

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DEL RASTROJO DE AVENA, CANTIDAD DE PRECIPITACIONES Y
MOMENTO DE OCURRENCIA DE LAS MISMAS EN LA EFECTIVIDAD DE
LOS HERBICIDAS DIFLUFENICAN, FLUMIOXAZIN, S-METOLACLOR Y
METRIBUZIN EN EL CONTROL DE *Amaranthus spp.*

por

Ana Laura SEGREDO MACHADO

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2021

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. (Dra.) Juana Villalba

Ing. Agr. Tiago Kaspary

Ing. Agr. Mathias Collares

Fecha: 1 de junio de 2021

Autora:

Ana Laura Segredo Machado

AGRADECIMIENTOS

Estoy agradecida con mi Directora de tesis, Juana Villalba que además de ayudarme en todo momento, dedicó mucho de su tiempo y paciencia para que yo pudiera cumplir con los objetivos de este estudio.

También quiero agradecer a Luciana, Mathias y Leonardo, que de una manera u otra fueron de gran ayuda en la parte práctica del trabajo.

Por último a mi familia con la que estoy especialmente agradecida por darme su apoyo incondicional durante toda la carrera.

¡Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. HERBICIDAS PRE-EMERGENTES.....	3
2.2. PRESENCIA DE RASTROJO.....	7
2.2.1. <u>Efecto del rastrojo en la agricultura</u> ..	9
2.2.2. <u>Efecto del rastrojo en la actividad de los herbicidas</u>	12
2.3. <i>Amaranthus spp.</i>	21
2.3.1. <u>Origen y características generales</u>	21
2.3.2. <u>Introducción en el país</u>	22
2.3.3. <u>Consecuencias en el sistema</u>	23
2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS PRE-EMERGENTES EVALUADOS	24
2.4.1. <u>Diflufenican</u>	25
2.4.2. <u>S-metolaclor</u>	26
2.4.3. <u>Flumioxazin</u>	27
2.4.4. <u>Metribuzin</u>	28
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	30
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
3.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	30
3.3. MEDICIONES	31
3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	32
4.1. EXPERIMENTO 1. DIFLUFENICAN	32
4.2. EXPERIMENTO 2. S-METOLACLOR.....	38

4.3.	EXPERIMENTO 3. FLUMIOXAZIN	42
4.4.	EXPERIMENTO 4. METRIBUZIN	47
5.	<u>CONCLUSIONES</u>	54
6.	<u>RESUMEN</u>	55
7.	<u>SUMMARY</u>	57
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	59
9.	<u>ANEXOS</u>	67

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características fisicoquímicas de los herbicidas pre emergentes utilizados.....	24
2. Herbicidas utilizados.....	30
3. p-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 1.....	32
4. p-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 3.....	39
5. p-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 3.....	43
6. p-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 4.....	48
 Figura No.	
1. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación.....	33
2. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones.....	34
3. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones.....	35
4. Porcentaje de emergencias a los 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones.....	36
5. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA, según momento de precipitación.....	37
6. Porcentaje de emergencias a los 25 y 49 DPA, según cantidad de precipitación.....	38

7. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación.....	40
8. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación.....	41
9. Porcentaje de emergencias a los 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación.....	41
10. Porcentaje de emergencias a los 11, 25 Y 49 DPA según momento de precipitación.....	42
11. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones.....	44
12. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA y 49 DPA según presencia o ausencia de rastrojo.....	45
13. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA, 25 DPA y 49 DPA según cantidad de precipitación.....	46
14. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA Y 49 DPA según momento de precipitación.....	47
15. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación.....	49
16. Porcentaje de emergencias a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones.....	50
17. Porcentaje de emergencias según cantidad y momento de precipitaciones cuantificadas a los 11 DPA.....	51
18. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA Y 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo.....	52
19. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA Y 49 DPA según cantidad de precipitación.....	53
20. Porcentaje de emergencias a los 25 DPA Y 49 DPA según momento de precipitación.....	53

1. INTRODUCCIÓN

La siembra directa y la intensificación de la agricultura han sido acompañadas por un intenso uso de herbicidas para el control de malezas.

En los últimos años se ha visto un progresivo aumento de los tratamientos con herbicidas de pre-emergencia, que son aquellos que controlan malezas en los primeros estados del ciclo de vida, específicamente durante la germinación de las semillas (aparición de radícula). Estos presentan grandes ventajas, como su mayor eficiencia, dado que controla las malezas desde el primer momento, en su mayoría presentan buena acción residual. Su uso se ha visto promovido, por la aparición de numerosas malezas resistentes, las cuales no son capaces de controlarse en post-emergencia, por lo que los pre-emergentes adquirieron relevancia y actualmente son una herramienta muy importante para este problema que además sigue en aumento.

Hay algunas consideraciones a realizar respecto al uso de estos productos, y es la presencia de residuos de la cosecha anterior, considerando que en Uruguay el porcentaje de agricultura en sistema de siembra directa es alto. Por otra parte, también se le suman los residuos de los cultivos de servicio que se adoptan desde la implementación del Plan de uso y manejo de suelos. Los cultivos de servicio o cultivos de cobertura, también llamados “puentes verdes”, presentan varios objetivos, limitar la erosión, aportar nitrógeno al sistema durante el invierno y contribuir en la supresión de malezas.

Estos residuos en el suelo presentan dos puntos contrastantes, pueden ejercer un efecto físico sobre la germinación de las malezas, impidiendo su emergencia, pero también una posible reducción en la eficacia del tratamiento químico, dependiendo esta última del principio activo del herbicida utilizado. Dado este último efecto, se debe tener en cuenta que un punto fundamental de este tipo de productos, son las precipitaciones, ya que si no hay lluvias después de su aplicación, que ayuden a su incorporación en el suelo, la eficiencia de este tipo de tratamiento puede verse disminuida.

Es relevante generar información respecto a los efectos de herbicidas pre-emergentes y las interacciones con los factores mencionados, particularmente para especies de gran interés como son los *Amaranthus spp.*, comúnmente conocidos como yuyos colorados. Siendo las especies de malezas más importante en la agricultura estival, especialmente por su gran capacidad de interferencia y las pérdidas que ocasiona sobre los cultivos.

A partir de lo expuesto el objetivo principal de este estudio fue, evaluar el efecto de la presencia de rastrojo, la cantidad de precipitaciones y el momento de ocurrencia de las mismas en la efectividad de los herbicidas diflufenican, flumioxazin, s-metolaclor y metribuzin en el control de *Amaranthus spp.*

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. HERBICIDAS PRE-EMERGENTES

Los herbicidas son los fitosanitarios más utilizados en el país, representando 70% de las importaciones anuales de esta clase de productos valorizadas en 84 millones de dólares. El glifosato, en términos de cantidad de ingrediente activo, se posiciona como el producto de mayor relevancia, en cuanto que los 4 herbicidas pre-emergentes abordados en esta tesis, corresponden solamente el 5% de las importaciones (MGAP. DGSSAA, 2019).

Este tipo de herbicidas son aplicados al suelo y son capaces de controlar malezas en sus estados iniciales, más precisamente durante la germinación y emergencia de la plántula. Dada esta situación es indispensable conocer las especies que puedan infestar el cultivo para realizar una correcta selección del producto químico. Bajo el sistema actual de siembra directa, la mayoría de las malezas se originan de las semillas concentradas en los primeros centímetros del suelo y por esta razón los herbicidas pre-emergentes se vuelven una herramienta de gran valor para este tipo de sistemas, más que nada cuando se presentan altas infestaciones y cuando no es posible utilizar alguna otra herramienta como herbicidas de post-emergencia (Álvarez et al., 2017).

De acuerdo con Espinoza et al. (2011), los pre-emergentes, como ya se ha abordado anteriormente, afectan a las malezas desde el proceso de germinación hasta el inicio del crecimiento de la plántula, para esto tienen que presentar una serie de características específicas que permitan un control en esos estadios de desarrollo de las malezas, donde son considerados más sensibles. Para esto el herbicida debe ser capaz de distribuirse en los primeros centímetros del suelo (3 a 5 cm), maximizando así el contacto con los sitios de absorción de las malezas. Debido a que este tipo de productos son aplicados antes de que la maleza sea visible, para una adecuada selección del producto es de suma importancia el conocimiento de las posibles especies que puedan infestar el cultivo, por lo que es indispensable un correcto monitoreo del campo en la temporada anterior a la siembra del cultivo (barbecho). En cuanto a uno de los puntos negativos de la utilización de pre-emergentes, es que así como las malezas, los cultivos también son más sensibles en esta fase de desarrollo en comparación a la aplicación de los post-emergentes. De este modo, es necesario prestar gran atención a la calibración correcta del equipo aspersor, a la calidad de aplicación y principalmente a la selectividad del herbicida al cultivo sembrado en secuencia para evitar posibles daños por fitotoxicidad.

Para una eficiente utilización de herbicidas pre-emergentes, dos factores fundamentales deben ser considerados; el primero es el cultivo o la rotación de cultivos, el cual determinará las opciones de herbicidas que se podrán utilizar. Un punto importante sobre esto, es saber que todo herbicida persiste en el suelo por determinado tiempo, dependiendo del propio producto, dosis, condiciones ambientales, tipo de suelo y frecuencia de uso. Algunos cultivos son más sensibles que otros a los residuos de los herbicidas en el suelo, y se puede decir que en general, aquellos que se destacan en controlar malezas gramíneas, tienen un mayor potencial para afectar a cultivos que también son gramíneas (por el parentesco botánico entre la maleza y el cultivo). De igual modo ocurre con los herbicidas que tienen mayor potencial para controlar malezas de hoja ancha. El segundo factor es la especie de maleza, ya que la identificación de la misma es vital para una adecuada selección del producto y que también se encuentra estrechamente relacionado con lo nombrado anteriormente (Espinoza et al., 2011).

El éxito del control de las malezas mediante el uso de herbicidas no depende únicamente del producto en sí, sino que existen otros factores de igual importancia que tienen que ver con las condiciones ambientales o las condiciones en las que se va realizar la siembra para la efectividad de los mismos.

De acuerdo con Espinoza et al. (2011), un factor importante que modifica la eficacia del herbicida es la ubicación de las semillas de malezas en el suelo, si la semilla se ubica sobre el suelo o cerca de la superficie, el control será más eficaz, por estar en contacto con una mayor concentración del herbicida. En cuanto a la modalidad de siembra, ya que los herbicidas pre-emergentes requieren una buena distribución en el suelo, residuos como rastrojos secos u otros restos vegetales pueden impedir la llegada del herbicida, por lo que un suelo descubierto sería más ventajoso en este aspecto. Entretanto, en el modelo actual de siembra directa que se utiliza en Uruguay, son pocos los casos de suelos descubiertos, el cual implica el cuidado y conservación del suelo, basado en la no perturbación o la mínima posible, dejando sobre el mismo todos los residuos de la zafra anterior. Por esto es fundamental no contar con cobertura de malezas vivas o al menos que sea la mínima posible, o que al momento del control los restos secos no sean excesivos, que permitan una buena eficiencia. En cuanto a la humedad del suelo, esta es de vital importancia, ya que debe existir suficiente humedad en el suelo durante la aplicación de los herbicidas pre-emergentes, ya que requieren movilizarse desde la superficie hasta los primeros centímetros del suelo y ser absorbidos por las malezas durante la germinación de las semillas y emergencia de las plántulas.

Según CIAT (1981), este tipo de producto debe recibir agua proveniente de lluvia o de riego, que posibilite que el herbicida penetre el suelo, además las precipitaciones provocan la germinación de las malezas, facilitando así la translocación del herbicida para que éste pueda actuar. Una idea similar fue confirmada por Chiacchiera et al. (2017), *“La eficacia en el control de malezas de los tratamientos realizados con herbicidas residuales, depende en gran medida de las precipitaciones ocurridas después de la aplicación del herbicida. Por esto existe el riesgo de que si la humedad es escasa en el suelo, la activación del herbicida es muy reducida, y si es abundante es posible que el riesgo de lavado de los herbicidas sea alto”*. Relacionado a esto también se señala que la ocurrencia de lixiviación es fundamental para la incorporación superficial de la mayoría de los herbicidas. Sin embargo, cantidades excesiva, puede llevarlos a capas más profundas del suelo, lo que limita su acción, e incluso puede promover la contaminación de la capa freática (Velini, 1992).

La dinámica de los herbicidas en el suelo está influenciada por un gran número de factores. Por ejemplo, la cantidad de herbicida en la solución del suelo es directamente proporcional al contenido de agua en el suelo. La cantidad de espacios libres para el herbicida en la solución disminuye en suelos secos y, por lo tanto, hay menos cantidad de herbicida libre en la solución del suelo (mayor adsorción). En condiciones secas, las plantas están expuestas a menos herbicida y, por lo tanto, las malezas absorben menos. Cuando se restaura la humedad en el suelo, se produce la desorción del herbicida, devolviéndole a la solución del suelo (Hartzler, 2002). Este hecho demuestra la necesidad de que llueva después de la aplicación para que el herbicida pueda llegar al suelo.

En este sentido se puede afirmar que tanto la cantidad como el momento de la precipitación o riego tienen un rol fundamental en la eficiencia de los herbicidas. Aún más en el sistema actual de siembra directa, donde el herbicida debe primero poder traspasar los residuos de cosecha que se encuentran sobre la superficie para llegar al suelo, donde deberá actuar.

En el ensayo con el herbicida metribuzin sobre rastrojo de 7,5 toneladas de caña, se registró una liberación del 92%, 81%, 38%, 24% y 16% para una precipitación de 20 mm, para los períodos de 0, 1, 7, 14 y 28 días sin lluvia respectivamente (Rossi, 2004). Un resultado similar se obtuvo según lo señalado por Godoy (2007), evaluando la efectividad del mismo herbicida, pero aplicado sobre rastrojo de maíz, encontrando altos niveles de *Ipomoea grandifolia* y *Sida rhombifolia* con 14 días sin lluvia después de la aplicación y cuando éstas ocurrieron 21 y 28 días después de la aplicación, se observó una baja efectividad del herbicida en el control de estas especies.

Por lo tanto, para algunos productos parece que la permanencia en rastros durante largos períodos sin lluvia, implica reducciones significativas en las cantidades de herbicida transportadas al suelo y por lo tanto en la efectividad de acción del mismo. Por lo que se puede ver que la aplicación de este tipo de herbicidas es un proceso muy complejo que ve involucrado numerosos y diversos factores.

Luego de la aplicación de los herbicidas al medio ambiente, independientemente del tipo de aplicación utilizada, el destino final en la mayoría de los casos será el suelo. Sin embargo, antes de que el herbicida llegue al suelo, estos están sujetos a interacciones con el medio, lo que puede interferir y favorecer a sus pérdidas. En ese tiempo entre la salida del herbicida del equipo aplicador y su llegada al suelo, pueden ocurrir varios procesos físicos, químicos y biológicos que determinan su comportamiento.

En cuanto al destino de los herbicidas en el medio ambiente, éste se rige por procesos de retención (adsorción y absorción), transformación (descomposición y degradación) y transporte (deriva, volatilización, lixiviación y escorrentía), y las interacciones de todos estos procesos. Además de que estos determinan el destino del herbicida, las diferencias en las estructuras y propiedades de las sustancias químicas pueden afectar estos procesos. Por último, las condiciones climáticas, la composición de las poblaciones de microorganismos en el suelo, la presencia o ausencia de plantas, la ubicación del suelo en la topografía y las prácticas de manejo del suelo también pueden afectar el destino de los herbicidas en el medio ambiente (Spadotto, 2009).

En el suelo, cuando el herbicida se aplica en preemergencia, puede someterse a procesos de adsorción, lixiviación y/o degradación, además de ser absorbidos por malezas o por las plantas cultivadas. Los herbicidas tienen algunas características físico-químicas que, junto con las condiciones ambientales y los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo, rigen su dinámica. Estas características son específicas de cada herbicida, y su conocimiento es fundamental para su uso eficiente.

Según Christoffoleti y Ovejero (2005), entre estas características, las de mayor importancia son:

- Constante de equilibrio de ionización de un ácido o base débil (pKa): representan su tendencia a ionizarse en un cierto rango de valores de pH. Por lo tanto, pKa es el pH donde la mitad de las moléculas están ionizadas y la otra mitad no están ionizadas. Este parámetro muestra el valor de pH en el cual las formas ionizadas y no ionizadas del herbicida ocurren en concentraciones iguales, cada una representando el 50% de la concentración total del compuesto. Dependiendo de esta constante,

los herbicidas iónicos se pueden clasificar en herbicidas ácidos o herbicidas básicos.

- Coeficiente de reparto octanol-agua (Kow): representa la proporción entre el cantidades de un herbicida particular que migra a un solvente orgánico no polar (generalmente octanol) o agua (polar), cuando se agrega y se agita en matraces donde se encuentran ciertas cantidades de estas sustancias utilizadas como solventes, es decir, los valores de Kow se refieren medido como la intensidad de la afinidad de la molécula por la fase polar y no polar.
- Solubilidad en agua: se caracteriza por la cantidad de herbicida disuelto en agua pura, es decir, indica la proporción de herbicida que puede estar disponible en la solución del suelo, que puede ser absorbida por la germinación de raíces y semillas, a cierta temperatura. Cuanto mayor es el número de grupos hidrofílicos, mayor es su afinidad por el agua, por lo tanto, mayor es su solubilidad.
- Presión de vapor: es la presión ejercida por un vapor de equilibrio. con un líquido, a cierta temperatura. Esta característica indica el grado de volatilización del herbicida, o su tendencia a perderse en forma de gas en la atmósfera. Cuanto mayor es la presión de vapor del herbicida, mayor es su grado de volatilización.
- Vida media del herbicida en el suelo: la persistencia de un compuesto en el medio ambiente generalmente se mide por vida media, que se define como el tiempo requerido para que la mitad de la cantidad inicial de herbicida aplicado se disipe, según Carbonari (2009).

Espinoza et al. (2011), elaboraron un listado de ventajas y desventajas en el uso de herbicidas pre-emergentes. Entre algunas de ellas se encuentran el control de algunas malezas resistentes a los herbicidas típicamente usados, la mayoría presentan actividad residual y son complementarios para los tratamientos de post-emergencia. Como limitante, que se requiere identificar correctamente las especies a controlar, además de que su eficiencia es altamente dependiente de la humedad del suelo y de la cantidad de residuos, u otros restos vegetales.

2.2. PRESENCIA DE RASTROJO

De acuerdo con Bernoux et al. (2006), la historia de labranza cero comenzó en el Sur de Brasil, en donde se realizó el primer experimento científico en 1969 por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul en el Sur del

país, acompañado de varios otros estudios realizados a principios de la década de 1970. La eficacia de los sistemas de labranza cero para controlar la erosión del suelo y reducir los costos alentó a los agricultores del estado de Paraná a adoptar la práctica, la cual se correspondió con la liberación de herbicidas modernos, como el glifosato, facilitando el manejo de los sistemas de siembra directa.

