A
	0,5	7,83 B	7,5 A	55,0 A	7,96 A	8,5 A	50,5 A
	1	8,14 B	7,4 A	52,8 A	7,95 A	8,2 A	48,9 A
Organosiliconado	0,25	8,40 AB	7,6A	59,9 A	7,74 A	8,7 A	42,4 A
	0,5	8,26 AB	7,7 A	47,9 B	8,86 A	8,4 A	40,6 A
	1	9,73 A	7,7A	45,9 B	8,38 A	8,4 A	41,0 A
Organosiliconado Metilado	0,25	8,04 B	7,5 A	54 AB	8,12 A	8,5 A	43,7 A
	0,5	8,51 B	7,5 A	49,5 B	8,11 A	8,5 A	42,0 A
	1	8,2 B	7,8A	44,4 B	8,39 A	8,3 A	39,5 A

** Valores con igual letra no difieren significativamente ($P \leq 0,05$)

Los valores de viscosidad, pH y tensión superficial del agua fueron 7,90cP, 7,5 y 72,8 respectivamente. La incorporación del herbicida saflufenacil al agua en ausencia de adyuvantes, no generó variaciones en las mismas, lo que confirma que los adyuvantes tienen efectos sobre algunas características físico-químicas en las soluciones de este herbicida.

Los valores de pH se mantuvieron similares a los del agua, independientemente del tratamiento adyuvante incorporado, demostrando que la incorporación de los mismos no estaría afectando la estabilidad de la

solución. La incorporación de los adyuvantes Organosiliconado y Organosiliconado Metilado provocaron disminuciones significativas en la tensión superficial cuando los mismos fueron agregados en sus dos máximas concentraciones evaluadas (0,5 y 1 % v/v). Estos valores coinciden con los máximos controles alcanzados, los cuales se diferenciaron significativamente del control testigo en ausencia de adyuvante. Estas importantes disminuciones de tensión superficial responden al mayor requerimiento buscado en aplicaciones de productos de contacto. Esto no solo demostró favorecer el control en ambas especies evaluadas, sino que generó que el efecto adyuvante se volviera independiente de la especie aplicada, a diferencia de lo ocurrido con los otros dos adyuvantes evaluados.

El adyuvante Organosiliconado incorporado a una concentración de 1% v/v, fue el único tratamiento capaz de aumentar significativamente la viscosidad de la solución de saflufenacil evaluada, mientras que concentraciones menores (0,25 y 0,5 % v/v) generaron valores de viscosidad intermedios. Según (12), agregar adyuvantes puede provocar variaciones en las propiedades físicas del caldo y los resultados obtenidos en saflufenacil eran esperados. El descenso significativo de la tensión superficial generado en los tratamientos mencionados puede parecer muy atractivo desde el punto de vista de la absorción en hoja, pero la realidad es que esta variación puede generar importantes disminuciones en el tamaño y en la uniformidad de las gotas, aumentando así su potencial de deriva (13).

No se evaluaron variaciones significativas en viscosidad, pH y tensión superficial por el agregado de adyuvantes a la solución herbicida de fomesafen. La incorporación de este herbicida a la solución acuosa, previo a la incorporación de adyuvantes demostró generar aumentos de pH e importantes disminuciones de tensión superficial (35%) respecto a los valores del agua, volviendo insignificantes los efectos del adyuvante

posterior. Las variaciones generadas, en especial el descenso en tensión superficial, son consecuencia, como fuera mencionado a la inclusión de tensioactivos específicos en la formulación comercial utilizada.

2.5 CONCLUSIONES

La incorporación de adyuvantes de tipo Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a saflufenacil, generó variaciones significativas en el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats en comparación a la aplicación de este herbicida en ausencia de adyuvante. Si bien los efectos sobre el control de saflufenacil dependieron del tipo y concentración de adyuvante utilizado, se demostró una fuerte dependencia con la especie, principalmente al utilizar adyuvantes oleosos. Por otra parte, los adyuvantes Organosiliconado y Organosiliconado Metilado fueron los únicos capaces de modificar propiedades físicas en la solución herbicida, generando una situación más propicia para la absorción de saflufenacil, independizando su efecto de las especies tratada.

