ENSAYO DE EFICACIAS DE HERBICIDAS EN MAÍZ CONTRA *Amaranthus palmeri*

1. OBJETIVOS

- Conocer qué herbicidas son eficaces para el control de *Amaranthus palmeri* en cultivo de maíz tanto en aplicaciones de preemergencia como de postemergencia.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

b. LOCALIZACIÓN Y DISEÑO EXPERIMENTAL

La parcela donde se realizaron los ensayos está localizada en Altorricón (Huesca). La elección de ésta fue debido a que en la prospección de 2018 se encontró una infestación muy elevada y generalizada de *Amaranthus palmeri.* El ensayo tuvo un diseño completamente aleatorio con 4 repeticiones por tratamiento. El diseño experimental, dispuesto en bloques, fue totalmente aleatorizado con 13 tratamientos herbicidas (4 preemergencia y 9 postemergencia temprana) y 4 repeticiones, además se dispuso de testigos sin tratar, adyacentes a las parcelas elementales. La parcela elemental tuvo una superficie de 40 m^2, con 4 m de ancho x 10 m de largo y los testigos fueron bandas de 4 m de ancho por 3 m de largo intercaladas entre los tratamientos asegurándonos de que cada repetición tuviera una zona testigo contigua ya que la densidad de mala hierba de la parcela era muy variable (Figura 1).

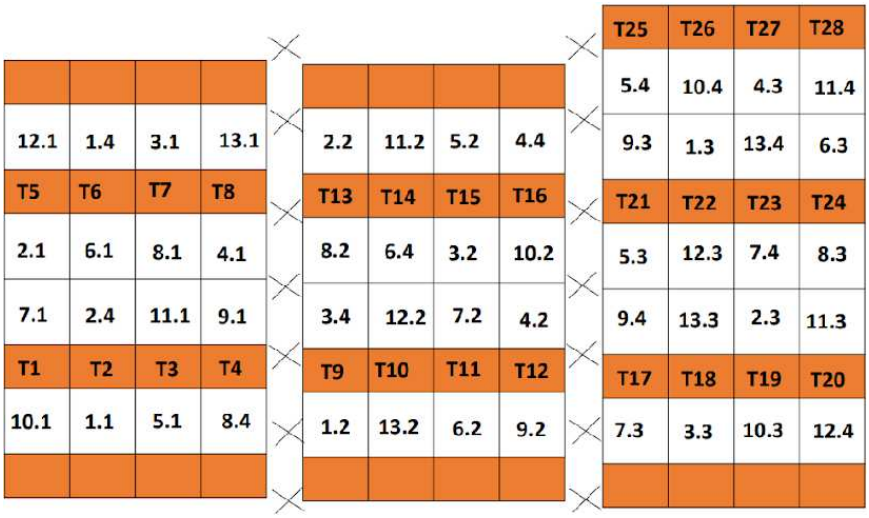

Figura 1. Diseño experimental del ensayo de eficacias de herbicidas para el control de *Amaranthus palmeri* con las testigos sin desherbar intercalados en franjas entre los tratamientos.

La razón de que cada repetición tuviera una zona testigo contigua fue paliar los problemas de distribución y densidad irregular de la mala hierba (Figura 2), para así conseguir determinar la eficacia de una forma más realista (tanto en función de la densidad como de la biomasa). Además, a lo largo del perímetro del ensayo, se estableció un margen ("bordura") para delimitar el ensayo respecto del resto del campo.

La parcela de maíz se sembró el miércoles 16 de junio de 2021 en siembra directa, sin realizar ninguna labor previa. Había una cantidad considerable de paja en la parcela.

Figura 2: Detalle del crecimiento desigual del cultivo y mala hierba en la parcela experimental.

c. TRATAMIENTOS

Los tratamientos se describen en la Tabla 1. Respecto a las dosis aplicadas, dentro del rango autorizado, se decidió aplicar la dosis más alta debido a la alta dificultad prevista para su control.

En los tratamientos se usó un volumen de caldo de 300 l/ha. Se utilizó una mochila pulverizadora Matabi con una barra de dos metros de ancho con cuatro boquillas de abanico plano de la marca "Teejet" azules.

El tratamiento herbicida de preemergencia se realizó el día 21 de junio de 2021, tras un par de días de lluvia. Tras la aplicación del herbicida se da un riego superficial para que el herbicida penetre a través de la paja. El tratamiento de postemergencia temprana se aplicó el día 9 de julio de 2021, con las plántulas de *A. palmeri* en un estadio promedio de 4-5 hojas.

b. CONTROLES

Se evaluó la **eficacia** de los tratamientos herbicidas en comparación con el testigo sin tratar contando las malas hierbas que se encontraron en un marco de conteo de 0,27 m^2 lanzado al azar 3 veces en cada repetición de los tratamientos y dos veces en los testigos. Se realizaron conteos a los 7, 14 y a los 28 días después del tratamiento (DDT) de preemergencia y postemergencia.