Hasta fines de la década de 1970, la propagación de este tipo de sistema fue lenta y limitada a Paraná y Rio Grande do Sul, principalmente debido a la falta de asistencia técnica y de estudios que demostraran sus ventajas. Sin embargo, a principios de la década de 1980, los productores comenzaron a organizarse en asociaciones para promover dicho sistema. Su expansión sólo comenzó a acelerarse a fines de la década de 1980, dada la liberación del glifosato y fue realmente desde principios de la década de 1990 donde la tasa de expansión se volvió más rápida al resto de Brasil y otros países de América. En la actualidad, aproximadamente 63 millones de hectáreas se encuentran bajo sistemas de labranza cero en todo el mundo (Baker, 2008).

En Uruguay, la expansión de la siembra directa por los agricultores desde finales de los años 90, fue desplazando a los sistemas tradicionales de siembra, logrando llegar en la actualidad a ser el método predominante. En el año 2000 el 20% del área sembrada con cultivos de invierno se realizó utilizando esta tecnología, alcanzando en la zafra 2006/07 el 80% del total sembrado, y casi el 95% en la última campaña. Si se buscan datos más actuales, la tendencia es la misma, ya que en la zafra 2018/19, de las 419 mil hectáreas sembradas con cultivos de invierno, el 95% se realizó mediante el empleo de siembra directa (398 mil hectáreas). Actualmente estos números se han estabilizado, y no se han registrado grandes cambios (MGAP. DIEA, 2018).

Los cultivos de cobertura han tomado un papel fundamental en la adopción de este sistema de siembra, y aunque es algo relativamente nuevo y no se tienen tantos datos sobre su importancia en el país, se sabe que desde 2014 estos ocuparon 400 mil ha en la última zafra. Su proporción se ve gradualmente en aumento gracias a la difusión por charlas de MGAP, Facultad de Agronomía, INIA e INASE, las cuales han logrado una buena visibilización de dicha alternativa, dando información consistente de sus numerosas ventajas al incluirlos en sistemas de producción. Levantados los cultivos de verano 2019/20 se implantaron 328 mil hectáreas de cultivos protectores, unas 40 mil hectáreas menos que en la campaña anterior (MGAP. DIEA, 2020).

Con estos resultados se puede tener una idea de la proporción del suelo que tendrá algún tipo de residuos, ya sea el rastrojo de un cultivo anterior o del cultivo cobertura durante el invierno, por lo que conocer dicho sistema es

fundamental y da una idea de que ventajas o desventajas se puede tener sobre el control de malezas (*Amaranthus spp.*) o su interferencia con un posible control químico, en este caso siendo de interés los de tipo pre-emergentes.

2.2.1. Efecto del rastrojo en la agricultura

La siembra directa es el sistema de preparación del suelo y la vegetación para la siembra en el que el laboreo realizado en el suelo para la colocación de la semilla es mínimo, que depende del uso de herbicidas para el control de malezas, el suelo queda intacto desde la cosecha hasta la nueva siembra, por lo que sobre él quedará una cantidad determinada de residuos (García, 1998).

Uno de los aspectos más importantes en la conservación de los recursos naturales, suelo y agua, está relacionado con la protección de la superficie del suelo. Cubrir el suelo con plantas (cobertura viva) o con residuos (rastrojo) actúa como el principal factor de protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia (Levien et al., 1990). Por esto se puede decir que la eliminación del laboreo se originó como alternativa para reducir la erosión, ya que dejando los residuos, ayuda a disminuir el escurrimiento provocado por la lluvia, ya que *“La cobertura del suelo absorbe la energía cinética de la lluvia, evitando su golpeo directo sobre el suelo”* (García, 1998).

Otro aspecto a tener en cuenta frente a la cobertura del suelo es la reducción de la densidad de poblaciones de malezas estudiado por varios autores. Relacionado con esto, se sabe que en cultivos de verano como soja, frijol o maíz bajo siembra directa con restos muertos densos, de descomposición lenta y con acción alelopática, existe la posibilidad de reducir o incluso prescindir del uso de herbicidas (Almeida, 1988).

En un estudio realizado, Oliveira et al. (2001), concluyen que la población de gramíneas invasoras se vio significativamente afectada por los niveles de rastrojo, esto ocurrió tanto para la situación con y sin herbicida, demostrando que los residuos afectaron la aparición de malezas, independientemente de la aplicación de herbicida. Por ejemplo, por cada tonelada de rastrojo agregada se vio una reducción del 4% en la incidencia de malezas. Además en una de las situaciones de rastrojo + herbicida (en este caso metolaclor con una dosis de 1,800 g ha⁻¹, la reducción fue de 53% aproximadamente. Esta disminución muestra que incluso al tener un sistema con cobertura, es de suma importancia la utilización de herbicidas pre-emergentes, de forma de minimizar la competencia entre la maleza y el cultivo.

La investigación durante la última década ha explorado el potencial de los residuos de cultivos de cobertura, como otra alternativa para la supresión de malezas. Un cultivo de cobertura (CC), cultivo de servicio o puente verde, es aquel que se desarrolla durante un período anterior a la siembra de un cultivo comercial. Por lo general, las especies anuales de invierno se cultivan durante dicha temporada, antes de sembrar el cultivo comercial en la primavera. Al final, se manejan los CC y los residuos se dejan como rastrojo en la superficie del suelo en sistemas de cultivo de labranza reducida y/o siembra directa. Con respecto a estos, se han realizado varios estudios nacionales, que han demostrado que los tratamientos de cobertura generan disminuciones claras en los enmalezamiento, además, la combinación de los efectos de las coberturas y posiblemente efectos alelopáticos en triticale y avena, determinaron notorias reducciones en las densidades de algunas malezas, logrando los menores niveles de enmalezamiento con densidades que solo alcanzaron el 15% y 17% respectivamente, comparando con otras coberturas como arveja o raigrás (Ferber, 2016).

Segundo INASE (2019), *“Los cultivos de cobertura se implementaron como una herramienta que previenen la erosión, disminuyen la densidad de malezas y aumentan la eficiencia del uso del agua”*.

Según Cassigneul et al. (2015), la siembra de CC durante el período de barbecho, se debe considerar como una mejor práctica de gestión, que es capaz de proteger el suelo contra la erosión, mejorando la calidad del agua mediante la reducción de la lixiviación de nitratos, mejorar la estructura y la fertilidad del suelo y controlar las malezas, plagas y patógenos. Recientemente, también se encontró que los sistemas de cultivo reducen la transferencia de plaguicidas en suelos, probablemente debido a cambios en la actividad biológica del suelo, distribución de materia orgánica, contenido que puede haber modificado la absorción y degradación de pesticidas y/o cambios en la dinámica del agua del suelo que pueden haber modificado el movimiento de solutos en suelos en comparación con suelo desnudo durante el período de barbecho.

Según INIA (2018), es posible lograr entre 3 y 4 toneladas de materia seca con especies de gramíneas anuales (avenas, raigrás) y mínimo aporte de fertilizante nitrogenado. Es posible duplicar esta productividad con aportes moderados de nitrógeno (50 kg N/ha aproximadamente).

De acuerdo con Teasdale y Mohler (2000), los residuos pueden suprimir la aparición de malezas en forma exponencial en función de la biomasa residual y otras propiedades relacionadas. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones han demostrado que los CC y sus residuos, así como otras prácticas de base biológica, son inadecuados cuando son utilizados solos para

controlar las malas hierbas de manera constante. Por consiguiente, mucha investigación se ha realizado para determinar si CC en combinación con otras prácticas de control, particularmente con herbicidas, pueden mejorar el manejo de malezas (Teasdale et al., 2003).

De acuerdo con INIA (2018), *“El hecho de incluir un cultivo de cobertura durante invierno provee un control de malezas, mediante sombreado o alelopatía, pudiendo lograrse entre 60 y 80% de supresión de malezas. Complementar el accionar del cultivo con el uso de herbicidas permite incrementar al 90% dicha supresión. En definitiva, lograr una buena cobertura es el mejor herbicida, y para ello es básico tener una buena implantación de ese cultivo. Los herbicidas sirven para completar la supresión que ejerce la cobertura y su efecto se magnifica en el caso de malas implantaciones, situaciones complicadas de malezas, o el manejo de malezas resistentes”*.

Un ejemplo de esta respuesta fue estudiada por Vicente et al. (2015), los cuales al utilizar el cultivo de centeno como cobertura obtuvieron una reducción en la densidad de la maleza respecto al tratamiento testigo sin herbicida y sin cultivo de cobertura de 0,10 y 18,00 pl/m², respectivamente, demostrando así que la utilización de esta estrategia es una buena alternativa para el control temprano de *Amaranthus spp.*

A nivel de predios comerciales, se destaca el uso de coberturas invernales, fundamentalmente el uso de avena negra. Como especie por su parte, normalmente no presenta problemas de implantación, tiene aceptable productividad y relativamente rápida cobertura. Además, es fácil de suprimir, lo que es una ventaja frente al raigrás, que tiene crecientes niveles de resistencia a herbicidas. La dominancia de avena negra en los “puentes verdes” tiene razones claras.

Los cultivos de cobertura ofrecen una amplia variedad de opciones que deben evaluarse en términos de la magnitud de los servicios que brindarán al agroecosistema. En los últimos años se ha generado información que permite comenzar a cuantificar algunos de esos servicios, por ejemplo, disminución de la erosión, mejor control de malezas, fijación de nitrógeno atmosférico, aumentos en materia orgánica y calidad física del suelo. Estas ventajas, sin embargo, implican mayores costos y manejos menos simples del sistema. Además se debe tener en cuenta que distintas especies brindan distintos servicios y no todas aportan todo. A pesar de que la disponibilidad de germoplasma es amplia, y de que la información disponible muestra claramente los beneficios de las diferentes opciones, los sistemas de Uruguay están funcionando actualmente en base a un único cultivo de servicio: avena negra. Es el desafío de investigadores, asesores y productores lograr en forma

conjunta implementar secuencias específicas que permitan optimizar los diferentes servicios para cada agro-ecosistema (INIA, 2018).

Baigorria et al. (2012), destacan que los residuos de gramíneas, persisten durante un largo período, mejorando la supresión de malezas, la retención de humedad y la conservación del suelo. Con respecto a esta idea, algunos estudios con coberturas de *Avena sativa* generaron una alta capacidad supresora de malezas, atribuidos tanto a factores físicos, así como también a la liberación de aleloquímicos que reducen la germinación de semillas y el desarrollo de plántulas de maleza, además esta especie presenta la habilidad de exudar ácidos fenólicos y escopoletina, productos secundarios que tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de raíces de plantas (Martins et al., 2016).

2.2.2. Efecto del rastrojo en la actividad de los herbicidas

Una de las principales funciones del laboreo es proporcionar un control de malezas, ya que influye en sus poblaciones por los efectos combinados de la destrucción mecánica de las plántulas y cambiando la distribución vertical de sus semillas en el suelo. También se ven modificadas aquellas condiciones del suelo que controlan la latencia, germinación y crecimiento de las malezas. Por esto la reducción del laboreo tiende a aumentar la concentración de malezas en la capa superior del suelo, lo que puede llevar muy a menudo a que los productores decidan un aumento en el uso de herbicidas (Peigné et al., 2007). Además algunos productores, alegando que al aplicar un producto sobre un suelo con rastrojo, el mismo quedará retenido en dichos restos y no llegará al suelo, también decidan aumentar la dosis del herbicida residual. Al optar por esta alternativa el producto puede desperdiciarse, aumentando el costo de producción y la contaminación del medio ambiente (Rodrigues et al., citados por Costa et al., 2004).

Según Godoy et al. (2007), existe controversia sobre la influencia del rastrojo sobre la efectividad del herbicida aplicado en pre-emergencia. Mientras algunos defienden la hipótesis de que en un sistema de labranza cero pueden reducir o incluso eliminar la aplicación de herbicidas en preemergencia por efecto físico y/o alelopático, otros defienden la necesidad de aumentar la dosis, por el hecho de que se retendría parte del producto en el rastrojo y éste no podría alcanzar el suelo. Sin embargo, los mismos autores destacan la importancia del mantenimiento de cubiertas en la superficie del suelo, aun con las grandes variaciones que existen en cantidad, composición y tipo de cobertura, lo cual interfiere en que estas pueden o no suprimir la germinación de las malezas, así como intervenir en la dinámica de los herbicidas.

Oliveira et al. (2001), realizaron un experimento con los herbicidas atrazina y metolaclor, obtuvieron como resultado, que la población de gramíneas invasoras se vio significativamente afectada por los niveles de rastrojo, tanto en ausencia como en presencia de herbicidas. En ausencia de herbicidas, por cada tonelada de rastrojo agregada, la reducción estimada en la infestación de malezas fue de alrededor del 6,4% en una de las evaluaciones y del 4.2% en otra. En presencia del herbicida, la reducción de la población de malezas fue de alrededor del 7,4% en el primero y del 6,0% en el segundo. Este hecho demuestra que el rastrojo afectó la aparición de malezas, independientemente de la aplicación del herbicida. Sin embargo, las diferencias que se vieron en el control de gramíneas y hojas anchas puede explicarse por una retención diferencial entre ambos herbicidas evaluados, la cual se puede atribuir a los diferentes coeficiente de partición octanol-agua, que es mayor para metolaclor. Resultados con la misma tendencia se vieron en otros estudios, donde la acumulación de masa de malezas en el testigo sin rastrojo e infestado fue mayor que todos los demás tratamientos (Correia et al., 2007).

Sin embargo Baigorria et al. (2012), en experimentos similares, encontraron diferencias significativas sólo en latifoliadas y perennes, mientras que el total de malezas no presentó diferencias significativas entre tratamientos. La cantidad de malezas totales fue un 27% menor en el tratamiento con cobertura y sin aplicación con respecto a barbecho sin cobertura y sin aplicación. Por estos resultados, se demuestra que la supresión de malezas por residuos de cultivos de cobertura invernal por sí solos, no es suficientes, y requieren ser integrados a un programa de manejo de malezas que incluya prácticas adicionales, entre ellas control químico, manejo de fecha de siembra, distanciamiento entre hileras, fertilización, rotación de cultivos, cultivos de cobertura, etc.

Por todo esto, quedarse solo con determinados ejemplo en donde la cobertura genera un efecto positivo en la supresión de las malezas, no es suficiente ni correcto, ya que como se sabe la reducción de la intensidad de la labranza conduce a importantes y complejos cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, afectando así el destino de los pesticidas aplicados, por lo que para conocer el destino de los herbicidas en el suelo implica una evaluación integral de todas las interacciones entre los diferentes procesos de disipación y de todos los distintos factores del suelo afectados por las operaciones del método de labranza (Alletto et al., 2010).

Como ya se nombró, uno de los efectos más conocidos de los residuos sobre la aplicación de cierto herbicida es la retención. Algunos herbicidas están más retenidos que otros y la razón de estas diferencias pueden estar relacionadas principalmente con diferentes solubilidades y con la presión de

vapor de cada herbicida, cantidades y orígenes de rastros e intensidades y tiempos de ocurrencia de lluvia después de la aplicación de estos productos (Fornaroli et al., 1998).

Locke y Bryson (1997), señalan que la interceptación-retención de herbicidas depende de varios factores, como el tipo de aplicación (pre o post-emergencia), la presencia de un cultivo (etapa de crecimiento de la planta y especie) y la presencia de un rastrojo. Esta última conduce generalmente a un aumento en la interceptación de plaguicidas aplicados, más particularmente para pesticidas apolares o pesticidas de baja polaridad.

Otros autores se refieren al contenido de materia orgánica y confirman que su aumento en la superficie del suelo conduce a una mayor retención del herbicida en la capa superficial del suelo, lo que induce en un efecto de disminución de la disponibilidad del producto para la degradación biológica. Esta competencia entre retención y degradación conduce a una mayor persistencia de pesticidas en los suelos, aunque ésta, puede ser parcialmente compensada por una actividad microbiana más intensiva bajo siembra directa. A pesar de que este tipo de sistemas, provoca fuertes cambios en las propiedades físicas del suelo, como la mejora en la conectividad de los macroporos, que a su vez aumenta lixiviación de pesticidas, la transferencia de plaguicidas está más influenciada por las condiciones iniciales del suelo y condiciones climáticas que por la propia labranza (Alletto et al., 2010).

El tipo de sistema utilizado puede cambiar algunas propiedades del suelo, por ejemplo en el pH. Se puede conducir a un aumento del mismo, no provocar cambios, o más a menudo, a su disminución, debido a la acumulación de materia orgánica y fertilizantes. Para muchos plaguicidas, la absorción está fuertemente influenciada por el pH, la cual tiende a aumentar cuando éste desciende (Alletto et al., 2010).

De acuerdo con Banks y Robinson (1982) la interceptación depende de la cantidad y el tipo de residuos del cultivo y que por ejemplo, con una proporción mayor al 30% de la superficie del suelo cubierta por algún tipo de residuo, se encontró que la dosis de herbicida pre-emergente variaba de 40 al 70%. En términos de masa de residuos, para una cantidad mayor a 4,5 ton/ha, la interceptación de herbicidas como acetoclor, alaclor y metolaclor fue superior al 90% de las dosis aplicadas. Otros estudios en donde se usaron varias especies como residuos, se encontró que los de avena son, después del nabo forrajero, los que se descomponen más rápidamente. Sin embargo, debido a la mayor masa inicial producidos, se mantienen, por más tiempo en el suelo. Diversos estudios confirman la retención de herbicidas aplicados en preemergencia con residuos de avena, y en algunos casos, esta retención puede ser un problema

aún mayor si el herbicida no se lixivia en el suelo con lluvia más tarde, debido a las características del propio producto y el medio ambiente (Costa et al., 2004).

Según Correia et al. (2007), experimentos con aproximadamente 3,5 toneladas por ha de rastrojo de trigo fueron suficientes para interceptar y retener el 5% del herbicida metribuzin aplicado sobre residuos mantenidos en posición vertical y 80% cuando el desperdicio fue esparcido por el suelo, incluso después del riego de 20 mm.

Según Alletto et al. (2010), aunque la mayoría de las moléculas quedan atrapadas físicamente en el rastrojo, este efecto aumenta con el envejecimiento de los residuos, en donde la naturaleza y el grado de descomposición de los residuos de cultivos determinan la intercepción y la retención del plaguicida. Esto se refleja en estudios realizados con herbicidas como metribuzin, clorimuron y cianazina, los cuales sufrieron una mayor intercepción por residuos envejecidos. En estos casos, el aumento de la sorción debido al envejecimiento se atribuyó a cambios físicos y químicos de los residuos del cultivo, dada las alteraciones físicas de los residuos que aumentan su superficie externa para la absorción de herbicidas en comparación con residuos frescos, y la evolución química de los residuos durante la degradación conduce a un aumento en la relación lignina-celulosa, lo que resulta en un aumento en la sorción.

Considerando todos los cultivos cobertura, la sorción aumentó con el tiempo de incubación, en proporciones que varían según el plaguicida (Koc en aumento). Estos resultados están de acuerdo con los encontrados para metribuzin y otros herbicidas y puede atribuirse a alteraciones físicas de los residuos durante su descomposición, que aumentan su superficie externa para herbicidas comparada con residuos frescos, y cambios químicos en los residuos durante la degradación, con una disminución en la polaridad del rastrojo. El aumento en la sorción con la descomposición del rastrojo puede deberse a una disminución en competencia por los sitios de adsorción y además se puede explicar por el aumento relativo en el contenido de lignina, que es el componente activo con mayor absorción en los tejidos vegetales (Cassigneul et al., 2015).