Ninguno de los adyuvantes incorporados a fomesafen generaron variaciones de significancia agronómica en el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats en comparación a la aplicación de este herbicida en ausencia de adyuvante. Los tratamientos adyuvantes tampoco modificaron las propiedades físicas de la solución de este herbicida.

2.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Leonardo Sequeira y a Mathias Collares por su ayuda en la realización práctica de esta investigación.

2.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Green J, Cahill W. Enhancing the Biological Activity of Nicosulfuron with Silicone Adjuvants and pH Adjusters. *Pest. Form. and App. Syst.* 2003; 23: 115-124. Available from: <https://doi.org/10.1520/STP11200S>.
- (2) Minguela JV, Cunha JPAR. Manual de aplicação de produtos fitosanitários. Viçosa MG: Aprenda Fácil Editora; 2010.
- (3) Liu Z. Effects of surfactants on foliar uptake of herbicides – a complex scenario. *Coll. and Surf.* 2004; 35: 149–153. Available from: 10.1016/j.colsurfb.2004.02.016.
- (4) Hatterman-Valenti H, Pitty A, Owen M. Environmental Effects on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Epicuticular Wax Deposition and Herbicide Absorption. *Weed Sci.* 2011; 59(1): 14-21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-10-00061.1>
- (5) Ward SM, Webster TM, Steckel LE. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri* S. Wats). *Weed Tech.* 2012; 27: 12–27.
- (6) Faers MA, Pontzen R. Factors influencing the association between active ingredient and adjuvant in the leaf deposit of adjuvant-containing suspoemulsion formulations. *Pest Manag. Sci.* 2008; 64(8): 820–833. Available from: doi:10.1002/ps.1571.
- (7) Ferreira EA, Procópio SO, Silva EAM, Silva AA, Rufino RJN. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas - *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia*, *Ageratum conyzoides* e *Sonchus asper*. *Planta Daninha.* 2002; 20(3): 327-335.

- (8) Ferreira EA, Procópio SO, Silva EAM, Silva AA, Rufino RJN. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil - *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus spinosus*, *Alternanthera tenella* e *Euphorbia heterophylla*. *Planta Daninha*. 2003; 21(2): 263-271.
- (9) Gauvrit C, Cabanne F. Oils for Weed Control: Uses and Mode of Action. *Journal of Pest. Sci.* 1993; 37: 147-153.
- (10) Stevens PGJ, Kimberley MO. Adhesion of spray droplets to foliage: The role of dynamic surface tension and advantages of organosilicone surfactants. *Pest. Sci.* 1993; 38: 237-245. Available from: <https://doi.org/10.1002/ps.1571>.
- (11) Wang X, Zhang Y, Yu Y. Determination of solubility of sodium salts in aqueous surfactant and STPP solutions using an ion selective electrode. *J. Chem. Eng. Data.* 2016; 61(7): 2236-2243.
- (12) Mendonça CG, Raetano CG. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. *Eng. Ag.* 2007; 27(esp): 16-23.
- (13) Al Heidary M, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. *Crop prot.* 2014; 63: 120-130. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>.

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo cumplió con el objetivo planteado al determinar el efecto de agregar cuatro adyuvantes sobre el control de *Amaranthus palmeri* S. Wats, facilitando su correcta elección y utilización en situaciones de control específicas.

En primer lugar, el desempeño de cada producto adyuvante fue muy dependiente del herbicida utilizado. La incorporación de los adyuvantes, Aceite Vegetal, Aceite Vegetal Metilado, Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a saflufenacil, generó variaciones significativas en el control de *A. palmeri* en comparación a la aplicación de este herbicida en ausencia de adyuvante.

Los resultados demostraron que la relación adyuvante-maleza, fue más importante cuando los adyuvantes utilizados eran aceites. Por el contrario, al incorporar adyuvantes Organosiliconado y Organosiliconado Metilado a la solución, las modificaciones a nivel de solución generaron que el efecto de los mismos fuera independiente de la maleza a controlar.

A diferencia de esto, para el herbicida fomesafen ninguno de los adyuvantes incorporados generó variaciones significativas en el control de *A. palmeri*. Los resultados se explicaron por la inclusión de tensioactivos específicos en la formulación utilizada de este herbicida, demostrando que la elección de incorporar un adyuvante, no debe contemplar únicamente las limitantes de absorción o translocación del principio activo escogido, sino la formulación específica de cada uno. La falta de información en las etiquetas de herbicidas respecto a los adyuvantes incorporados en su formulación, complejiza la elección del adyuvante a agregar.

Esto demostró que no todos los productos herbicidas requieren de la

utilización de adyuvantes. Incorporar los mismos de manera generalizada es un gran error productivo que puede traer importantes consecuencias negativas.

La mala utilización de adyuvantes no solo impacta en el costo económico de la actividad de aplicación, sino también aumenta el costo ambiental, incorporando una sustancia química adicional innecesaria. Por otro lado, los adyuvantes pueden generar variaciones en el tamaño de gota, lo cual en algunos casos puede impactar sobre el potencial de deriva de las soluciones.

Frente a esto, y como forma de complementar los resultados presentados en el artículo, se estimaron los cambios a nivel de las características de población de gotas para aquellos adyuvantes posicionados como los mejores tratamientos para el control de *A. palmeri*.

La evaluación de las características de la población de gotas (DMV y % gotas < 100 μm) se realizó colocando cuatro tarjetas hidrosensibles al momento de la aplicación a ambos lados de las macetas pulverizadas. Las mismas fueron posteriormente escaneadas y analizadas utilizando el software: CIR 1.5.

Como era de esperar, los adyuvantes generaron cambios sobre la población de gotas pulverizadas, provocando alteraciones en el tamaño de las mismas. La incorporación de Organosiliconado y Organosiliconado Metilado en concentraciones 0,5 y 1% v/v generaron aumentos significativos en el Diámetro Mediano Volumétrico de las gotas depositadas en las tarjetas, lo cual se explica por una disminución en la tensión superficial de la solución. Si bien estos resultados podrían resultar de interés respecto a la generación de deriva, los mismos solo permiten obtener una noción de lo sucedido una vez que las gotas impactaron sobre las tarjetas simulando una

superficie foliar. La metodología utilizada no nos permite obtener información acerca del efecto de la incorporación de estos adyuvantes sobre las gotas previo a entrar en contacto con la maleza. Es en este punto donde se define realmente el potencial de deriva de las mismas, por lo cual no es posible realizar conclusiones.

Por otro lado, fue posible visualizar un efecto por la concentración, donde la concentración media de ambos adyuvantes mostró valores porcentuales de volumen compuesto en gotas menores a 100 μm similares o menores al testigo, mientras la concentración máxima estudiada para cada adyuvante (1% v/v) generó significativos aumentos de este porcentaje. Al contrario de los valores obtenidos con DMV, esta variable permite relacionar el efecto con un mayor potencial de deriva en este tratamiento.

Los mejores tratamientos de aceites en control de saflufenacil, resultaron ser Aceite Vegetal Metilado (1% v/v) y Aceite Vegetal (0,25% v/v). Estos tratamientos no generaron variaciones en el DMV de las gotas, permitiendo mantener el % de volumen de gotas menores a 150 μm o mantenerlas en valores similares al testigo.

Estos resultados permitieron concluir que dentro de los mejores tratamientos adyuvantes para control, incorporar Organosiliconado y Organosiliconado Metilado en concentraciones máximas podrían estar aumentando el potencial de deriva de la solución. La elección de un tratamiento adyuvante, si bien debe centrar su justificación en un significativo aporte para el control, no debe descuidar el efecto que la misma puede generar con repercusiones en el ambiente.

En el experimento de fomesafen, si bien fue posible visualizar el mismo aumento en el diámetro volumétrico de las gotas, ninguno de los tratamientos adyuvantes logró aumentar significativamente el control y por lo

tanto la incorporación de estas herramientas no se justificaría.

Todos estos puntos demuestran que la incorporación de un adyuvante debe realizarse en base a las necesidades presentadas en cada situación particular, generando conocimiento que haga énfasis en los resultados de control de las malezas y que permita realizar recomendaciones más específicas para la utilización de los mismos.