La intercepción también está condicionada por las características de la formulación de las moléculas del propio herbicida. Una vez que el herbicida es interceptado por el rastrojo, la molécula se puede lavar de los residuos del cultivo para alcanzar la superficie del suelo, pero también sufrir distintos tipos de pérdidas.

La disponibilidad de herbicidas en la solución del suelo es el factor principal que determina el transporte y la degradación del mismo y por lo tanto incide directamente en la eficacia del control de malezas, que a su vez está

inversamente relacionado con su potencial de sorción. La sorción de herbicidas no polares o de baja polaridad suele estar relacionado a la partición hidrofóbica y al contenido de carbono orgánico. La literatura muestra que los residuos de cultivos y otros desechos orgánicos pueden mejorar la sorción, reducir la lixiviación y escorrentía superficial, pero la magnitud de tales efectos, dependen de factores ambientales, como intensidad y duración de las lluvias y propiedades propias del herbicida, tales como la solubilidad en agua (Giori et al., 2014).

Por lo que, características físico-químicas como solubilidad en agua, presión de vapor y coeficiente de agua octanol (K_{ow}) de los herbicidas son fundamentales para el conocimiento de la dinámica de los mismos en el suelo.

En cuanto al coeficiente octanol-agua (K_{ow}) de un herbicida, cuanto mayor sea su valor, mayor será su afinidad por el octanol, es decir, mayor será su lipofilia. En general, los valores de K_{ow} muestran correlación inversa con la solubilidad en agua y directa con la persistencia del producto en el medio ambiente ($>K_{ow}>$ sorción $>$ persistencia). Es decir, cuanto más soluble en agua es un producto, menos probabilidades tiene de sufrir retención por el rastrojo y, en consecuencia, menor será su persistencia en el medio ambiente. Consecuentemente valores muy bajos de K_{ow} favorecen su lixiviación a través de rastrojo, contribuyendo a mayor cantidad de producto llega al destino final que es el suelo (Silva y Monquero, 2013).

De acuerdo con Cristoffoleti y Ovejero (2013), este comportamiento ocurre porque los herbicidas lipofílico o no polar (valores de $K_{ow}>1000$) están fuertemente adheridos a materiales con alto contenido de lípidos. Sin embargo, los herbicidas hidrofílicos o polar (valores de $K_{ow}<10$) presentan baja afinidad, consecuentemente, baja adsorción al rastrojo, debido a su alta solubilidad. Otros autores, confirman que, cuanto más polar es el herbicida, mayor será su afinidad por el agua, por tanto, mayor su solubilidad. Herbicidas con alta solubilidad son fáciles de disiparse en el medio ambiente por flujo de agua y sorción relativamente bajo en rastrojo (Oliveira y Brighenti, 2011).

En cuanto a la presión de vapor (P), esta representa la presión ejercida por un vapor de equilibrio con un líquido, a cierta temperatura. Esta característica indica el grado de volatilización de la molécula, es decir, su tendencia a perderse en la atmósfera en forma de gas. En este sentido, los herbicidas con alto potencial de volatilización deben ser evitado cuando se aplica al rastrojo de caña azúcar, porque cuando se aplica en estas condiciones son interceptados por la superficie del rastrojo, volviéndose vulnerable a la volatilización (Silva y Monquero, 2013).

Como ya se sabe, los herbicidas residuales, deben introducirse directamente en el suelo, lo que es facilitado por la ocurrencia de lluvias posteriores a la aplicación, y depende de la solubilidad del producto, pero también, la volatilidad del producto, de la cantidad y origen del rastrojo, y como factor fundamental, la cantidad y hora del primer riego o lluvia después de la aplicación del producto. En este sentido, el mantenimiento de las estructuras muertas en la superficie del suelo pueden, reducir simultáneamente el potencial de comunidad de infestación, pero también son capaces de obstaculizar el rendimiento de los herbicidas, por esto la transposición del producto a través de éste y la dinámica de mojado y lavado del residuo vegetal con agua de lluvia son fundamentales en su efecto (Godoy et al., 2007).

En ejemplo claro de este efecto se vio en un estudio sobre la influencia de rastrojo de trigo en el comportamiento de metribuzin en el suelo, en el cual se observó que menos del 1% de este herbicida llegó al suelo antes del riego. Sin embargo, cuando las parcelas se regaron, el 56% del metribuzin alcanzó el suelo. Además con 2,5 mm de lluvia más del 40% del metribuzin aplicado en rastrojo de trigo llegó al suelo. Cabe mencionar que el mismo herbicida promovió un excelente control (99,7%) incluso cuando se aplicó sobre rastrojo seco y sin que ocurra lluvia, lo que demuestra que puede ser absorbido directamente por el contacto de maleza con el residuo vegetal (Banks y Robinson, 1982). Resultados similares se obtuvieron con una simulación de lluvia de 2,5 mm a los 7 días luego de la aplicación del herbicida (con o sin cubierta de residuo vegetal), proporcionó una mejora en la eficiencia de control de alrededor del 60% (Godoy et al., 2007).

Sin embargo, no siempre el efecto de la lluvia puede ser positivo y por eso hay que tener en cuenta los diversos factores que actúan. El lavado del herbicida depende del tiempo entre la aplicación y el de las primeras lluvias (teniendo en cuenta su intensidad). Se sabe que este intervalo de tiempo influye fuertemente en la cantidad de pesticidas que podrían lavarse del rastrojo, ya que éste se hace mayor cuando se producen fuertes lluvias dentro de las dos semanas siguientes al tratamiento. Sin embargo, depende directamente de la capacidad de retención del plaguicida sobre residuos de cultivos, ya que en algunos casos, una liberación gradual del pesticida de los residuos por lavado puede conducir a un aumento en su eficacia pero también podría aumentar daños a los cultivos (Alletto et al., 2010).

Comprender la degradación de los plaguicidas en los suelos es un paso clave para evaluar su persistencia y sus riesgos de transferencia en el entorno. Las prácticas de labranza modifican significativamente la degradación en el suelo, pero en formas contrastadas según estudios, ya que se ha encontrado degradación más lenta, equivalente o más rápida de plaguicidas en el suelo.

La interceptación por el rastrojo puede modificar la persistencia de los plaguicidas aplicados, ya que los residuos de cultivos pueden tener una mayor actividad microbiana y capacidad de degradación, reduciendo así la concentración de pesticidas que llegan a la superficie del suelo. Además, dependiendo de la naturaleza del pesticida, la interceptación por el rastrojo puede generar fotodegradación, reduciendo así la persistencia. Sin embargo, en otros trabajos, la presencia de residuos de cultivos aumentó el tiempo de residencia de los plaguicidas debido a la competición entre los procesos de retención y degradación, y se observó liberación gradual de las moléculas por desorción. Los residuos de cultivos también pueden limitar el aire entre el suelo y la atmósfera y dentro del suelo, ralentizando así la actividad de los microorganismos degradantes (Mazzoncini et al., 1998).

Dependiendo de la naturaleza de los residuos de cultivos, la degradación de moléculas puede verse afectada. Por ejemplo, en labranza cero, residuos de arveja aceleraron la degradación del metolaclor de 1,5 a 3 veces, pero no tuvo ningún efecto sobre la degradación de la atrazina (Teasdale et al., 2003).

Varias razones podrían explicar estas diferencias. Una menor degradación bajo labranza cero, se puede dar por la competencia entre retención y degradación. La adsorción de plaguicidas a la fase sólida del suelo generalmente aumenta y puede conducir a una disminución en la disponibilidad de las moléculas para la degradación biológica. En algunos casos, la actividad microbiológica en el suelo puede verse afectada por una temperatura más baja, o mayor acidez del suelo bajo conservación en donde ambas consecuencias aumentaban la sorción de plaguicidas, y por tanto reducen su biodisponibilidad. Para algunos autores, los insumos repetidos de fertilizantes, el uso de leguminosas como cultivos de cobertura y la ausencia de cal podría provocar en el suelo acidificación y, por lo tanto, enmascarar los efectos de las prácticas de labranza (Zablotowicz et al., 2000).

En algunos casos, los residuos de cultivos en la superficie del suelo parecieron interrumpir la actividad de los microorganismos, y comparado con la labranza convencional, se retrasó la fase de activación de la mineralización. La mineralización se considera el último paso de la degradación, lo que lleva a su eliminación completa del suelo, pero los resultados de mineralización son altamente contrastados según la pesticidas, lugares de ubicación y condiciones de incubación y no permiten ninguna conclusión sobre un aumento o limitación de mineralización en labranza de conservación (Alletto et al., 2010).

Si el producto químico no se degrada en el suelo en el suficiente tiempo necesario, y tendrá el riesgo de perderse por distintos procesos y corre riesgo de permanecer en el ambiente en un lugar donde no estaba deseado que

perdurará inicialmente. Dependiendo de su movilidad y persistencia, los herbicidas pueden migrar dentro y fuera del suelo y contaminar otros compartimentos del medio ambiente, como el agua y el aire. Los tres principales procesos de transferencia son volatilización, lixiviación y escorrentía. La importancia relativa de cada uno de estos procesos depende de las condiciones de aplicación, las propiedades del pesticida, las condiciones climáticas y las propiedades del suelo. En este caso importa la presencia de residuos en superficie (Alletto et al., 2010).

Según Bedos et al. (2002), la volatilización es una vía importante para la pérdida de plaguicidas que está controlado por las propiedades del mismo (compresión de vapor, constante de Henry, Koc), propiedad del suelo (temperatura, contenido de agua, contenido de carbono orgánico), la operaciones agrícolas (modo de aplicación, rugosidad del suelo, presencia de un rastrojo) y las condiciones climáticas (viento, radiación solar, temperatura). Se destaca mayor volatilización en siembra directa, atribuida a la presencia de un rastrojo. En algunos herbicidas se vio una mayor volatilización, pero sólo hasta que ocurrió la primera lluvia. Tras esta lluvia, la volatilización en la labranza de conservación fue fuertemente ralentizada, lo que podría explicarse por la migración de los pesticidas del rastrojo al suelo (Alletto et al., 2010).

En cuanto a otro de los procesos, denominado lixiviación, esta depende de las propiedades físicas del suelo, como la conductividad hidráulica, que está directamente influenciada por la estructura del suelo creada por la labranza. Aunque varios trabajos mostraron mayores pérdidas bajo labranza de conservación, los resultados pueden variar. Por un lado, el rastrojo en la superficie del suelo absorbe la energía de la lluvia, pero por otro lado, el continuo desarrollo de los residuos de cultivos en la superficie del suelo parecen fomentar el desarrollo de macroporos, lo que puede permitir flujos de agua hacia abajo. Los residuos de cultivos pueden limitar dichas pérdidas por lixiviación, reduciendo la tasa de infiltración en superficie del suelo, es decir, en la interfaz residuos del cultivo y suelo, el rastrojo promueve los flujos de pesticidas dentro de la matriz del suelo, evitando así flujos preferenciales a través de macroporos (Alletto et al., 2010).

Según Tonieto y Regitano (2014), la presencia de rastrojo en la superficie del suelo afectó el potencial de lixiviación de los herbicidas, ya que cuando se utilizó rastrojo, la lixiviación fue de alrededor del 3% y 5%, después de 100 mm de simulación de lluvia, sin embargo en su ausencia, la lixiviación correspondió al 5 y 37%.

La escorrentía agrícola es el mecanismo principal que contribuye a la contaminación por plaguicidas de las aguas superficiales. Esta también se ve afectada por las propiedades de los pesticidas, como el modo de transporte

dominante del mismo. Existe una relación para predecir el modo de transporte de los plaguicidas (en solución o adsorbidos) basado en su Koc y su solubilidad. Muchos trabajos destacan una disminución de pérdidas por escorrentía en labranza de conservación debido a una disminución en el volumen de agua de escorrentía a medida que se reduce el grado de labranza. Esto es debido principalmente a que el rastrojo aumenta la rugosidad de la superficie del suelo, reduciendo así la escorrentía. Aunque la efectividad del rastrojo para controlar la escorrentía y la erosión depende de la naturaleza y cantidad de esos residuos vegetales (Alletto et al., 2010).

Este no es el único efecto que puede ocurrir, ya que en algunos estudios, los pesticidas en la escorrentía de parcelas de labranza cero, fueron más altas que en la escorrentía de parcelas de labranza convencional. Por ejemplo, después de una cosecha de soja, la abundancia de residuos bajo labranza cero no fue suficiente para limitar la escorrentía (agua y atrazina) y mayores volúmenes de escorrentía en aquella labranza con rastrojo (Olson et al., 1998). Este efecto se ve intensificado cuando las lluvias fuertes ocurren rápidamente después del tratamiento. Como consecuencia, la labranza de conservación puede generar mayores pérdidas de plaguicidas a pesar de un menor volumen de escorrentía. En este caso la intensidad de la primera lluvia influye directamente en el destino de la aplicación, ya que por ejemplo una pequeña lluvia de baja intensidad que ocurre unos días después del tratamiento permite la incorporación de plaguicidas dentro del horizonte de la capa superior del suelo, reduciendo así las pérdidas durante la escorrentía posterior eventos (Alletto et al., 2010).

Debido a estos resultados contradictorios, parece necesario aclarar las principales condiciones y mecanismos involucrados en la transferencia de plaguicidas por escorrentía que pueden conducir a un control eficiente o ineficiente de las pérdidas. La lluvia es el parámetro más importante y su efecto, depende de su tiempo de llegada después del tratamiento, su intensidad y el intervalo entre dos eventos de lluvia (Alletto et al., 2010).

Como resumen, en cuanto a las pérdidas que se pueden producir del herbicida en sistemas con residuos, existen 4 puntos fundamentales. El primero relacionado con la interceptación de plaguicidas mejora con la conservación. La intensidad de este proceso depende de la cantidad y naturaleza de los residuos agrícolas (sorción de 10 a 60 veces superiores a las del suelo) y las condiciones climáticas (tiempo entre el tratamiento y las primeras lluvias y su intensidad). El segundo se refiere a la retención de plaguicidas, que generalmente se correlaciona positivamente con contenido de carbono orgánico, se incrementa en la capa superior del suelo sometida a labranza de conservación. La desorción también se ve afectada por la labranza y mayores proporciones de

los pesticidas permanecieron absorbidos en las partículas del suelo y en el rastrojo bajo labranza de conservación (Alletto et al., 2010).

Como consecuencia de los 2 primeros puntos, una fracción menor del plaguicida permanece disponible para la degradación biológica. Además de esta baja en la biodisponibilidad debido a procesos de retención, la presencia de los residuos de cultivos, genera una temperatura más baja y una mayor acidez, lo que puede alterar o ralentizar la actividad de los microorganismos. Y por último, el transporte de plaguicidas se ve afectado por la gestión de la labranza y por sus interacciones con las condiciones climáticas, más particularmente por la intensidad de las lluvias, su tiempo de llegada después del tratamiento, el intervalo entre dos eventos de lluvia y las propiedades del pesticida (solubilidad en agua, retención, vida y formulación). De forma general, una actividad conservacionista como la siembra directa, es más eficiente para reducir la escorrentía que la lixiviación. En efecto, existe una mayor rugosidad de la superficie del suelo debido a la presencia de los residuos y una mayor estabilidad de los agregados, que conducen a una disminución significativa de la pérdida de plaguicidas en la escorrentía, mientras que los macroporos bien conectada, mejoran la lixiviación de plaguicidas (Alletto et al., 2010).

2.3. *Amaranthus spp.*

2.3.1. Origen y características generales

Según la FAO (1997), el amaranto es una planta perteneciente a la familia de las amarantáceas, la cual posee 70 géneros y más de 850 especies. El género *Amaranthus* tiene más de 60 especies, de las cuales la mayoría son nativas de América y sólo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia. Sin embargo, en Argentina, se han reportado 32 especies de este género, de las cuales sólo 18 son nativas. Por otro lado, nueve son las especies que se consideran malezas de los cultivos (IBODA, 2015).

Amaranthus spp. es una especie anual, herbácea o arbustiva, con una raíz pivotante con abundante ramificación, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta. Presenta un tallo cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud. Sus hojas son pecioladas, sin estípulas de forma oval, elíptica, opuesta o alterna con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes. En tanto la inflorescencia del amaranto corresponde a panojas glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores variables. En cuanto a la semilla, esta es pequeña,

lisa, brillante de 1 a 1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo, las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro (FAO, 1997).

El *Amaranthus spp.* presenta una gran capacidad de producir gran cantidad de semillas, como una especie prolífica, cada planta puede producir al menos 100.000 semillas cuando compiten con los cultivos y puede llegar a 500.000 semillas en algunas situaciones. Otra de sus características es su reducido tamaño. Además presenta un flujo de emergencia prolongado, ya que puede ir desde principios de octubre hasta mediados de marzo (Metzler y Papa, 2015).

2.3.2. Introducción en el país

Según de la Fuente (2016), la superficie sembrada con el cultivo de soja en la Argentina ha tenido un crecimiento muy notorio en los últimos años, así como el aumento acelerado en la adopción de cultivares transgénicos. Todos estos factores, han contribuido a incrementar los rendimientos del cultivo de la soja. Estas transformaciones causaron la simplificación y homogeneización del sistema productivo con escasa rotación de cultivos (monocultivo de soja), con un mismo sistema de siembra (principalmente siembra directa) y de un único principio activo usado (principalmente glifosato), que generaron variaciones en la comunidad de malezas. Entre 1995 y 2010, la riqueza o número de especies y la abundancia de malezas disminuyeron a escala regional. Paralelamente, la composición de especies de la comunidad presentó variaciones, viéndose un crecimiento de aquellas de difícil control, como leñosas, perennes o tolerantes a herbicidas o por haber evolucionado resistencia a herbicidas (de la Fuente et al., 2006).

Una de ellas es *Amaranthus spp.* de la cual se detectó su presencia en el ciclo agrícola 2011/2012 en Argentina, en la provincia de Córdoba. Luego de dicha zafra esta especie ingresó a Uruguay presuntamente a través de maquinaria agrícola usada (sin desinfectar), importada desde Estados Unidos. Esto motivó a que el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, a partir de noviembre de 2016, resolviera que toda maquinaria agrícola usada que se importe, debe entrar con un certificado de desinfección emitido por la autoridad fitosanitaria del país de origen (Antúnez, 2017).

Fernández y García (2018) señalan que en el país se ha reportado la presencia e infestación de *Amaranthus hybridus* (yuyo colorado “criollo”) en chacras agrícolas durante el verano. En los últimos años, también se ha constatado la presencia de otras especies del mismo género, que no habían sido reportadas en el país históricamente. Además del hecho de que estas

poblaciones presentan resistencia a herbicidas comúnmente usados para el control de malezas en el cultivo de soja, como glifosato y los inhibidores de la ALS (Acetohidroxiácido sintasa). Las poblaciones resistentes corresponden a las especies *Amaranthus palmeri* y *Amaranthus tuberculatus* inclusive, recientemente se agregan fuertes sospechas de resistencia a glifosato también en poblaciones de *Amaranthus hybridus*.

La problemática de malezas cambia todos los años en la agricultura uruguaya, pero en el litoral agrícola, “lo que antes se veía en las chacras argentinas, ahora es moneda corriente en Uruguay” y “es impresionante el avance que están teniendo el yuyo colorado y el capín. Hoy están en todas las chacras y con una agresividad impresionante” (Pastorini, citado por Antúnez, 2020).