Este estudio contribuyó con información necesaria para la correcta utilización de adyuvantes en el control de *A. palmeri* con los herbicidas saflufenacil y fomesafen, pero deja evidencia de las interacciones que se encuentran en juego en el resultado final, demostrando la necesidad de seguir generando información para situaciones específicas.

Paralelamente a esto, aún quedan muchas situaciones para responder relacionadas a la incorporación de adyuvantes. Trabajos de investigación que involucren distintos adyuvantes, especies de malezas y condiciones ambientales contrastantes, serán clave para seguir desarrollando estrategias de control cada vez más eficientes.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Al Heidary M, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. 2014. Influence of spray characteristics on potential spray drift of field crop sprayers: A literature review. Crop protection, v. 63: 120-130. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.05.006>
- Alister CH, Kogan MA. 2003. El uso de los surfactantes como medio para aumentar la eficiencia de los herbicidas. Agronomía forestal UC, v.2 n.20: 9-13.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1999. Standard Terminology Relating to Agricultural Tank Mix Adjuvants. En: ASTM (Eds.). Annual Book of ASTM Standards. Pensilvania: ASTM. 905–906.
- Anzalone A. 2007. Absorción y translocación e herbicidas en plantas. En: Anzalone A. Herbicidas Modos y mecanismos de acción en plantas. Barquisimeto: Universidad Centro Occidental Lisando Alvarado. 66p.
- Araújo D, Raetano CG. 2011. Adjuvantes de produtos fitossanitários. En: Rocha U, Boller W (Eds.) Tecnología de aplicação para culturas anuais. Botucatu SP: Aldeia Norte Editora. 27-46.
- Arrospide G. 2004. Criterios para el uso de Aditivos y Coadyuvantes [En línea]. 14 Julio 2021. http://www.calister.com.uy/wp-content/uploads/2016/06/1311182916Criterios_para_el_uso_de_Aditivos_y_Coadyuvantes.pdf.
- Ashigh J, Christopher HJ. 2010. Bases for interactions between saflufenacil and glyphosate in plants. Journal Agriculture Food and Chemistry, v. 58, n. 12: 7335-7343.

- Ashton FM, Crafts AS. 1973. Classification and Selectivity of Herbicides. En Ashton FM, Crafts AS (Eds.). Mode of Action of Herbicides. Wiley: John Wiley & Sons Inc. (2nd). 10-25.
- Azevedo LA. 2011. Tipos e classificação de adjuvantes agrícolas. En: Azevedo LA (Eds.). Adjuvantes agrícolas para a proteção de plantas. Rio de Janeiro: IMOS Gráfica e Editora. 33-74.
- Baker EA. 1995. Effect of the vegetable oil adjuvant codacide on the foliar uptake and distribution of chlormequat chloride. En: International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (4th, 1995, Melbourne). Proceedings of the 4th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals. Melbourne. Gaskin RE (Ed.). 231–236.
- Bolsman T. Veltmaat FTG. Van Os NM. 1988. The effect of surfactant structure on the rate of oil solubilization into aqueous surfactant solutions. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 65, n.2: 280-283.
- Christofoleti PJ, Pinto de Carvalho SJ, Dias Ribeiro AC, Manquero PA y Nicolai M. 2013. Agricultural spray adjuvants to enhance herbicide efficacy in “hard to kill weed” in tropical conditions. En: International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (11th, 2013, California). ISAA 2013. California: 35-45
- Cui N, Wang S, Khorram MS, Fang H, Yu Y. 2017. Microbial degradation of fomesafen and detoxification of fomesafen-contaminated soil by the newly isolated strain *Bacillus* sp. FE-1 via a proposed biochemical degradation pathway. Science of the Total Environment: 1 – 8. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.151

- Cunha JPAR, Alves GS, Reis EF. 2010. Efeito da temperature nas características físico-químicas de soluções aquosas com adjuvantes de uso agrícola. *Planta Daninha*, v. 28, n. 3: 665-672. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582010000300024>.
- De Ruitter H, Meinen E. 1996. Adjuvant-increased glyphosate uptake by protoplasts isolated from Quackgrass *Elytrigia repens* (L.) Nevski. *Weed Science*, v.44: 38–45
- De Rutier H, Uffing AJM y Meinen E. 1997. Influence of Emulsifiable Oils and Emulsifier on the performance of Phenmedipham, Metoxuron, Sethoxydim and Quizalofop. *Weed Technology*. v.11 n. 2: 290-297.
- Dinelli G, Catizone P. 2001. Relazione erbicida-pianta. En Catizone P, Zanin G. (Eds.). *Malerbologia*. Bologna: Patrón. 925 pp.
- Do JA, Park H, Kwon J, Oh J, Cho Y, Chang M, Choi W, Lee H, Hong J. 2014. Development and Interlaboratory Validation of an Analytical Method for the Determination of Saflufenacil in Agricultural Products by HPLC-UVD and LC-MS. *Journal of Food Hygiene and Safety*, v. 29, n. 4: 285-291. DOI: <http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2014.29.4.285>
- Eubank TW, Nandula VX, Reddy KN, Poston DH, Shaw DR. 2013. Saflufenacil efficacy on horseweed and its interaction with glyphosate. *Weed Biology and Management*, v. 13: 135-143.
- Fernández G, Villalba J, Scaglia L. 2013. El manejo de herbicidas y la situación actual de malezas. En: *Simposio Nacional de Agricultura (3er, 2013, Paysandú)*. Ed. Hemisferio Sur. 125-132.

- Ferreira EA, Procópio SO, Silva EAM, Silva AA, Rufino RJN. 2003. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas de grande ocorrência no Brasil - *Amaranthus deflexus*, *Amaranthus spinosus*, *Alternanthera tenella* e *Euphorbia heterophylla*. *Planta Daninha*. v.21, n.2: 263-271.
- Ferreira EA, Procópio SO, Silva EAM, Silva AA, Rufino RJN. 2002. Estudos anatômicos de folhas de espécies de plantas daninhas - *Bidens pilosa*, *Emilia sonchifolia*, *Ageratum conyzoides* e *Sonchus asper*. *Planta Daninha*. v.20, n.3: 327-335.
- Foy CL. 1993. Progress and developments in adjuvant use since 1989 in the USA. *Pesticide Science*, v. 38: 65–76.
- Frihauf JC, Stahlman PW, Geier PW, Peterson DE. 2010. Winter Annual Broadleaf Weeds and Winter Wheat Response to Postemergence Application of Two Saflufenacil Formulations. *Weed Technology*, v. 24, n. 4: 416-424.
- Gaskin RE, Holloway PJ. 1992. Some physicochemical factors influencing foliar uptake enhancement of glyphosate-mono (isopropylammonium) by polyoxyethylene surfactants. *Pesticide Science*, v.34: 195–206.
- Gaskin R, Horgan D, Van Leeuwen R. 2016. Multiple benefits of an adjuvant for a dormant orchard spray. En: ISAA: International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals (11th, 2016, California). Proceedings ISAA. Monterey, California. Eds. Malec AD y Sumulong SA. 339p.
- Gauvrit C, Cabanne F. 1993. Oils for Weed Control: Uses and Mode of Action. *Journal of Pesticide Science*. v.37: 147-153.

Goodman RN, Addy SK. 1962. Penetration of excised cuticle by radioactive organic and inorganic compounds. *Phytopathology*, v.52: 11-20.

Green J, Cahill W. 2003. Enhancing the Biological Activity of Nicosulfuron with Silicone Adjuvants and pH Adjusters. *Pesticide Formulations and Application Systems*, v. 23: 115-124. <https://doi.org/10.1520/STP11200S>

Green JM, Foy CL. 2004. Adjuvants – tools for enhancing herbicide performance. En: Inderjit (Ed.). *Weed Biology and Management*. Dordrecht: Kluwer academic Publishers. 375 – 401.

Grossmann K, Hutzler J, Caspar G, Kwiatkowski J, Brommer CL. 2011. Saflufenacil (Kixor™): Biokinetic Properties and Mechanism of Selectivity of a New Protoporphyrinogen IX Oxidase Inhibiting Herbicide. *Weed Science*, v. 59, n.3: 290-298. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-10-00179.1>

Gugaa M, Zarzecka K, Zadrozniak B. 2010. An effect of adjuvants on potato yielding and limiting weed infestation in potato stands. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, v.255: 47-57.