2.3.3. Consecuencias en el sistema

Antúnez (2017), señala que “*En el primero de los casos, la presencia de la maleza y su expansión puede quitarle área a los cultivos agrícolas y el campo puede llegar a tener menor valor por su presencia*”.

Dada sus características, el *Amaranthus spp.* además de que obligan a gestionar su manejo a lo largo de todo el año, exhiben su crecimiento agresivo y competitivo con los cultivos. En condiciones ideales cada individuo puede crecer 5 a 7,5 centímetros por día y alcanzar 180 centímetros de altura. Cuando se le permite competir en todo el periodo de crecimiento del cultivo, puede generar pérdidas de rendimiento de hasta el 91% en maíz y hasta un 79% en soja (Metzler y Papa, 2015).

Para su correcta identificación en el campo, hay que tener en cuenta las características de cada especie. Se debe recordar que las características también pueden ser variables dentro de una especie o incluso dentro de una misma población en el lote. Debido a esta variabilidad, siempre hay que evaluar varias plantas en el campo, ya que puede existir más de una especie del género *Amaranthus* en el lote. Luego de la identificación, el objetivo será reducir la competencia con el cultivo, evitar la producción de semilla por parte de la maleza y su propagación. Por lo tanto hay que considerar la posibilidad de combinar las prácticas culturales con el uso de herbicidas para un control más efectivo, lo que lleva a una modificación del manejo general del sistema, por ejemplo un cambio en las rotaciones de cultivos, puede ayudar a que el proceso de resistencia sea más lento y preserva las herramientas herbicidas actuales. Un cultivo de cobertura proporciona una supresión de las emergencias, además de los beneficios a la estructura de suelo que brinda. En algunas ocasiones con infestaciones severas, se recurre a la contratación de cuadrillas

de personal para el desmalezado manual, con el objetivo fundamental de impedir que la maleza siga creciendo y genere semillas viables. Las cosechadoras son una de las mayores contribuyentes a la propagación de semillas, por lo tanto hay que considerar cosechar al final, los lotes con fuertes infestaciones. Esto ayudará a mantener las semillas en el área. Después de la cosecha, se debe limpiar la cosechadora de la mejor manera posible para asegurar que la semilla no se propague durante la cosecha del próximo lote (Metzler y Papa, 2015).

Las herramientas químicas son las más importantes para el control de malezas, pero como se mencionó anteriormente, no son las únicas, por lo que se debe tener en cuenta el manejo integrado y así mantener esta maleza en niveles que permitan producir. Esto es de suma importancia, ya que hoy en día se ha visto resistencia a diversos herbicidas, incluyendo inhibidores de la ALS, triazinas, inhibidores de la hidroxifenil piruvato dioxigenasa (HPPD), dinitroanilinas y glifosato. Dado su flujo de emergencia prolongado, se está obligado a gestionar el manejo de esta maleza a lo largo del año. Por ejemplo se ha demostrado que para el control de esta maleza, herbicidas como flumioxazin y sulfentrazone se destacaron sobre el metribuzin. Los tratamientos residuales secuenciales o de solapamiento de residualidad expresaron un mayor impacto inicial y una más prolongada actividad biológica y ese atributo fue máximo cuando al tratamiento con metribuzin le siguió sulfentrazone o flumioxazin, en ambos casos combinados con s-metolaclor (Metzler y Papa, 2015).

2.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS HERBICIDAS PRE-EMERGENTES EVALUADOS

Son varias las características de los herbicidas que pueden ayudar a comprender algunos procesos que ocurren luego de la aplicación de herbicidas pre-emergentes en presencia de rastrojos y que se relacionan con su disponibilidad y el consecuente control de malezas. En el cuadro 1 se presentan los valores de solubilidad, Koc y potencial de lixiviación para los herbicidas usados en este trabajo.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los herbicidas pre emergentes utilizados

Herbicida	Solubilidad (mg l ⁻¹)	Koc	Potencial de lixiviación (GUS)
Diflufenican	0.05	5504	1.19
S-metolaclor	480	120	2.32
Flumioxazin	0.786	889	1.31
Metribuzin	10700	41	2.96

Fuente: adaptada de UH. PPDB (2016).

La solubilidad se mide como la cantidad máxima de un compuesto a disolverse en agua a una temperatura específica y se puede expresar en mg/L (ppm), g/100mL o moles/L. Por lo que herbicidas que son muy solubles en agua se adsorben con baja afinidad al suelo, lo que provoca que sean fácilmente transportados del lugar de aplicación por una fuerte lluvia, riego o escurrimiento, pudiendo llegar a cuerpos de agua superficial y/o subterránea (SEMARNAT. INECC, 2015). De los herbicidas utilizados, metribuzin aparece como el de mayor solubilidad.

El coeficiente de adsorción de carbono (Koc) es una medida de la tendencia de un compuesto orgánico a ser adsorbido (retenido) por el suelo o algún tipo de sedimento. El Koc es específico para cada herbicida y es sumamente independiente de las propiedades del suelo, y sus valores pueden ir desde 1 a 10.000.000. En este sentido un Koc elevado indica que el herbicida se fija con firmeza a la materia orgánica del suelo, por lo que poca cantidad del compuesto potencialmente podría moverse a lugares como acuíferos (SEMARNAT. INECC, 2015).

En cuanto al potencial de lixiviación GUS (Grounwater Ubiquity Score), definido por Gustafson (1989), permite clasificar la capacidad de lixiviación hacia aguas subterráneas de un compuesto químico según el efecto combinado de los procesos de degradación y adsorción, determinado por el Koc y vida media. Ninguno de los herbicidas en estudio aparece con una muy alta potencialidad de lixiviación.

2.4.1. Diflufenican

Es uno de los herbicidas del Grupo F (inhibidores de pigmentos). Pertenece a la familia de phenylethers (F1), cuyo mecanismo de acción es la inhibición de la síntesis de los carotenoides a nivel de la fitoeno desaturasa (PDS). Dicho herbicida se clasificó en el 2020 en el Grupo 12 (HRAC, 2020).

Los inhibidores de la biosíntesis de carotenoides son amidas, anilidex, furanonas, fenoxibutan-amidas, piridiazinonas y piridinas. Estos son ejemplos de compuestos que bloquean la biosíntesis de carotenoides mediante la inhibición de la fitoeno desaturasa. Se sabe que los carotenoides juegan un papel importante en la disipación de la energía oxidativa del O_2 (1O_2). En una planta sana, la energía del 1O_2 se apaga de forma segura por carotenoides y otras moléculas protectoras, sin embargo estos carotenoides están en gran parte ausentes en las plantas tratadas con este tipo de herbicidas. Lo que ocurre entonces es que en las plantas tratadas se permite que el 1O_2 y el 3Chl extraigan un hidrógeno de un lípido insaturado, produciendo un lípido peroxidado y un radical lipídico. Por lo que luego de esto, se inicia una reacción en cadena auto-sostenida de peroxidación de lípidos que destruye la clorofila y lípidos de membrana. Esta destrucción de componentes integrales de la membrana produce fugas en las mismas y una rápida desecación del tejido (WSSA, 2011).

El diflufenican es un herbicida residual que se aplica en pre y post emergencia temprana para el control de malezas de hoja ancha. Al encargarse de la inhibición de la síntesis de carotenoides, provoca como primer síntoma la no emergencia de la plántula y si esta ya lo hizo, genera una decoloración de las hojas de la maleza, que aparecen primero en los bordes y punta de las mismas. Para un control eficiente el suelo debe tener un nivel de humedad que permita la germinación de las malezas y la absorción del herbicida (Proquimur, 2019a).

2.4.2. S-metolaclor

Es un herbicida que pertenecía al Grupo K3, presentando como mecanismo de acción la inhibición de síntesis de ácidos grasos de cadena larga, se encuentra dentro de la familia cloroacetamidas, que actualmente corresponde al grupo 15 (HRAC, 2020).

Los herbicidas acetamida, cloroacetamida, oxiacetamida y tetrazolinona, son ejemplos de herbicidas que actualmente, inhiben la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA). Estos compuestos suelen afectar a las malezas susceptibles antes de la emergencia, pero no inhiben la germinación de la semilla (WSSA, 2011).

S-metolaclor es un herbicida pre-emergente, que es absorbido por las malezas a través de las estructuras de la semilla en germinación (coleóptilo, hipocótilo, radícula), y que al impedir la síntesis de ceras y lípidos (constituyentes de las membranas), provoca que el crecimiento cesa al verse interrumpida la división y elongación celular (Proquimur, 2019b).

Dada que su absorción ocurre principalmente por el coleóptilo y el hipocótilo cuando las plántulas cruzan la capa de suelo donde se encuentra el producto, la aplicación de este herbicida debería realizarse en un suelo bien preparado, libre de terrones y residuos de cultivos y en buenas condiciones de humedad, y es esencial que su aplicación se produzca antes de que las semillas alcancen un estado avanzado de germinación. De acuerdo con estas características del producto, al adoptar un sistema de labranza cero, se puede esperar menos acción de este principio activo y por lo tanto un menor control (Oliveira et al., 2001).

Este herbicida resulta de gran importancia para el control pre-emergente y post-emergente temprano de una gran variedad de gramíneas y algunas latifoliadas de difícil control en cultivos comerciales como soja y maíz, entre otros. Dentro de la familia cloroacetamidas se encuentran herbicidas como acetoclor, metolaclor o s-metolaclor. Estos dos últimos presentan una pequeña diferencia, que radica en el hecho de que s-metolaclor contiene el isómero resuelto del metolaclor, mientras que el metolaclor utiliza una mezcla de isómeros no resueltos. Esta mezcla sin resolver contiene formas que son menos activas que los isómeros contenidos en el primero. A raíz de estas diferencias químicas, es que se llega a recomendar dosis de hasta un 30% menos para s-metolaclor (Proquimur, 2019b).

Este herbicida se puede utilizar junto a productos de acción y espectro complementario como son fomesafen, sulfentrazone o flumioxazin, según el cultivo a implantar y el espectro de malezas que se desea controlar. Además es importante tener en cuenta que para garantizar una correcta incorporación al suelo son necesarias lluvias de al menos 20 mm dentro de los primeros 10 a 15 días de aplicado el producto. Su vida media en el suelo alcanza hasta 50 días y sus efectos residuales por más de 60 días según ensayos de campo (Rainbow, 2019).

2.4.3. Flumioxazin

Es un herbicida que se clasificaba en el Grupo E y que actualmente pertenece al Grupo 14. Su mecanismo de acción es la inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO) y pertenece a la familia N-Phenyl-imides (HRAC, 2020).

Difeniléteres, N-fenilftalimidas, oxadiazoles, oxazolidinedionas, fenilpirazoles, pirimidindionas, los tiadiazoles y las triazolinonas son herbicidas que se encargan de inhibir la protoporfirinógeno oxidasa (PPG oxidasa o Protox), una enzima de la biosíntesis de clorofila y hemo que cataliza la oxidación deprotoporfirinógeno IX (PPGIX) a protoporfirina IX (PPIX). Esta

inhibición conduce a la acumulación de PPIX, el cual es el primer absorbente de luz y precursor de la clorofila. La absorción por PPIX aparentemente produce PPIX en estado triple que interactúa con el oxígeno del estado fundamental para formar oxígeno singlete. Tanto el triple como el singlete pueden extraer hidrógeno de los lípidos insaturados, produciendo un radical lipídico e iniciando una reacción en cadena de peroxidación lipídica. Los lípidos y las proteínas son atacados y oxidados, lo que resulta en una pérdida de clorofila, carotenoides y en membranas con fugas que permiten que las células y los organelos celulares se sequen y desintegren rápidamente (WSSA, 2011).

Estos herbicidas son también llamados desorganizadores de membrana, por esto necesitan luz para desencadenar su actividad. Se absorben por raíz y hoja y presentan una limitada translocación por xilema y floema. Es un herbicida que básicamente actúa sobre malezas de hojas anchas y algunas gramíneas (Villalba, 2020).

2.4.4. Metribuzin

Pertenece al Grupo C y actualmente Grupo 5, cuyo mecanismo de acción es la inhibición del Fotosistema II. Del grupo de triazinones (HRAC, 2020).

Fenilcarbamatos, piridazinonas, triazinas, triazinonas, uracilos son ejemplos de herbicidas que inhiben la fotosíntesis uniéndose al nicho de unión de QB en la proteína D1 del complejo del fotosistema II en membranas tilacoides de cloroplasto. La unión del herbicida en esta ubicación de la proteína bloquea el transporte de electrones QB y detiene la fijación de CO₂ y la producción de ATP y NADPH₂, necesarios para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la muerte de las plantas ocurre generalmente por otros procesos, como por ejemplo la incapacidad para reoxidar que promueve la formación de triple clorofila que interactúa con el oxígeno del estado fundamental para formar oxígeno singlete. Ambos pueden extraer hidrógeno de los lípidos insaturados, produciendo un radical lipídico e iniciando una reacción en cadena de peroxidación lipídica. Los lípidos y las proteínas son atacados y oxidados, lo que resulta en la pérdida de clorofila, carotenoides y en membranas con fugas, provocando una rápida sequía y desintegración de las células y los organelos celulares. Algunos compuestos de este grupo también pueden inhibir la biosíntesis de carotenoides (fluometuron) o la síntesis de antocianina, ARN y proteínas (propanil), así como efectos sobre el plasmalema (WSSA, 2011).

Según Insuagro (2019), presenta acción sistémica y residual, que se puede aplicar en pre y post-emergencia. Posee amplio espectro de control de malezas, tanto gramíneas como latifoliadas. Se absorbe por las raíces y el

follaje de las malezas y actúa bloqueando la fotosíntesis. En suelos de alto contenido de arcilla y humus se requiere una dosificación más elevada y en suelos muy livianos (bajo contenido de arcilla y humus), no se recomienda su aplicación. El principio activo es degradado en el suelo, de modo tal que no existe ningún riesgo para el cultivo posterior. Actualmente se lo combina con sulfentrazone para obtener un mejor control de yuyo colorado resistente y rama negra. Como características específicas se sabe que es altamente soluble en agua (1.05 g L⁻¹) y que su coeficiente de sorción varía de 0,56 en suelos arcillosos-arenosos a 31,7 en suelos con 60% de materia orgánica. Su persistencia en suelos se considera pobre a moderada, y la vida media puede estar entre 5 y 50 días (Godoy et al., 2007)

De acuerdo con Bouchard et al. (1982), la presencia de rastrojo, no afectó significativamente la persistencia de metribuzin en el suelo. Registrándose una vida media de dicho herbicida a campo de 5.3 días en un año y de 12.5 días en otro (0 a 10 días sin lluvia o riego), sin embargo en el invernadero, fue de 17,1 días, donde la temperatura del suelo fue más baja y las pérdidas por lixiviación, volatilización y fotodegradación fueron menores que en el campo. El aumento de la cantidad de rastrojo en la superficie del suelo disminuyó en gran medida la recepción inicial de metribuzin en el suelo, así como la cantidad de metribuzin que posteriormente se eliminó del mismo con agua, ya que menos del 45% del metribuzin aplicado alcanzó la superficie del suelo cuando hubo 2250 kg/ha de rastrojo y se aplicó 0.3 cm o más de agua.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo fue conducido en condiciones controladas bajo invernáculo en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (Paysandú – Uruguay).

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Todos los experimentos fueron instalados en diseño completamente al azar (DCA), con tratamientos en arreglo factorial. Cada herbicida se constituyó en un experimento donde se evaluó el efecto del rastrojo (con y sin rastrojo de avena), 3 períodos de ocurrencia de las precipitaciones desde la aplicación del pre-emergente (día 1, 7 y 14) y 2 niveles de precipitaciones (20 y 60 mm). Cada experimento contó con 5 repeticiones y las unidades experimentales consistieron en macetas con 100 semillas.

3.2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En macetas con volumen para 1 kg de suelo se colocó una mezcla de tierra y arena (en una proporción 5/1), se sembraron 100 semillas de *Amaranthus spp.* de la zafra 19/20. Luego de la preparación del rastrojo de avena, se colocó sobre las macetas en los tratamientos con rastrojo, la cantidad equivalente a 6000 kg/ha.

Los tratamientos fueron aplicados con un equipo pulverizador experimental con fuente de CO₂, provisto de 4 boquillas TT11001, calibrado para un volumen de aplicación de 120 L/ha (ver anexo 1). En cuanto a los herbicidas utilizados, sus dosis se detallan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Detalle de los herbicidas utilizados

Herbicida	Nombre comercial	Dosis comercial/ha	Dosis en principio activo/ha
Diflufenican	Boydal FE	0.3 L	0.15 L
S-metolaclor	S-metolaclor Proquimur	1.6 L	1.5 L
Metribuzin	Varro	1 L	0.480 L
Flumioxazin	Versatil	0.15 L	0.072 L

El mismo día, se realizó el primer riego en la tanda de tratamientos 1 DPA (días post aplicación), y cuando correspondió los de 7 y 14 días post

aplicación. El riego fue realizado con aspersores simulando lluvias de 20 y 60 mm (ver anexo 2). En todos los casos, durante la evolución del experimento, se mantuvo la humedad de las macetas colocando agua en la bandeja sin alterar la trasposición del herbicida a través del rastrojo.

3.3. MEDICIONES

Se evaluó las emergencias de *Amaranthus spp*, expresado como porcentaje de emergencia. Las mismas se realizaron 2 veces por semana, las que se dividieron en 6 mediciones en febrero y 3 mediciones en marzo. Para presentar, se seleccionaron 3 mediciones (11, 25, 49 DPA), ya que en esos momentos los datos fueron más consistentes, lo que podría arrojar resultados más representativas del efecto residual de herbicidas.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico realizado fue análisis de varianza para las 3 fechas de evaluación seleccionadas, considerando factorial completo. El procesamiento de los datos se realizó con el programa estadístico INFOSTAT 2020I, en donde los factores de estudio fueron rastrojo, momento y cantidad de precipitaciones y sus correspondientes interacciones dobles. Cuando el modelo detectó diferencias estadísticas se realizó la comparación de medias por Tukey al 5%.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan y discuten los resultados de los 5 experimentos independientes realizados para cada herbicida que compusieron el trabajo de tesis.

4.1. EXPERIMENTO 1. DIFLUFENICAN

El análisis de varianza de las emergencias cuantificadas a los 11 DPA, indicó que los factores que explicaron las diferencias entre los tratamientos fueron la interacción entre rastrojo-cantidad de precipitaciones y rastrojo-momento de precipitación. Sin embargo, a los 25 y 49 DPA hubo interacción rastrojo-momento de precipitación (cuadro 3).