Hatterman-Valenti H, Pitty A, Owen M. 2011. Environmental Effects on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Epicuticular Wax Deposition and Herbicide Absorption. *Weed Science*, v. 59, n. 1: 14-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WS-D-10-00061.1>

Hazen JL. 2000. Adjuvants—Terminology, Classification, and Chemistry. *Weed Technology*, v.14, n.4: 773-784. DOI: [http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X\(2000\)014\[0773:ATCAC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0890-037X(2000)014[0773:ATCAC]2.0.CO;2)

- Heap, I. 2021. The International Herbicide-Resistant Weed Database [En línea]. 3 de Julio 2021. <http://www.weedscience.org>
- Jha P, Norsworthy JK, Malik MS. 2007. Effect of tillage and soybean canopy formation on temporal emergence of Palmer amaranth from a natural seed bank. *Weed Science*, v. 60: 11pp.
- Kerler F, Schönerr J. 1988. Accumulation of lipophilic chemicals in plant cuticles: prediction from octanol/water partition coefficients. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 17: 1-6.
- Kirkwood RC. 1999. Recent developments in our understanding of the plant cuticle as a barrier to the foliar uptake of pesticides. *Pesticide Science*, v.55: 69-77.
- Kirkwood RC. 1993. Use and Mode of Action of Adjuvants for Herbicides: A Review of some Current Work. *Pesticide Science*, v.38: 93-102.
- Knezevic SZ, Datta A, Scott J, Charvat LD. 2009. Adjuvants Influenced Saflufenacil Efficacy on Fall-Emerging Weeds. *Weed Technology*, v. 23, n. 3: 340-345. DOI: <http://dx.doi.org/10.1614/WT-08-174.1>
- Kogan MA, Pérez A. 2003. Adyuvantes: clases, propiedades y usos con herbicidas. En: *Herbicidas – Fundamentos fisiológicos y bioquímicos del modo de acción*. Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile. 144-147.
- Leiva PD. 2013. *Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en pulverizaciones agrícolas*. Serie técnica INTA Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Pergamino. 10p.

- Li X, Gret T, Price K, Vencill W, Webster T. 2018. Adsorption, desorption and persistence of fomesafen (Reflex) in soil. *Pest Management Science*, v. 75, n. 1: 270-278.
- Liebl R, Walter H, Bowe SJ, Holt TJ, Westberg DE. 2008. BAS 800H: A new herbicide for preplant burndown and preemergence dicot weed control. *Weed Science*, v. 48: 120 pp.
- Liu Z. 2004. Effects of surfactants on foliar uptake of herbicides – a complex scenario. *Colloids and Surfaces*, v.35: 149–153. Doi:10.1016/j.colsurfb.2004.02.016
- MacBean C. 2012. Fomesafen. En: MacBean C. (Ed.). *Pesticide Manual : a world compendium*. Alton: British Crop Protection Council. (15th; 5).
- Mallory-Smith CA, Retzinger EJ. 2003. Revised Classification of Herbicides by Site of Action for Weed Resistance Management Strategies. *Weed Technology*, v.17, n.3: 605-619.
- Martins D, Terra MA, Carbonari CA, Negrisola E, Cardoso LR, Tofoli GR. 2005. Efeito de diferentes concentrações de aterbane na deposição de calda em plantas de *Pistia stratiotes*. *Planta Daninha*, v. 23, n. 2: 343-348.
- Matthews GA. 2000. Controlled Droplet Application. En: (Eds.). *Pesticide application methods*. London: Blackwell. 183-201.
- Mellendorf TG, Young JM, Matthews JL, Young BG. 2015. Influence of application variables on the foliar efficacy of saflufenacil on horseweed (*Conyza canadensis*). *Weed Science*, v. 63, n.3: 578-586.

- Mendoza CG, Raetano CG. 2007. Tensão superficial estática de soluções aquosas com óleos minerais e vegetais utilizados na agricultura. *Engenharia Agrícola*, v.27 n. esp: 16-23.
- Mercier L, Serre I, Cabanne C, Gauvrit G. 1997. Behaviour of alkyl oleates following foliar application in relation to their influence on the penetration of phenmedipham and quizalofop-p-methyl. *Weed Research*, v.37: 267-276.
- MGAP-DGSA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – Dirección general de Servicios Agrícolas). 2021. Importaciones de productos fitosanitarios «*Importaciones 2020*». [on-line]. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/importaciones-productos-fitosanitarios>.
- Minguela JV, Cunha JPAR. 2010. Adjuvantes. En: Manual de aplicação de produtos fitosanitários. Viçosa MG: Aprenda Fácil Editora. 62-72.
- Monaco T, Weller S, Ashton F, Ashton FM. 2002. Herbicides and the plant. En: Wiley J (Eds.). *Weed Science: Principles and Practices*. New York: Jhon Wiley & Sons. 98-127.
- Monquero PA. 2003. Dinamica populacional e mecanismos de tolerância de espécies de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. Tesis Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Fitotecnia. São Paulo, Brasil. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 112p.

- Montgomery GB, Bond JA, Golden BR, Gore J, Edwards HM, Eubank TW, Walker TW. 2014. Response of Commercial Rice Cultivars to Postemergence Applications of Saflufenacil. *Weed Technology*, v. 28, n. 4: 679-684.
- Morichetti S, Cantero JJ, Núñez C, Barboza GE, Ariza Espinar L, Amuchastegui A, Ferrell J. 2013. Sobre la presencia de *Amaranthus palmeri* (Amaranthaceae) en Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, v.48, n.2: 347-354.
- Nandula VK, Molin WT, Bond JA. 2018. Influence of Water Quality, Formulation, Adjuvant, Rainfastness, and Nozzle Type on Efficacy of Fomesafen on Palmer Amaranth (*Amaranthus palmeri*) Control. *American Journal of Plant Sciences*, v. 9: 1660-1676. DOI: 10.4236/ajps.2018.98120.
- National Center for Biotechnology Information. 2021. Fomesafen [En línea]. Consultado 20 enero 2020. Disponible en: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Fomesafen>.
- Olivet JJ, Villalba J, Schenzer D. 2013. Tecnología de aplicación de agroquímicos en cultivos extensivos. Serie FPTA-INIA. Montevideo. n. 53: 37 p.
- Oparka KJ, Roberts AG. 2001. Plasmodesmata. A not so open and shut case. *Plant Physiology*, v. 125: 123-126.
- Otto S, Finizio A, Vighi M. 2001. Principali caratteristiche chimico-fisiche, partitive, tossicologiche ed ecotossicologiche degli erbicide. En: Catizone P, Zanin G. (Eds.). *Malerbologia*. Bologna. 925 pp.

- Papa J, Leguizamón E. 2004. Dinámica de los herbicidas en la planta. En: Vitta J. (Editor). Herbicidas características y fundamentos de su actividad. Rosario: UNR Editora. 83pp.
- Paschke A, Neitzel PL, Walther W, Schuurmann G. 2004. Octanol/Water Partition Coefficient of Selected Herbicides: Determination Using Shake-Flask Method and Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Chemical & Engineering Data*, v.49: 1639-1642.
- Prado BA, Del Solar CE, Soto P. 2001. Adyuvantes, sus Propiedades y Efectos en las Aplicaciones de Agroquímicos SIDALC. *Sistemas de Información y Documentación Agropecuaria de las Américas [En línea]*. Consultado 17 enero 2020. Disponible en https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000009.pdf.
- Rao VS. 2002. Introduction to Chemical Weed Management. En: Rao VS (Ed.). *Principles of Weed Science*. Florida: Science publishers, Inc. (2nd). 59 - 67.
- Rodríguez N. 1999. Adyuvantes. [en línea]. INTA, Serie técnica. Consultado el 17 enero 2020. Disponible en: <https://studylib.es/doc/2385216/adyuvantes-nicasio-rodriguez.pdf>
- Salager JL - Universidad de los andes (Venezuela). 2002. Surfactantes – Tipos y usos [En línea]. Consultado 10 de Julio 2021. Disponible en <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S300A.pdf>.