Cuadro 3. P-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 1

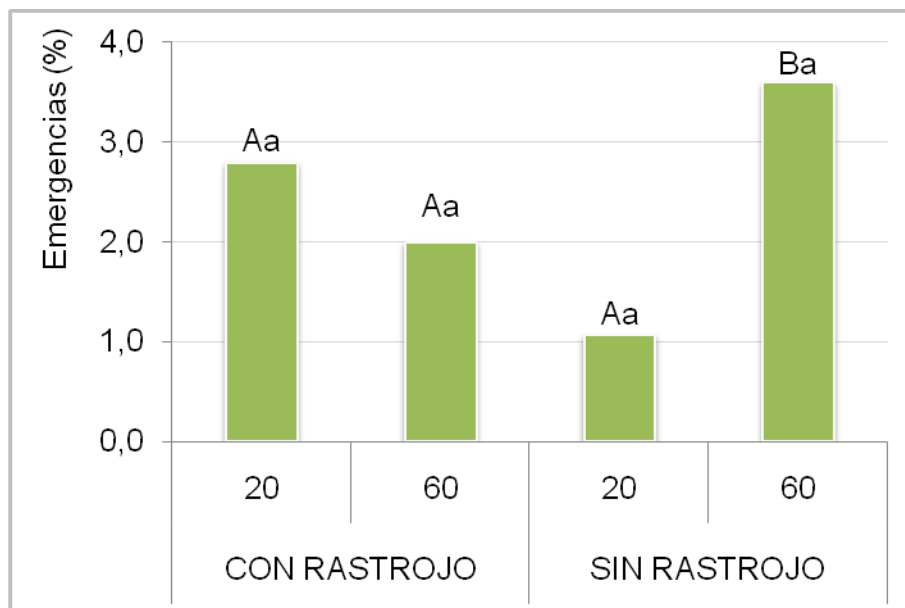
Factores	p - valor		
	11 DPA	25 DPA	49 DPA
Rastrojo	0,920	0,015	0,120
Cantidad de precipitación	0,197	0,891	0,880
Momento de precipitación	0,000	0,068	0,640
Rastrojo-cantidad de precipitación	0,015	0,552	0,062
Rastrojo-momento de precipitación	0,057	0,000	0,041
Cantidad-momento de precipitación	0,635	0,992	0,088
Rastrojo-cantidad-momento de precipitación	0,079	0,397	0,551

11 DPA refiere a la medición del 17/02/2020, 25 DPA a la del 03/03/2020 y 49 DPA al 27/03/2020.

La presencia de rastrojo para cada nivel de precipitaciones no presentó diferencias significativas (figura 1), no así en ausencia del mismo. Mientras que con rastrojo, no importa la cantidad de lluvia, si surgen efectos en los tratamientos sin rastrojo, donde se puede observar que el peor tratamiento es aquel en el que se simuló 60 mm.

Pese a que este herbicida posee muy baja solubilidad y elevado Koc, lo que lo hace resistente a la lixiviación en períodos de elevadas precipitaciones, sin rastrojo y con 60mm, podría existir riesgo de pérdidas, ya que al no presentar ningún tipo de residuo que sea capaz de retenerlo, las pérdidas del herbicida por lavado podrían aumentar, lo que comprometería el control y efectividad del mismo. Por su parte, Alletto et al. (2010), han señalado que la labranza de conservación es ineficiente para controlar la escorrentía cuando las lluvias intensas ocurren rápidamente después de la aplicación de pesticidas. Sin

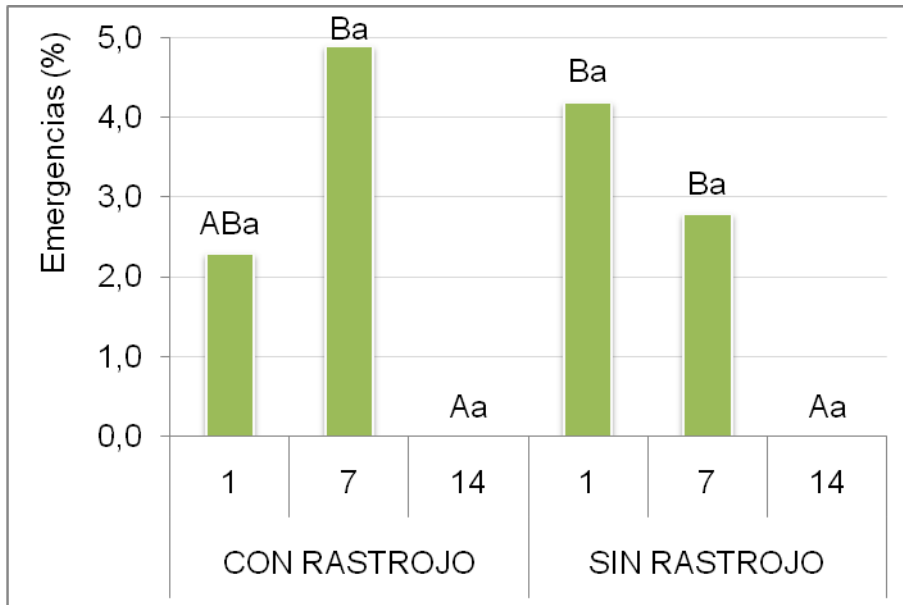
embargo, la ocurrencia de una pequeña lluvia de baja intensidad, unos días después del tratamiento permitirían la incorporación de pesticida dentro del horizonte de la capa superficial del suelo, reduciendo así las pérdidas durante los eventos de escorrentía posteriores. Por esto el mejor comportamiento se da con los 20mm posteriores a la aplicación.



Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitaciones dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas, representan al factor rastrojo dentro de cantidad de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 1. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación

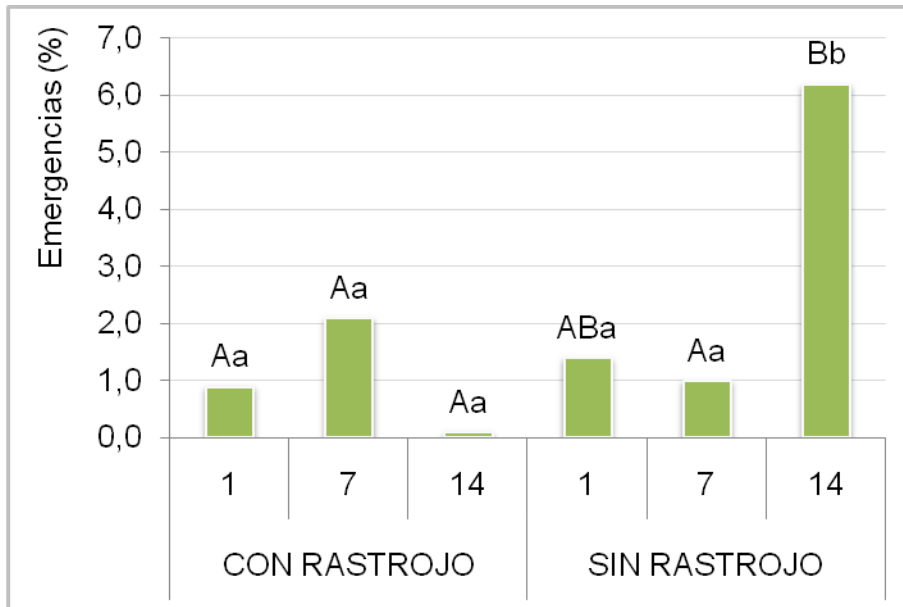
En la medición de 11 DPA, el efecto de la interacción entre los factores rastrojo y momento de precipitaciones no resultó significativo ($p = 0,057$), sin embargo se observa en los tratamientos con rastrojo, una tendencia a la disminución de la eficiencia de control cuando la lluvia se demora en el tiempo. También hay que tener en cuenta que los resultados para 14 DPA, no se pueden analizar ya que el riego en este momento todavía no había ocurrido.



Letras mayúsculas refieren al factor momento de precipitación dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas representan al factor rastrojo dentro de momento de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 2. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones

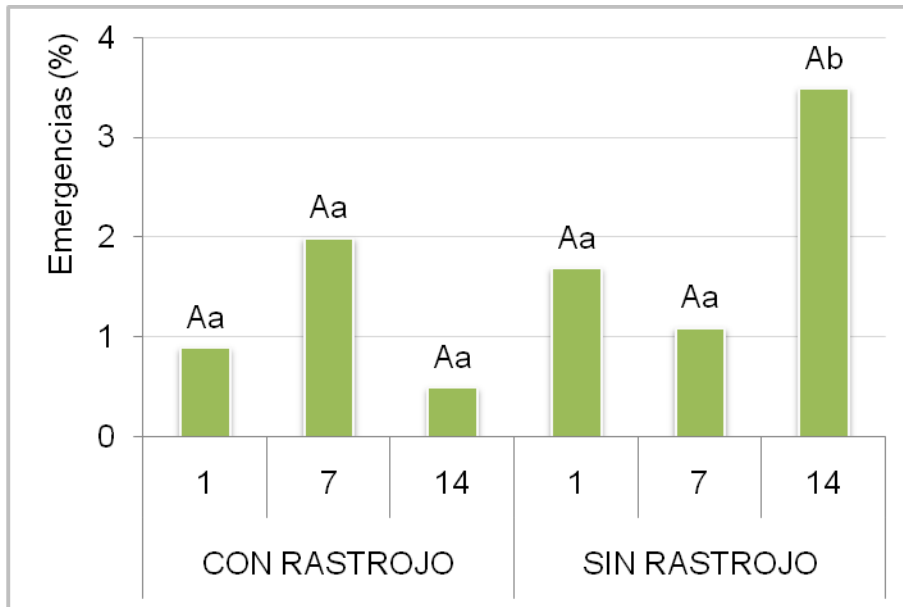
Estas diferencias cambian un poco cuando las cuantificaciones se hacen 25 y 49 DPA (figuras 3 y 4). En ambas fechas, la única diferencia clara se encuentra cuando las precipitaciones ocurren a los 14 DPA, donde la peor situación es sin rastrojo. Esto puede estar dado porque si bien no hubo actividad herbicida, el rastrojo frenó las emergencias de *Amaranthus* spp. lo que sería una supresión directa sobre las malezas por parte del rastrojo. Esta idea fue objeto de estudio de varios autores, entre ellos Oliveira et al. (2001), quienes manifestaron que al tener el suelo cubierto, genera una clara reducción de la densidad de poblaciones de malezas. Esto hace pensar que las precipitaciones, aunque ocurrieron, lo hicieron demasiado tarde como para permitir la incorporación del herbicida al suelo y así generar una eficiencia de control aceptable, ya se había desencadenado el proceso de germinación de las malezas, dada la usencia de rastrojo.



Letras mayúsculas refieren al factor momento de precipitación dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas representan al factor rastrojo dentro de momento de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 3. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 25 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones

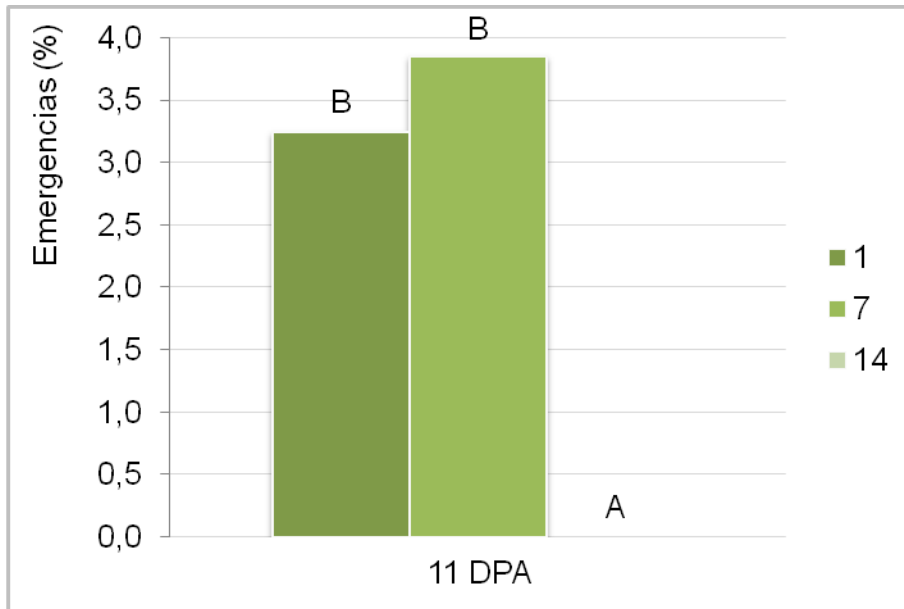
A los 49 DPA, la tendencia se mantiene, ya que el peor tratamiento se registra con precipitaciones a los 14 DPA sin rastrojo, lo que evidencia el efecto supresor del rastrojo sobre las emergencias de *Amaranthus spp.*



Letras mayúsculas refieren al factor momento de precipitación dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas representan al factor rastrojo dentro de momento de precipitaciones. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 4. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones

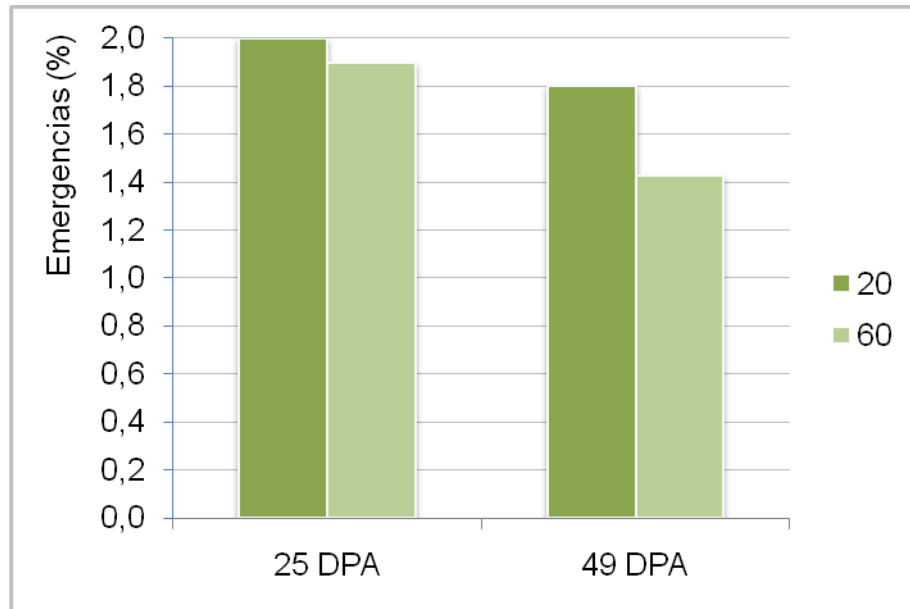
El efecto del momento de la precipitación sobre las emergencias de *Amaranthus spp.* como efecto aislado solo fue significativo a los 11 DPA (figura 5). En donde con precipitaciones más cercanas a la aplicación, peor es la eficiencia de control, siendo mejor a los 14 DPA. Este último resultado, no era esperable, considerando que en ese momento aún no se había generado el riego correspondiente a la precipitación del día 14 para que le herbicida traspasara el rastrojo y se activara el herbicida.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$), comparación es entre cada fecha de evaluación. Las letras comparan momentos de precipitación.

Figura 5. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 11 DPA, según momento de precipitación

El efecto de cantidad de precipitación sobre las emergencias de *Amaranthus spp.* como efecto aislado no fue significativo ni a los 25 ni los 49 DPA (figura 6).



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$), comparación es entre cada fecha de evaluación. Las letras comparan cantidades de precipitación.

Figura 6. Porcentaje de emergencias con aplicación de diflufenican, a los 25 y 49 DPA, según cantidad de precipitación

4.2. EXPERIMENTO 2. S-METOLACLOR

El análisis de varianza de las emergencias cuantificadas a los 11 DPA, reveló que los factores que explican las diferencias entre los tratamientos son la interacción entre rastrojo-cantidad de precipitaciones y la interacción triple a los 11 y 49 DPA, aunque esta no será considerada para el análisis. Solo se analizarán las interacciones dobles significativas (cuadro 4). El momento de aplicación no interaccionó con rastrojo ni con cantidad de precipitación, como factor principal fue significativo a los 11 y 49 DPA.

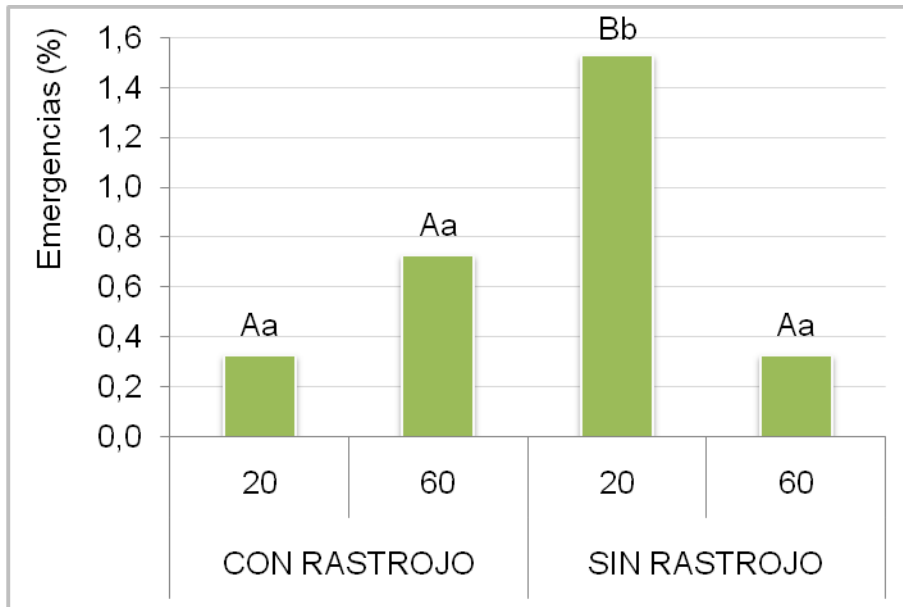
Cuadro 4. P-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 3

Factores	p - valor		
	11 DPA	25 DPA	49 DPA
Rastrojo	0,306	0,428	0,125
Cantidad de precipitación	0,306	0,537	0,238
Momento de precipitación	0,001	0,567	0,015
Rastrojo-cantidad de precipitación	0,044	0,013	0,026
Rastrojo-momento de precipitación	0,576	0,323	0,089
Cantidad-momento de precipitación	0,066	0,219	0,852
Rastrojo-cantidad-momento de precipitación	0,001	0,822	0,001

11 DPA refiere a la medición del 17/02/2020, 25 DPA a la del 03/03/2020 y 49 DPA al 27/03/2020.

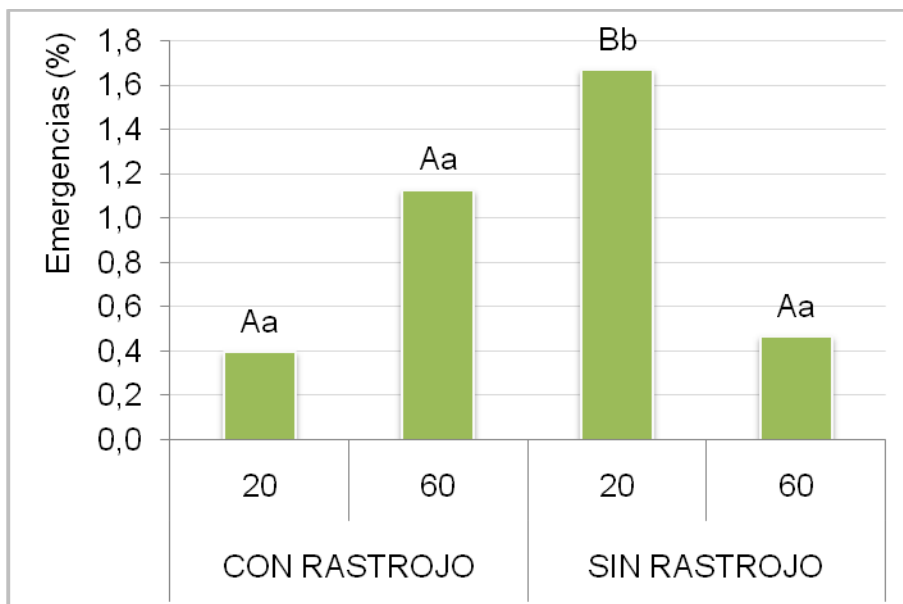
A los 11 DPA, en los tratamientos sin rastrojo, se ve claramente que con 20 mm de precipitación no es suficiente para alcanzar el control más eficiente (figura 7). Mientras que se si compara entre cantidad de precipitación, se pueden encontrar solo diferencias entre 20 mm, donde sin rastrojo las emergencias son mayores, esto corrobora la necesidad de humedad para la actividad del s-metolaclor, pero que en el caso de la presencia de rastrojo éste suprimió las emergencias, tuvo un efecto complementario en este caso. Esta idea, fue mencionada por Perrachón (2011), quien comenta que 20 mm no son suficientes en aquellos tratamientos sin rastrojo, donde la humedad se conserva por menos tiempo por la ausencia de algún tipo de residuo que sea capaz de conservarla.

El comportamiento de esta interacción se mantiene en similar magnitud en la evaluación de los 25 DPA (figura 8).



Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitaciones dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas, representan al factor rastrojo dentro de cantidad de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

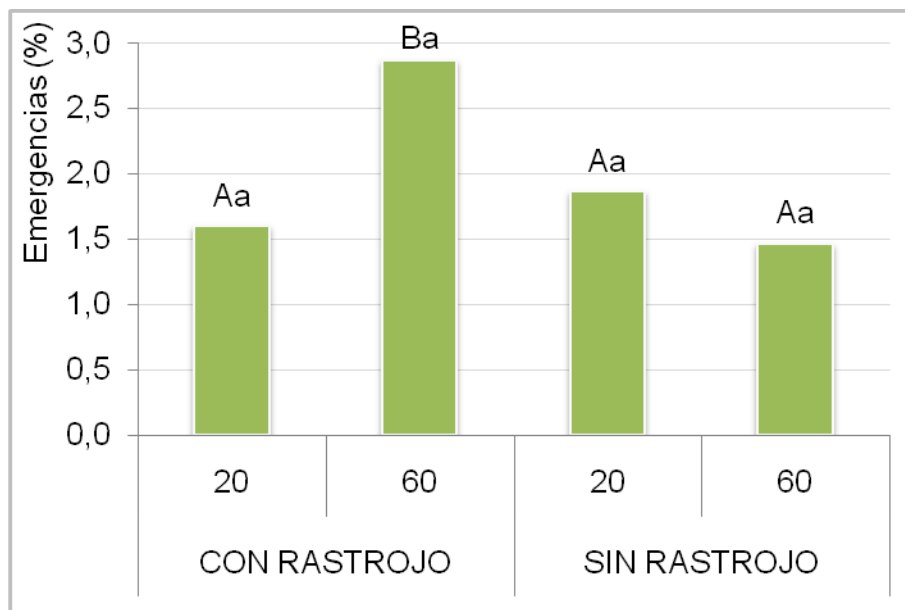
Figura 7. Porcentaje de emergencias con aplicación de s-metolaclor, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación



Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitaciones dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas, representan al factor rastrojo dentro de cantidad de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 8. Porcentaje de emergencias con aplicación de s-metolaclor, a los 25 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación

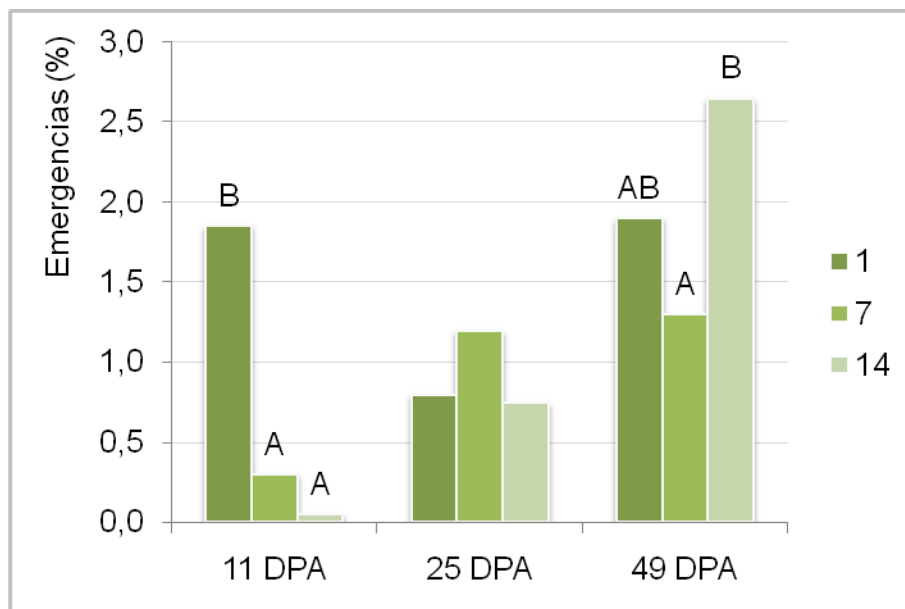
En la última fecha de evaluación, los resultados cambian, ya que dentro de los 2 niveles de cantidad de precipitación no se evidenciaron diferencias. Sin embargo en el orden opuesto surge como peor tratamiento aquel con rastrojo y 60mm (figura 9). Estos resultados son contrarios a lo esperado, si bien se podría esperar que con el correr del tiempo se expresara la inactivación por parte del rastrojo, era esperable que esa expresión fuera mayor en la menor cantidad de precipitaciones. Estudios en s-metolaclor indicaban esa posibilidad, por ejemplo Cañero et al. (2011), quienes estudiaron el comportamiento de s-metolaclor en el suelo y su respuesta al agregado de carbono orgánico, dando como resultado una notoria disminución y retraso de los procesos de lixiviación, dada su naturaleza no iónica. Según estos autores este efecto es debido al aumento de la adsorción de este herbicida en los suelos enmendados. Además según Alletto et al. (2010) el aumento de la sorción es mucho más fuerte con el envejecimiento del rastrojo, aumentando la superficie externa para la absorción de herbicidas y aumenta la relación lignina-celulosa, lo que resulta en un aumento en la sorción.



Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitaciones dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas, representan al factor rastrojo dentro de cantidad de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 9. Porcentaje de emergencias con aplicación de s-metolaclor, a los 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación

El efecto de momento de la precipitación sobre las emergencias de *Amaranthus spp.* como efecto aislado solo fue significativo a los 11 y 49 DPA (figura 10). En la primera medición se da una tendencia a la baja en la eficiencia de control cuando las precipitaciones ocurren cercanas a la aplicación, 1 DPA vs. 7 DPA, ya que en esa fecha no se había generado la lluvia correspondiente al día 14. Este resultado no era esperable, considerando que en ese momento aún no se había generado el riego correspondiente a la precipitación del día 14 para activar el herbicida. Sin embargo en la última medición (49 DPA), en el tratamiento de 14 DPA, aunque el riego predeterminado ya había ocurrido, éste no fue suficiente para generar un control satisfactorio, comparado con el ocurrido a los 7 DPA.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$).

Figura 10. Porcentaje de emergencias con aplicación de s-metolaclor, a los 11, 25 Y 49 DPA según momento de precipitación

4.3. EXPERIMENTO 3. FLUMIOXAZIN

El análisis de varianza de las emergencias post aplicación de flumioxazin, indican que solamente hubo diferencias en la primera evaluación para la interacción rastrojo y momento de precipitación (cuadro 5). En las demás fechas de evaluación los factores de estudio no influyeron sobre la emergencia de la maleza.

Cuadro 5. P-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 3

Factores	p - valor		
	11 DPA	25 DPA	49 DPA
Rastrojo	0.431	0.378	0.340
Cantidad de precipitación	0.003	0.378	0.340
Momento de precipitación	0.040	0.124	0.707
Rastrojo-cantidad de precipitación	0.693	0.540	0.693
Rastrojo-momento de precipitación	0.001	0.149	0.126
Cantidad-momento de precipitación	0.081	0.525	0.627
Rastrojo-cantidad-momento de precipitación	0.001	0.580	0.655

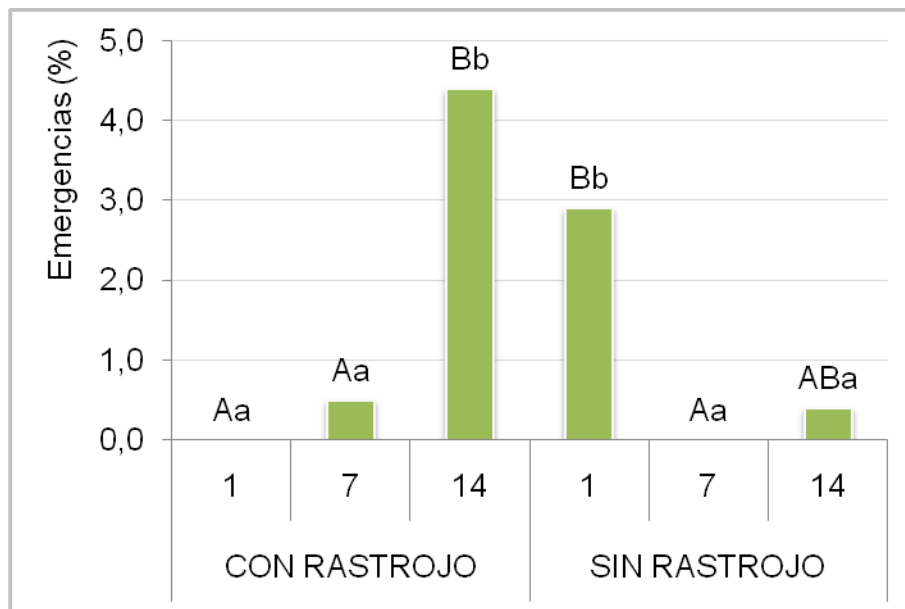
11 DPA refiere a la medición del 17/02/2020, 25 DPA a la del 03/03/2020 y 49 DPA al 27/03/2020.

Al realizar el análisis de la interacción momento de precipitación y rastrojo se puede comprobar que con rastrojo, el tratamiento menos eficiente fue aquel donde la precipitación fue a los 14 DPA, lo que era esperable, considerando que en ese momento aún no se había generado el riego correspondiente. Sin embargo sin rastrojo no sucedió lo mismo. Y no encontrándose una explicación técnica para dicho comportamiento.

Al analizar los resultados dentro de precipitación, las diferencias encontradas para las precipitaciones del día 1 y 14, son esperables para el primero pero inexplicables para la del día 14, ya que si bien aún no se había generado el riego, era esperable que el rastrojo suprimiera las emergencias.

Estos resultados poco contrastantes entre tratamientos (más que nada sin rastrojo), pueden ser causados por las propiedades de este herbicida, las cuales le confieren cierta estabilidad en el suelo, ya que presenta características específicas como un Koc alto y baja solubilidad (cuadro 1). Ambas propiedades le permite mantenerse por un largo tiempo en los primeros centímetros, otorgándole la ventaja de generar una barrera que le permite permanecer adherida a los coloides y la segunda, dado que es muy difícil que la lluvia lave el producto, permite que el mismo permanezca en la superficie (dependiendo de las condiciones) por un tiempo considerable. No obstante, cabe aclarar que las diferencias no son extremas. Un ejemplo de ello es lo que ocurre en los tratamientos sin rastrojo cuando las precipitaciones suceden 1 DPA, el control se hace menos eficiente de que si las mismas se dan 7 DPA. Esto puede ser explicado por el efecto de las lluvias sobre herbicidas pre-emergentes, considerando que el lavado depende del tiempo entre la aplicación y el de las primeras lluvias (teniendo en cuenta también la intensidad de las mismas), y que este tipo de pérdidas, aumenta cuando se producen fuertes

lluvias dentro de las dos semanas siguientes al tratamiento, argumentación similar realizaron Alletto et al. (2010).

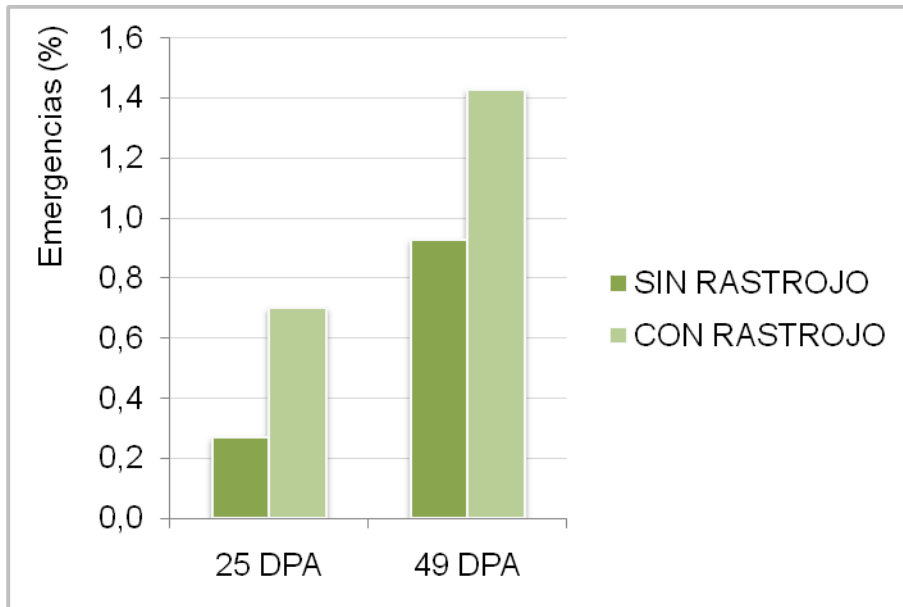


Letras mayúsculas refieren al factor momento de precipitación dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas representan al factor rastrojo dentro de momento de precipitaciones. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 11. Porcentaje de emergencias con aplicación de flumioxazin, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones

A pesar que en las fechas posteriores no hubo efecto de las interacciones entre los factores en estudio en las emergencias de *Amaranthus spp.* se presentan los promedios de emergencias para los 3 factores principales.

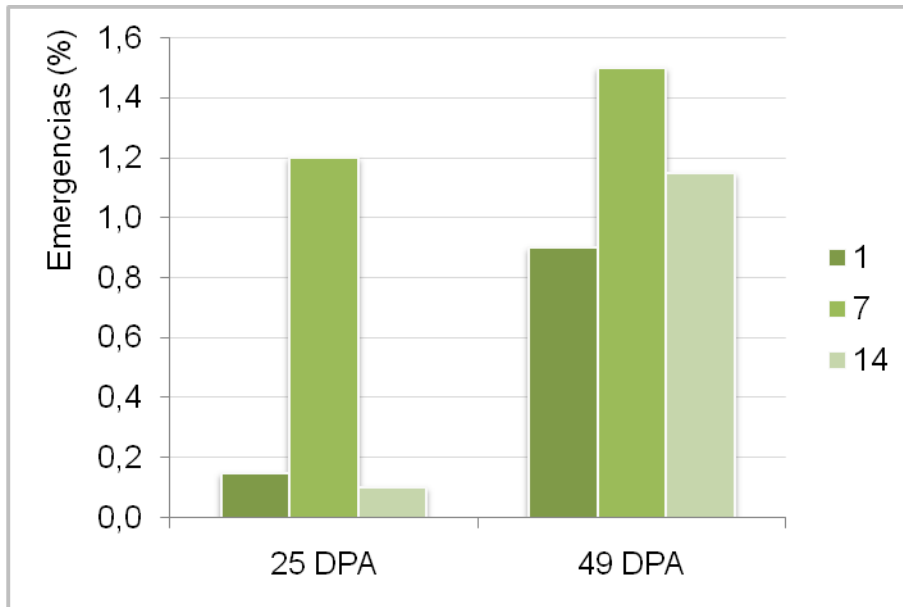
En cuanto al factor principal, rastrojo (figura 12), no evidenció diferencias significativas. A nivel de tendencias, el herbicida parece sufrir algo de inactivación por efecto del rastrojo.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan al factor rastrojo.

Figura 12. Porcentaje de emergencias con aplicación de flumioxazin, a los 25 DPA y 49 DPA según presencia o ausencia de rastrojo

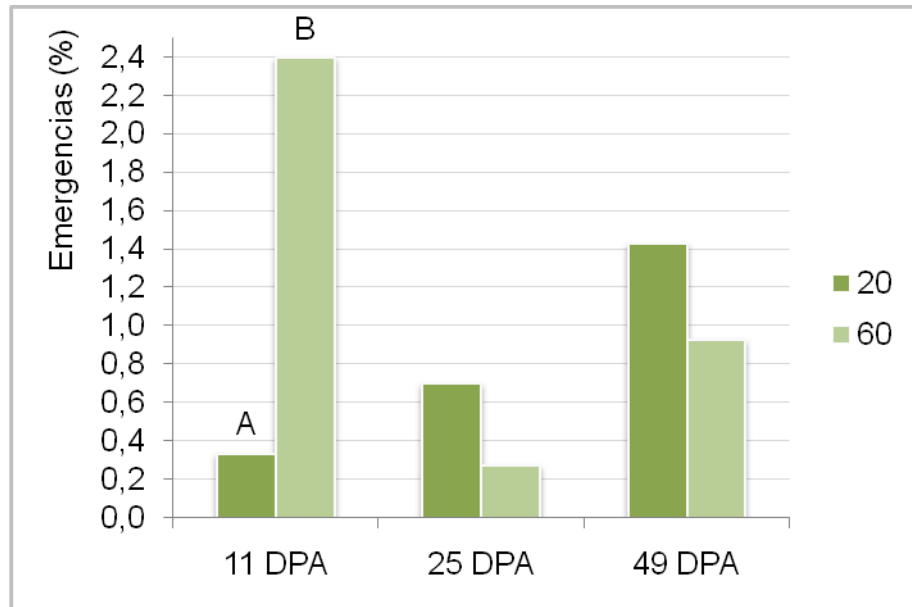
Respecto al momento de lluvia sobre la emergencias no fue significativo para ninguna de las 2 fechas en donde la interacción tampoco fue significativa (figura 13). Las tendencias no eran las esperadas, seguramente explicadas por la gran variabilidad de las unidades experimentales.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan momentos de precipitación.

Figura 13. Porcentaje de emergencias con aplicación de flumioxazin, a los 25 DPA Y 49 DPA según momento de precipitación

Por otra parte, el efecto momento de precipitación sobre las emergencias de *Amaranthus spp.* como efecto aislado solo fue significativo a los 11 (figura 14), en donde el peor tratamiento ocurrió con lluvias de 60 mm.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan cantidad de precipitación.