- Santos G, Oliveira Junior RS, Constantin J, Francischini AC, Machado MFPS, Mangolin CA, Nakajima JN. 2014. *Conyza sumatrensis*: A new weed species resistant to glyphosate in the Americas. *Weed Biology and Management*, v. 14: 106–114.
- Schönherr J, Baur P. 1994. Modelling penetration of plant cuticles by crop protection agents and effects of adjuvants on their rates of penetration. *Pesticide Science*, v. 42: 185–208.
- Schönherr J, Riederer M. 1989. Desorption of chemicals from plant cuticles: evidence for asymmetry. *Archives of environmental contamination and toxicology*, v. 17; 13-19.
- Schönherr J, Schreiber L. 2004. Size selectivity of aqueous pores in stomatous cuticular membranes isolated from *Populus canescens* leaves. *Planta*, v. 219, n. 3: 405-411. DOI: 10.1007/s00425-004-1239-0.
- Shaner DL. 2014. Chemicals presented in previous editions. En: Shaner DL (Ed.). *Herbicide Handbook*. Lawrence: Weed Science Society of America (10th). 513 pp.
- Sharma SD, Kirkwood RC, Whateley T. 1996. Effect of nonionic nonylphenol surfactants on surface physiological properties, uptake and distribution of asulam and diflufenican. *Weed Research*, v. 36: 227–239.
- Sharma SD, Singh M. 2000. Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens frondosa* and *Panicum maximum* with different adjuvant types. *Weed Research*, v. 40: 523–533.

- Silva OC. 2000. Tecnologia de aplicação de fungicidas. En: Canteri MG, Pria MD, Silva OC. (Eds.). Principais doenças fúngicas do feijoeiro. Ponta Grossa: UEPG Editora. 127 – 137.
- Stainer C, Destain MF, Schiffers B, Lebeau F. 2006. Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulation and four adjuvants mixtures. *Crop protection*, v. 25: 1238 – 1243.
- Stagnari F. 2007. A review of the factors influencing the absorption and efficacy of lipophilic and highly water-soluble post-emergence herbicides. *The European journal of plant science and biotechnology*, v.1, n.1: 22-35.
- Stock D, Holloway PJ. 1993. Possible mechanisms for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals, *Pesticide Science*, v. 38: 165–177.
- Tice CM. 2001. Selecting the right compounds for screening: does Lipinski's rule of 5 for pharmaceuticals apply to agrochemicals?. *Pest Management Science*, v. 57: 3-16.
- Trucco F, Jeschke MR, Rayburn AL, Tranel PJ. 2005. Promiscuity in weedy amaranths: high frequency of female tall waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) x smooth pigweed (*A. hybridus*) hybridization under field conditions. *Weed Science*, v. 53: 46–54.
- Veermeer R, Baur PO. 2007. A formulation concept that overcomes the incompatibility between water and oil. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, v.60, n.1: 7-26.
- Vera JA, Grageda OA, Altamirano J, Peña JJ. 2009. Effect of surfactants on the agrochemicals uptake by plants. *Nova Scientia*, v. 2, n. 3: 14-36. <https://doi.org/10.21640/ns.v2i3.219>

- Vidal RA. 1997. Inibidores de PROTOX. En: Vidal RA (Ed.). Herbicidas: Mecanismos de ação e resistencia de plantas. Porto Alegre: UFRGS Editorial. 63-69.
- Wang ZQ, Liu CJ. 2007. Foliar uptake of pesticides—Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, v. 87: 1–8.
- Whitecross MI, Mercer FV. 1972. Permeability of Isolated Eucalyptus gummifera Cuticle Towards Alcohols and Amides. *Australian Journal of Botany*, v. 20: 1-7.
- Yu-jun H, Jiu-cai F, Qian-yu W, Bo T, Zi-jun M. 2014. Effects of Methylated Soybean Oil Adjuvant on Fomesafen Efficacy to Weeds. *Journal of Northeast Agricultural University*, v. 21, n. 3: 17-22. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1006-8104\(14\)60064-7](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(14)60064-7)
- Zabkiewicz JA. 2002. Enhancement of pesticide activity by oil adjuvants. En: Beattie A, Watson D, Stevens M, Rae D y Spooner-Hart R. (Eds.). *Spray Oils Beyond 2000 – Sustainable pest and disease management*. Sydney: University of Western Sydney.