Figura 14. Porcentaje de emergencias con aplicación de flumioxazin, a los 11 DPA, 25 DPA y 49 DPA según cantidad de precipitación

4.4. EXPERIMENTO 4. METRIBUZIN

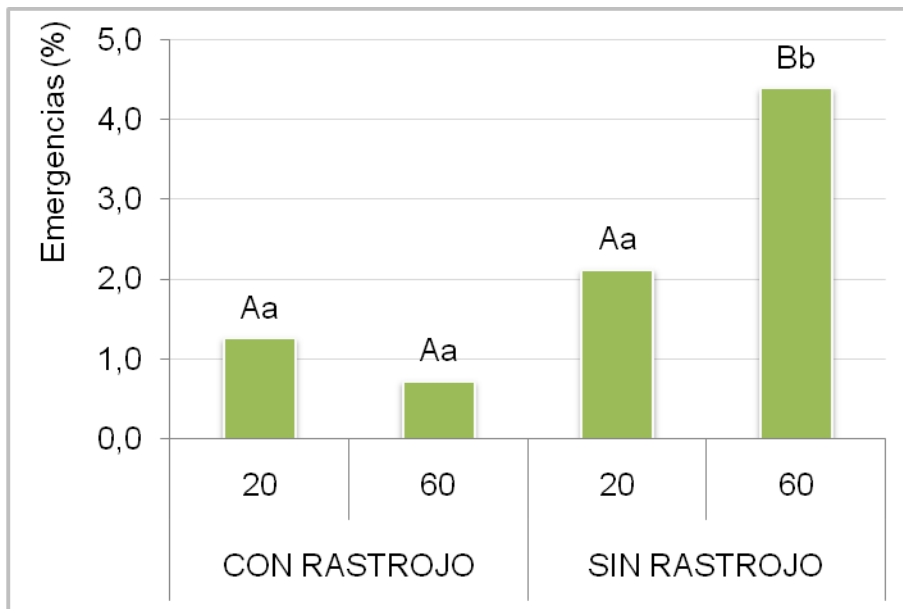
El análisis de varianza de las emergencias para este herbicida indicó que a los 11 DPA los factores que causaron diferencias entre los tratamientos fueron todas las interacciones dobles (rastrajo-cantidad de precipitación, rastrajo-momento de precipitación y momento-cantidad), sin embargo para las cuantificaciones de 25 y 49 DPA fue significativa la interacción triple rastrajo-momento-cantidad de precipitación (cuadro 6).

Cuadro 6. P-valor del análisis de varianza de los factores de estudio del experimento 4

Factores	p - valor		
	11 DPA	25 DPA	49 DPA
Rastrojo	0,000	0,022	0,199
Cantidad de precipitación	0,092	1,000	0,439
Momento de precipitación	0,000	0,087	0,285
Rastrojo-cantidad de precipitación	0,008	0,297	0,125
Rastrojo-momento de precipitación	0,000	0,539	0,133
Cantidad-momento de precipitación	0,009	0,164	0,251
Rastrojo-cantidad-momento de precipitación	0,065	0,007	0,004

11 DPA refiere a la medición del 17/02/2020, 25 DPA a la del 03/03/2020 y 49 DPA al 27/03/2020.

Sin rastrojo, se puede notar que el tratamiento menos eficiente fue aquel realizado con 60 mm (figura 15), con rastrojo no se encontró diferencias significativas según cantidad de precipitación. En cambio al analizar dentro de precipitación, en los 60 mm, el peor tratamiento ocurre sin rastrojo. Estos resultados son bastante esperables, dado que este herbicida presenta el valor más bajo de Koc (menor retención tanto por residuos como por materia orgánica, y se clasifica como un herbicida hidrofílico), además de presentar una alta solubilidad lo que genera que se adsorba con baja afinidad al suelo. Ambas características generan que este tipo de productos sean fácilmente transportados del lugar de aplicación por una fuerte lluvia o riego hasta los cuerpos de agua superficial y/o subterránea (SEMARNAT. INECC, 2015). Esta información hace pensar que aquellos tratamientos con 60 mm sufrieron lixiviación, y esto determinó un menor control de la maleza.

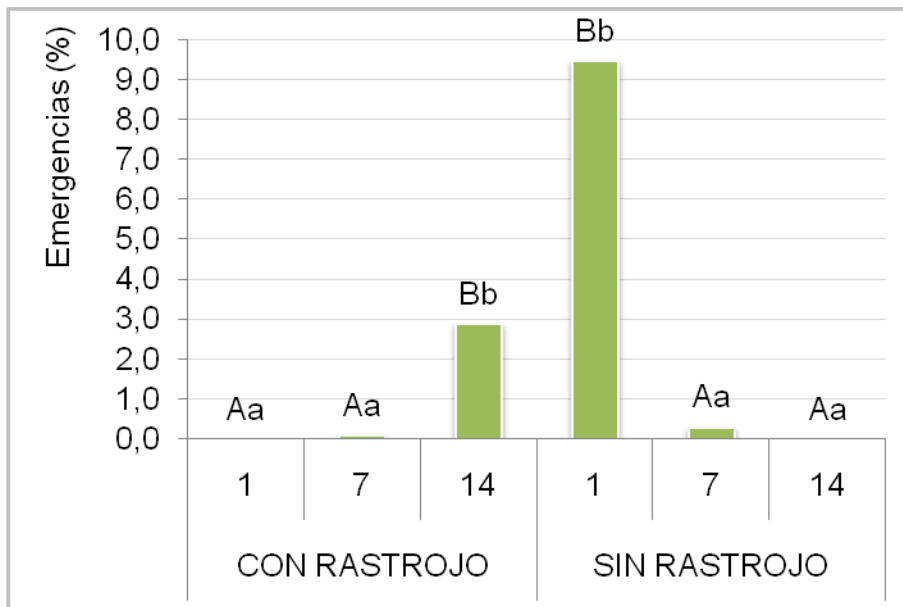


Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitaciones dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas, representan al factor rastrojo dentro de cantidad de precipitación. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 15. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y cantidad de precipitación

Al estudiar el factor momento de precipitación dentro de rastrojo, se encontró diferencias. Con rastrojo, las mayores emergencias respondieron a que aún no se había generado el riego, el herbicida no se había activado. Sin embargo sin rastrojo las mayores emergencias se dieron en el tratamiento donde las precipitaciones fueron al día siguiente a la aplicación. Estos resultados remarcan la incidencia de las características del herbicida en el comportamiento. Considerando que el herbicida presenta bajo Koc y alta solubilidad en agua (cuadro 1) y aunque como todo pre-emergente necesita de lluvia para llegar al suelo, el riesgo de pérdida aumenta cuando éstas ocurren muy cercanas a la aplicación.

En cuanto a aquellos tratamientos con precipitaciones a los 14 DPA con rastrojo surgen, al igual que con el herbicida flumioxazin, la hipótesis de que la degradación del herbicida desde el rastrojo pudo haber sido mayor. Es importante recordar que este herbicida también se clasifica con una vida media corta de 12 días y que además su degradación microbiana es alta (Panaggio, 2019).

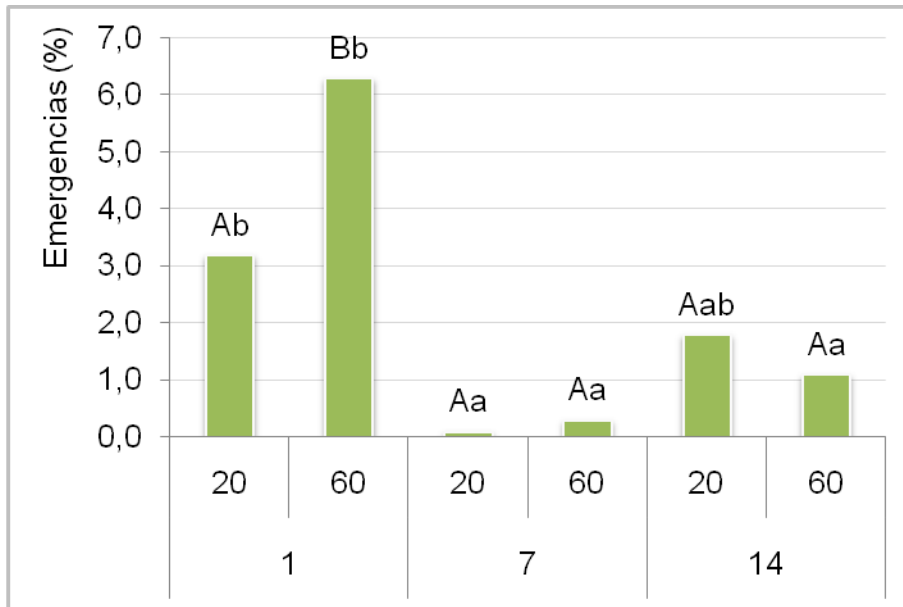


Letras mayúsculas refieren al factor momento de precipitación dentro del factor rastrojo, mientras que las letras minúsculas representan al factor rastrojo dentro de momento de precipitaciones. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 16. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, a los 11 DPA en presencia o ausencia de rastrojo y momento de precipitaciones

El análisis de la interacción momento de precipitación y cantidad de la misma, identifica que cuando la lluvia ocurre al día siguiente a la aplicación, quizás los 60 mm hayan generado lixiviación, porque se dan las mayores emergencias. Esto como fuera comentado anteriormente es concordante con las características del herbicida, Koc y solubilidad en agua. Según Alletto et al. (2010) el lavado de un herbicida depende del tiempo entre la aplicación y el momento y la intensidad de la primera lluvia, por esto es que el riesgo por este tipo de pérdidas aumenta cuando se dan precipitaciones más intensas en momentos más cercanos a la aplicación del herbicida, causando el menor control de los tratamientos señalados.

Al invertir el orden del análisis, con 20 mm el tratamiento las mayores emergencias se constataron cuando la lluvia fue al día siguiente de la aplicación. No obstante con 60 mm, las diferencias son más contrastantes y en dichos tratamientos el control es claramente menor si estas ocurren 1 DPA. Esto concuerda con lo comentado anteriormente para este herbicida.

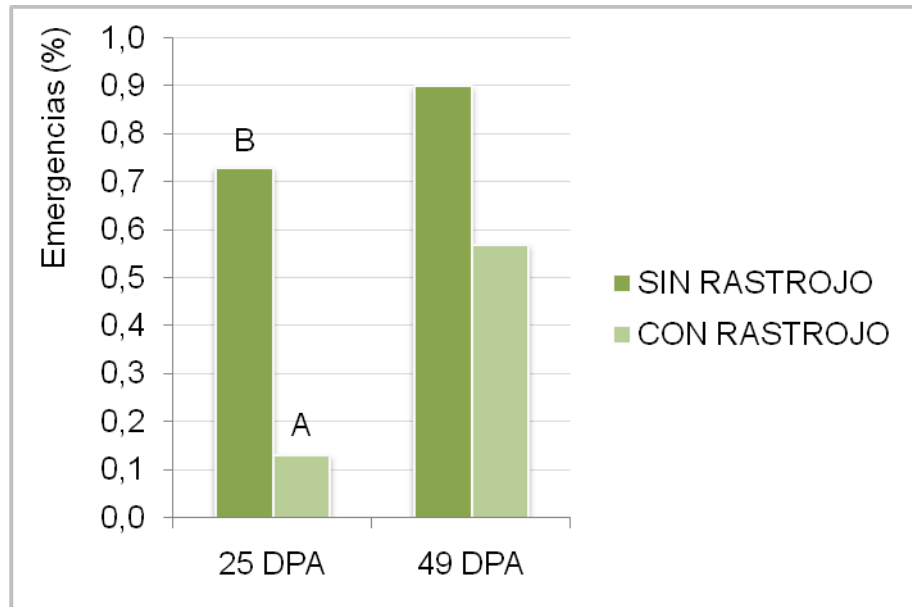


Letras mayúsculas refieren al factor cantidad de precipitación dentro del factor momento de precipitación, mientras que las letras minúsculas representan al factor momento de precipitaciones dentro de cantidad de la misma. Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Figura 17. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, según cantidad y momento de precipitaciones cuantificadas a los 11 DPA

A pesar que en las fechas posteriores no hubo efecto significativo entre las interacciones de los factores en estudio en las emergencias de *Amaranthus spp.* se presentan los promedios de emergencias para los 3 factores principales.

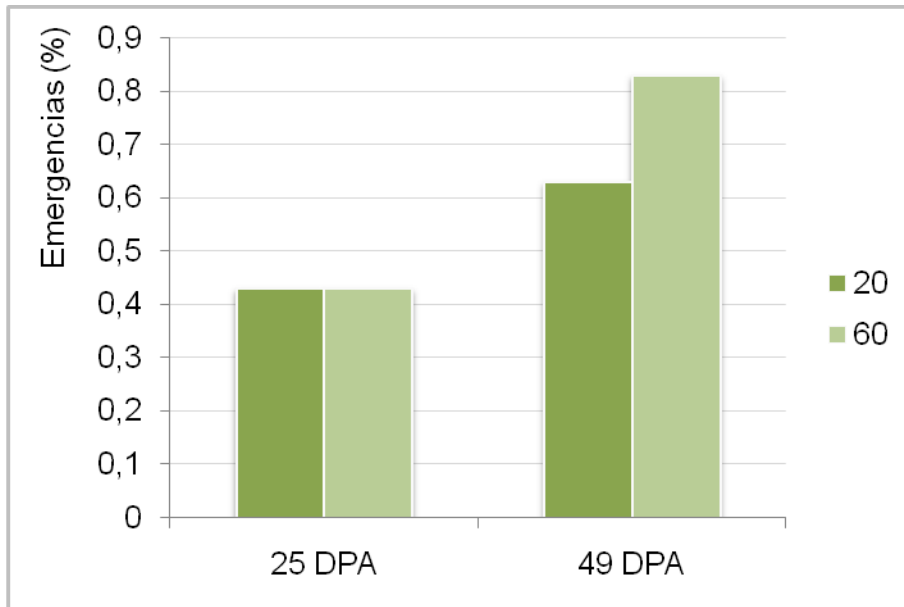
El efecto del rastreo sobre las emergencias de *Amaranthus spp.* como efecto aislado solo fue significativo a los 25 DPA (figura 18), obviamente con resultados esperables, en donde las emergencias son mayores en aquellos tratamientos sin rastreo.



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan al factor rastrojo.

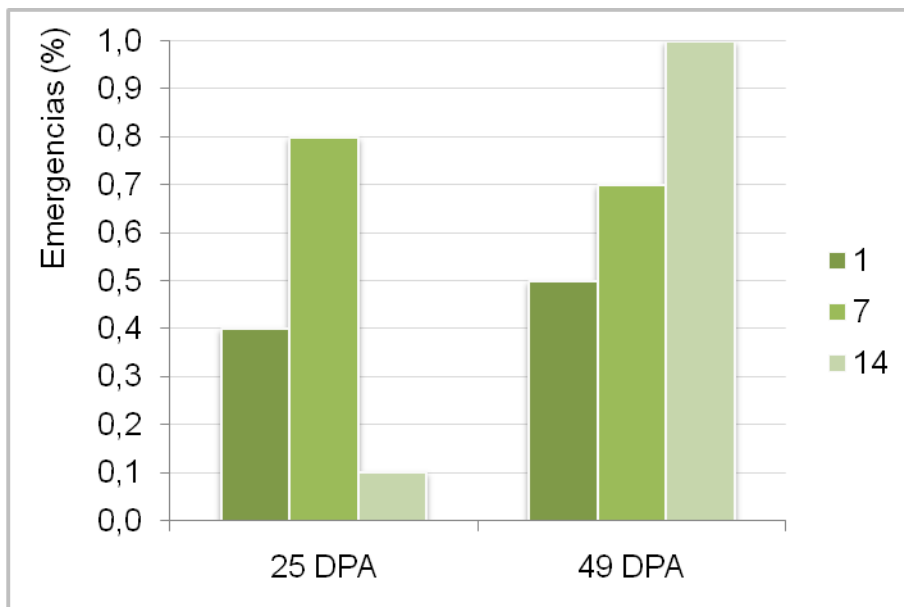
Figura 18. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, a los 25 DPA Y 49 DPA en presencia o ausencia de rastrojo

En cuanto a los efectos aislados de cantidad y momento de lluvia sobre la emergencias no fueron significativos para ninguna de las 2 fechas en donde la interacción tampoco fue significativa (figuras 19 y 20).



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan cantidad de precipitación.

Figura 19. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, a los 25 DPA Y 49 DPA según cantidad de precipitación



Medias con la misma letra no difieren significativamente entre sí en la comparación dentro de fecha de evaluación ($p > 0,05$). Letras comparan momentos de precipitación.

Figura 20. Porcentaje de emergencias con aplicación de metribuzin, a los 25 DPA Y 49 DPA según momento de precipitación

5. CONCLUSIONES

Los efectos de los diferentes factores evaluados y sus interacciones en la emergencia de *Amaranthus spp.* fueron variables según el herbicida

En diflufenican, inicialmente la ausencia de rastrojo determinó que precipitaciones de 60 mm disminuyeran la efectividad del mismo. También la efectividad disminuyó para precipitaciones 14 días post aplicación en ausencia de rastrojo.

Para s-metolaclor lluvias de 20 mm no fueron suficientes para que el herbicida lograra un control eficiente en las primeras evaluaciones. En fechas más tardías se comprobó una inactivación por parte del rastrojo, aunque sin un claro efecto de la cantidad de precipitaciones.

En flumioxazin los efectos se apreciaron a los 11 DPA, donde en presencia de rastrojo y ausencia de lluvias, la efectividad disminuyó. La precipitación próxima a la aplicación en ausencia de rastrojo generó menores efectividades.

En cuanto al herbicida metribuzin, precipitaciones muy tempranas en ausencia de rastrojo generó un menor control de la maleza. Por el contrario, cuando las lluvias no ocurrieron hasta los 14 DPA, el rastrojo interfirió en la eficiencia del herbicida. Cuando la lluvia ocurrió temprano y en cantidad de 60 mm, la eficiencia del control disminuyó a más de la mitad.

6. RESUMEN

Amaranthus spp. es una de las malezas más agresivas, dada su capacidad de producir gran cantidad de semillas, ciclo prolongado, resistente a varios herbicidas, elevada tasa de crecimiento, diseminación y gran adaptabilidad a ambientes adversos, generando rápidas infestaciones, lo que puede provocar grandes reducciones en los rendimientos de los cultivos con los que interfiere. Desde el año 2015 se han constatado en Uruguay grandes infestaciones de esta maleza, cuyas poblaciones han demostrado tolerar herbicidas como glifosato e inhibidores de la ALS. Por esto resulta de vital importancia implementar estrategias de control de tipo integrado que combine efectivamente medidas con el control cultural, lo que requiere conocer características de la biología de la especie en adaptación a los ambientes que invade. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la presencia de rastrojo, la cantidad de precipitaciones y el momento de ocurrencia de las mismas en la efectividad de los herbicidas diflufenican, flumioxazin, metolaclo y metribuzin en el control de *Amaranthus spp.* A tales efectos, se realizaron 4 experimentos en invernáculo de EEMAC, en el 1 se evaluaron los efectos del rastrojo, momento y cantidad de precipitaciones sobre el porcentaje de emergencias tratados con diflufenican, en el 2 con s-metolaclo, el 3 con flumioxazin y en el 4 con metribuzin. El diseño experimental utilizado en todos los experimentos correspondió a un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial, con 5 repeticiones por tratamiento fueron 5. En el experimento 1, en ausencia de rastrojo, la efectividad del control disminuye con cantidades mayores de precipitación (60mm). Además, en fechas tardías los tratamientos que generaron diferencias fueron con lluvias ocurridas a los 14 DPA, también en contra de aquellos en ausencia de rastrojo. En el experimento 2, lluvias de 20 mm no son suficientes para lograr un control eficiente temprano. Por el contrario, en fechas más tardías, los peores controles se dan con elevadas cantidades de lluvia (60mm). Sin embargo, en base a la bibliografía, era esperable que esa expresión fuera mayor en la menor cantidad de precipitaciones. En el experimento 3, se evidenció resultados poco contrastantes entre tratamientos, causados posiblemente por sus propiedades fisicoquímicas (Koc alto y baja solubilidad). Las diferencias solo se vieron en la primera fecha de medición, en presencia de rastrojo la efectividad disminuye con lluvias ocurridas a los 14 DPA, resultado esperable ya que en ese momento, el riego aun no había ocurrido. Con precipitaciones cercanas a la aplicación del herbicida se generan problemas de pérdidas de producto en ausencia de rastrojo. Las diferencias encontradas para las precipitaciones del día 1 y 14, son esperables para el primero pero inexplicables para el segundo, ya que se esperaba que por lo menos el rastrojo suprimiera las emergencias.

Para el experimento 4, dado el bajo Koc y alta solubilidad de este herbicida, con mayores precipitaciones (60 mm), existe un mayor riesgo de pérdida del producto. Precipitaciones muy tempranas son problemáticas en situaciones sin rastrojo, por el contrario lluvias más tardías generan una merma en el control en presencia de rastrojo. La eficiencia del control disminuye a más de la mitad cuando la lluvia ocurre temprano y con una cantidad mayor (60 mm). Aunque con 20 mm este riesgo de pérdida de eficiencia se disipa, también existe una mejora en la misma cuando las precipitaciones ocurren 7 DPA.

Palabras clave: *Amaranthus spp*; Herbicidas; Rastrojo; Precipitaciones.

7. SUMMARY

Amaranthus spp. Is one of the most aggressive weeds, given its ability to produce large amounts of seeds, long cycle, resistant to various herbicides, high growth rate, dissemination and great adaptability to adverse environments, generating rapid infestations, which can cause large reductions in the yields of the crops with which it interferes. Since 2015, large infestations of this weed have been found in Uruguay, whose populations have been shown to tolerate herbicides such as glyphosate and ALS inhibitors. For this reason, it is vitally important to implement integrated control strategies that effectively combine measures with cultural control, which requires knowing characteristics of the biology of the species in adaptation to the environments it invades. The present work aimed to evaluate the effect of the presence of stubble, the amount of rainfall and the time of its occurrence on the effectiveness of the herbicides diflufenican, flumioxazin, metolachlor and metribuzin in the control of *Amaranthus spp.* To this end, 4 experiments were carried out in the EEMAC greenhouse, in 1 the effects of stubble, timing and amount of rainfall were evaluated on the percentage of emergencies treated with diflufenican, in 2 with s-metolachlor, 3 with flumioxazin and in the 4 with metribuzin. The experimental design used in all the experiments corresponded to a completely randomized design (DCA), with factorial arrangement; with 5 repetitions per treatment were 5. In experiment 1, in the absence of stubble, the effectiveness of the control decreases with higher amounts of precipitation (60mm). In addition, in late dates the treatments that generated differences were with rains that occurred at 14 DPA, also against those in the absence of stubble. In experiment 2, showers of 20 mm are not enough to achieve an efficient early control. On the contrary, at later dates, the worst controls occur with high amounts of rain (60mm). However, based on the bibliography, it was expected that this expression would be higher in the lower amount of rainfall. In experiment 3, little contrasting results were observed between treatments, possibly caused by their physicochemical properties (high Koc and low solubility). The differences were only seen on the first measurement date, in the presence of stubble, the effectiveness decreases with rains that occurred at 14 DPA, an expected result since at that time, irrigation had not yet occurred. With rainfall close to the application of the herbicide, problems of product losses are generated in the absence of stubble. The differences found for rainfall on day 1 and 14 are expected for the first but inexplicable for the second, since it was expected that at least the stubble would suppress emergencies. For experiment 4, given the low Koc and high solubility of this herbicide, with higher rainfall (60 mm), there is a greater risk of product loss. Very early rainfall is problematic in situations without stubble; on the contrary, later rains generate a reduction in the control in

the presence of stubble. Control efficiency drops to more than half when rainfall occurs early and with a greater amount (60mm). Although with 20 mm this risk of efficiency loss dissipates, there is also an improvement in it when rainfall occurs 7 DPA.

Keywords: *Amaranthus spp*; Herbicides; Stubble; Rainfall.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alletto, L.; Coquet, Y.; Benoit, P.; Heddadj, D.; Barriuso, E. 2010. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30:367-400.
2. Almeida, F. 1988. Alelopatia e as plantas. Londrina, Brasil. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. 60 p.
3. Álvarez, E.; De Vries, J.; Long, A. 2017. Evaluación de estrategias para el control químico de *Amaranthus palmeri* s. wats en pre emergencia de soja. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
4. Antúnez, P. 2017. Una nueva maleza resistente preocupa al sector agrícola. (en línea). *El País*, Montevideo, UY, feb. 23:s.p. Consultado 17 abr. 2020. Disponible en <https://negocios.elpais.com.uy/rurales/nueva-maleza-resistente-preocupa-sector-agricola.html>
5. _____. 2020. El avance de las malezas complicando la zafra de soja. (en línea). *El País*, Montevideo, UY, ene. 08:s.p. Consultado 13 ago. 2020. Disponible en <https://rurales.elpais.com.uy/agricultura/el-avance-de-las-malezas-complicando-la-zafra-de-soja>
6. Baigorria, T.; Cazorla, C.; Santos Sbuscio, D.; Aimetta, B.; Belluccini, P. 2012. Efecto de triticale (*x Triticosecale Wittman*) rolado como cultivo de cobertura en la supresión de malezas, rendimiento y margen bruto de soja. *In*: Jornada de actualización de Soja (2012, Marcos Juárez). Trabajos presentados. Marcos Juárez, INTA. s.p.
7. Baker, C.; Saxton, K.; Ritchie, W.; Chamen, W.; Reicosky, D.; Ribeiro, M.; Justice, S.; Hobbs, P. 2008. Los «¿qué?» y los «¿por qué?» de la agricultura con labranza cero. *In*: Baker, C.; Saxton, K. eds. Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación. Roma, FAO. pp. 1-12.
8. Banks, P.; Robinson, E. 1982. The influence of straw mulch on the soil reception and persistence of metribuzin. *Weed Science*. 30(2):164-168.

9. Bedos, C.; Cellier, P.; Calvet, R.; Barriuso, E.; Gabrielle, B. 2002. Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 22(1):21-33.
10. Bernoux, M.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E.; Neto, M.; Metay, A.; Perrin, A.; Scopel, E.; Razafimbelo, T.; Blavet, D.; Piccolo, M.; Pavei, M.; Milne, E. 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil: a review. (en línea). *Agronomy for Sustainable Development*. 26(1):1-8. Consultado 16 oct. 2020. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/41572491_Cropping_Systems_Carbon_Sequestration_and_Erosion_in_Brazil_A_Review
11. Bouchard, D.; Lavy, T.; Marx, D. 1982. Fate of metribuzin, metolachlor, and fluometuron in soil. *Weed Science*. 30(6):629-632.
12. Cañero, I.; Cox, L.; Hermosín, M.; Cornejo, J. 2011. Efecto de la adición de un residuo orgánico a suelos agrícolas en el comportamiento de los herbicidas bentazona y s-metolaclo. In: Simposio Científico-Técnico del Aceite de Oliva (15^o, 2011, Andalucía). Trabajos presentados. Sevilla, IRNAS. s.p.
13. Carbonari, C. 2009. Efeito da palha na disponibilidade do herbicida amicarbazone na solução do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. Tesis Ing. Altos del Paraíso, Brasil. UNESP. Faculdade Ciências Agrônômicas. 101 p.
14. Cassigneul, A.; Alletto, L.; Benoit, P.; Bergheaud, V.; Etiévant, V.; Dumény, V.; Le Gac, AL.; Chuette, D.; Rumpel, C.; Justes, E. 2015. Nature and decomposition degree of cover crops influence pesticide sorption: quantification and modelling. *Chemosphere*. 119:1007-1014.
15. Chiacchiera, S.; Ioele, J.; Pagnan, F.; Errasquin, L.; Andreucci, A.; Bollatti, P.; Distéfano, S.; Belluccini, P. 2017. Por el lote. (en línea). INTA. Boletín informativo de cultivos. no. 1. 3 p. Consultado 9 jun. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_porellote_1_2017.pdf
16. Christoffoleti, P.; Ovejero, R. 2005. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. São Paulo, s.e. 49 p.

17. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, COL). 1981. Guía de estudio: factores que condicionan la eficacia de los herbicidas. 2ª. ed. Cali, Editorial XYZ. 20 p.
18. Correia, N.; Durigan, J.; Klink, U. 2007. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da soja. *Bragantia*. 66(1):111-120.
19. Costa, A.; Maciel, C.; Velini, E.; Ikeda, F. 2004. Dinâmica de transposição de herbicida através de palha de aveia-preta utilizando diferentes pontas de pulverização. *Planta Daninha*. 22(4):561-566.
20. de la Fuente, E.; Suárez, S.; Ghersa, C. 2006. Soybean weed community composition and richness between 1995 and 2003 in the Rolling Pampas (Argentina). *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115(1):229-236.
21. _____. 2016. Malezas del género *amaranthus* en el cultivo de soja. (en línea). San José, Costa Rica. Croplife Latin America. s.p. Consultado 16 abr. 2020. Disponible en <https://www.croplife.org/es/plagas/listado-de-plagas/amaranthus>
22. Espinoza, N.; Rodríguez, C.; Contreras, G. 2011. Selección y uso adecuado de herbicidas pre-emergentes en cultivos de la zona centro Sur y Sur de Chile. *Revista INIA*. no. 46:s.p.
23. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). 1997. El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. (en línea). In: Sánchez, A.; Berti, M.; Izquierdo, J. eds. *Cultivos andinos*. Roma. s.p. Consultado 13 abr. 2020. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/seg_alim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap2.htm
24. Ferber, C. 2016. Efecto de distintas coberturas invernales en la dinámica del enmalezamiento. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
25. Fernández, G.; García, A. 2018. Aportes a la identificación y el manejo de biotipos de yuyo colorado resistentes a herbicidas presentes en el país. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 12 ago.

2020. Disponible en http://mto.org.uy/wp-content/uploads/Comunicado-MTO-Amaranthus_29.10.2018.pdf

26. Fornarolli, D.; Rodrigues, B.; Lima, J.; Valério, M. 1998. Influência da cobertura morta no comportamento do herbicida atrazine. *Planta Daninha*. 16(2):97-107.
27. García, F. 1998. Fundamentos de la siembra directa y su utilización en Uruguay. In: Curso de Actualización sobre Siembra Directa (1998, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
28. Giori, F.; Tornisielo, V.; Regitano, J. 2014. The role of sugarcane residues in the sorption and leaching of herbicides in two tropical soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 225(1935):1-9.
29. Godoy, M.; Meschede, D.; Carbonari, C.; Correia, M.; Velini, E. 2007. Efeito da cobertura morta de milheto (*Pennisetum americanum*) sobre a eficácia do herbicida metribuzin no controle de *Ipomoea grandifolia* e *Sida rhombifolia*. *Planta Daninha*. 25(1):79-86.
30. Hartzler, B. 2002. Absorption of Soil applied Herbicides. (en línea). Ames, USA, LSU. s.p. Consultado 25 jul. 2020. Disponible en <http://extension.agron.iastate.edu/weeds/mgmt/2002/soilabsorption.htm>
31. HRAC (Herbicide Resistance Action Committee, DE). 2020. Classification of herbicides according to site of action. (en línea). Frankfurt. s.p. Consultado 20 oct. 2020. Disponible en https://hracglobal.com/files/HRAC_Revised_MOA_Classification_Herbicides_Poster.png
32. IBODA (Instituto de Botánica Darwinion, AR). 2015. Flora del cono Sur: catálogo de plantas vasculares. (en línea). Buenos Aires, Argentina, CONICET/ANCEFN. s.p. Consultado 5 ago. 2020. Disponible <http://www.darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/Generos.asp>
33. INASE (Instituto Nacional de Semillas, UY). 2019. Buenas prácticas agrícolas: semillas de calidad. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 13 ago. 2020. Disponible en <https://twitter.com/MGAPUruguay/status/1108837247887892481/photo/2>

34. INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, UY). 2018. Cultivos de servicio, cultivos de cobertura, puentes verdes ¿es todo lo mismo? Revista INIA. no. 52:44-47.
35. Insuagro, AR. 2019. Metribuzin. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 7 set. 2020. Disponible en <http://www.insuagro.com.ar/images/pdf/productos/metribuzin.pdf>
36. Levien, R.; Cogo, N.; Rothenbach, C. 1990. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 14(1):73-80.
37. Locke, M.; Bryson, C. 1997. Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. Weed Science. 45(2):307-320.
38. Martins, D.; Gonçalves, C.; da Silva, A. 2016. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. Ciência Agronômica. 47(4):649-657.
39. Mazzoncini, M.; Lorenzi, R.; Risaliti, R.; Sorce, C.; Ginanni, M.; Curadi, M.; Pini, R. 1998. Diclofop-methyl dissipation in clay soil under different tillage systems in central Italy. Soil and Tillage Research. 46(3-4):241-250.
40. Metzler, M.; Papa, J. 2015. Alerta: *Amaranthus palmeri* S. Watson en el Sur de Entre Ríos. (en línea). Entre Ríos, Argentina. INTA. 13 p. Consultado 16 abr. 2020. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-amaranthus_palmeri_s-watson-biologa_y_manejo.pdf
41. MGAP. DGSSAA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Agrícolas, UY). 2019. Importaciones de fitosanitarios. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 abr. 2020. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/importaciones-productos-fitosanitarios>
42. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigación Estadística Agropecuaria, UY). 2018. Encuesta agrícola “primavera 2017”. 25 p. (Serie Encuestas no. 349).

43. _____.2020. Encuesta agrícola “invierno 2020”. 23 p. (Serie Encuestas no. 362).
44. Oliveira, M.; Costa, R.; de Oliveira, A.; Cruz, A. 2001. Efeito da palha e da mistura atrazine e metolachlor no controle de plantas daninhas na cultura do milho, em sistema de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 36(1):37-41.
45. _____.; Brighenti, A. 2011. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira, M.; Constantin, J. eds. Biología e manejo de plantas daninhas. Curubita, Omnipax. v.1, pp. 263-304.
46. Olson, B.; Regehr, D.; Janssen, K.; Barnes, P. 1998. Tillage system effects on atrazine loss in surface water runoff. Weed Technology. 12(4):646-651.
47. Panaggio, H. 2019. Residualidad y acumulación de herbicidas en el suelo. In: Jornada de Manejo de Malezas (2019, Balcarce). Memorias. Mar del Plata, Universidad de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. 55 diapositivas.
48. Peigné, J.; Ball, B.; Roger-Estrade, J.; David, C. 2007. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. Soil Use and Management. 23(2):129-144.
49. Perrachón, J. 2011. Siembra directa en Uruguay: algunos mitos muy arraigados en el ámbito agropecuario. Revista del Plan Agropecuario. no. 139:42-45.
50. Proquimur, UY. 2019a. Boydal FE. (en línea). Canelones. s.p. Consultado 7 set. 2020. Disponible en <https://proquimur.com.uy/productos/boydal-fe/>
51. _____. 2019b. S-metolachlor. (en línea). Canelones. s.p. Consultado 4 set. 2020. Disponible en <https://proquimur.com.uy/productos/s-metolachlor-proquimur/>
52. Rainbow, UY. 2019. Uso de s-metolachlor. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 4 set. 2020. Disponible en <https://www.rainbowconosur.com/uy/detalle-de-uso-de-s-metolachlor-137>

53. Rossi, C. 2004. Dinâmica e eficácia no controle de plantas daninhas pelo herbicida metribuzin aplicado sobre palha de cana-de-açúcar. Tesis Ing. Botucatu, Brasil. UEP. Faculdade de Ciências Agrônômicas. 95 p.
54. SEMARNAT. INECC (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto de Ecología y Cambio Climático, MX). 2015. Características físico químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente. (en línea). s.l. s.p. Consultado 11 feb. 2021 Disponible en http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/descargas/caracteristicas_fyq_plaguicidas.pdf
55. Silva, P.; Monquero, P. 2013. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. Revista Brasileira de Herbicidas. 12(1):94-103.
56. Spadotto, C. 2002. Monitoramento e avaliação de impactos de herbicidas no ambiente. In: Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas (12º., 2002, Londrina). Trabajos presentados. Londrina, SBCPD. pp. 56-65.
57. Teasdale, J.; Mohler, C. 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. Weed Science. 48(3):385-392.
58. _____; Shelton, D.; Sadeghi, A.; Isensee, A. 2003. Influence of hairy vetch residue on atrazine and metolachlor soil solution concentration and weed emergence. Weed Science. 51(4):628-634.
59. Toniato, T.; Regitano, J. 2014. Effects of straw decomposition degree on leaching and weed control efficacy of tebuthiuron and hexazinone in green sugarcane harvesting. Planta Daninha. 32(4):808-815.
60. UH. PPDB (University of Hertfordshire. Pesticides Properties Data Base, UK). 2016. Diflufenican, s-metolachlor, metribuzin y flumioxazin. (en línea). Hatfield. s.p. Consultado 20 mar. 2021. Disponible en http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz_herb.htm
61. Velini, E. 1992. Comportamento de herbicidas no solo. In: Simposio Nacional sobre Manejo de Plantas Daninhas em Hortaliças (1992, Botucatu). Trabajos presentados. São Paulo, UNESP. pp. 44-64.

62. Villalba, J. 2020. Síntomas de los diferentes grupos de herbicidas. In: Curso sobre Manejo de Malezas 5°. año (2020, Paysandú). Presentaciones. Paysandú, Universidad de la República. Facultad de Agronomía. EEMAC. 69 diapositivas.
63. Vicente, J.; Montesano, A.; Alvarez, C.; Baigorria, T.; Cazorla, C.; Belluccini, P.; Aimetta, B.; Pegoraro, V.; Boccolini, M.; Faggioli, V.; Tuesca, D. 2015. Cultivos de cobertura invernales: una herramienta para el manejo de *Amaranthus palmeri* S. Watson. In: Congreso Latinoamericano de Malezas (22°), Congreso Argentino de Malezas (1°, 2015, Buenos Aires). Resumen de cultivos de cobertura invernales. Buenos Aires, Argentina, ALAM/ASACIM. s.p.
64. WSSA (Weed Science Society of America, US). 2011. Summary of herbicide mechanism of action according to the Weed Science Society of America. Westminster. s.p.
65. Zablotowicz, R.; Locke, M.; Gaston, L.; Bryson, C. 2000. Interactions of tillage and soil depth on fluometuron degradation in a Dundee silt loam soil. *Soil and Tillage Research*. 57(1-2):61-68.

9. ANEXOS

Anexo 1. Equipo pulverizador utilizado



Anexo 2. Aspersores utilizados para la simulación de lluvia