Se obtuvo la **biomasa seca** de la mala hierba de cada una de las repeticiones y tratamientos 40 días después del tratamiento de preemergencia. Se tomaron dos muestras por cada repetición y tratamiento, el tamaño del marco de conteo. Para ello se cortaron a nivel del suelo todas las plantas que habían germinado dentro del recuadro, se colocaron en estufa a 60 grados hasta peso constante y se pesaron. En los testigos se tomó una muestra de cada tratamiento.

Tabla 1. Número de tratamiento, materia activa, modo de acción, nombre comercial, nº de registro y dosis de los tratamientos herbicidas utilizados contra *Amaranthus palmeri* tanto en preemergencia como en postemergencia.

Preemergencia de *Amaranthus palmeri*					
Nº Trat.	Materia activa	Modo de acción (según HRAC)	Nombre comercial	Nº registro	Dosis (l/ha)
1	Isoxaflutol 24 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD (4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa)	**Spade Flexx**	25358	0,4
2	Mesotriona 4 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD	**Camix**	24063	3,75
	S-metolacloro 40 %	Grupo K3 - Inhibidor de la síntesis de ácidos grasos de cadena larga (VLCFAs)			
3	Isoxaflutol 22,5 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD	**Adengo**	ES-00020	0,44
	tiencarbazona-metil 9 %	Grupo B - Inhibidor de la ALS (enzima acetolactato sintasa)			
4	Petoxamida 60 %	Grupo K3 - Inhibidor de VLCFAs	**Successor 600**	24762	2
Postemergencia temprana *Amaranthus palmeri*					
Nº Trat.	Materia activa	Modo de acción (según HRAC)	Nombre comercial	Nº registro	Dosis (l/ha)
5	Mesotriona 10 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD	**Temsa SC**	ES-00530	1,5
6	Dicamba 50 %	Grupo O - Auxinas sintéticas	**Casper**	25411	0,4
	Prosulfuron 5 %	Grupo B - Inhibidor de la ALS			
7	Terbutilazina 18,75%	Grupo C1 - Inhibición del PS II (en la fotosíntesis) y de la Serina 264	**Primextra Líquido Gold**	22199	3,5
	S-metolacloro 31,25%	Grupo K3 - Inhibidor de VLCFAs			
8	Isoxaflutol 22,5 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD	**Adengo**	ES-00020	0,44
	Tiencarbazona-metil 9 %	Grupo B - Inhibidor de la ALS			
9	Petoxamida 60 %	Grupo K3 - Inhibidor de VLCFAs	**Successor 600**	24762	2
10	Dicamba 48 %	Grupo O - Auxinas sintéticas	**Banvel-D**	11533	600
11	Fluroxipir 20 %	Grupo O - Auxinas sintéticas	**FLUXYR 200 EC**	25589	1
12	Sulcotriona 30 %	Grupo F2 - Inhibición de HPPD	**Decano**	24798	1,5
13	2,4-d ácido 30 %	Grupo O - Auxinas sintéticas	**Mustang**	22964	0,75
	Florasulam 0,62 %	Grupo B - Inhibidor de la ALS o enzima acetolactato sintasa			

Para tratar de obtener una función de **rendimiento maíz *vs* densidad y biomasa de *A. palmeri*** se procedió de tal forma: tras el último conteo de postemergencia, se marcaron 12 zonas de 3 m lineales y 5 filas de cultivo, tres repeticiones en los tratamientos 1, 2 y 8, que tuvieron una densidad de *A. palmeri* baja, media y alta en comparación con el resto de la densidad en la totalidad de la parcela. Al final de la campaña, previo a la cosecha, se cortaron, contaron y pesaron en estufa a 60 grados centígrados hasta peso constante los individuos tanto del cultivo como de las malas hierbas presentes en cada zona marcada. Se obtuvo la biomasa fresca de todo ello. En el caso del maíz se pesó la planta entera y la mazorca por separado. Se obtuvo el peso seco de una de las repeticiones de cada nivel de densidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Observaciones generales

A lo largo de los meses estivales, con anterioridad y posteriormente a la emergencia del maíz de 2º cosecha, se realizó la aplicación de los herbicidas y el control poblacional de la emergencia de *Amaranthus palmeri S. Watson*, respectivamente. En la Figura 3, puede observarse la germinación y evolución de los individuos a partir de la 2º semana posterior al tratamiento, momento a partir del cual se empezaron a observar las primeras plántulas, concentradas en el dosel y la propia hilera del maíz.

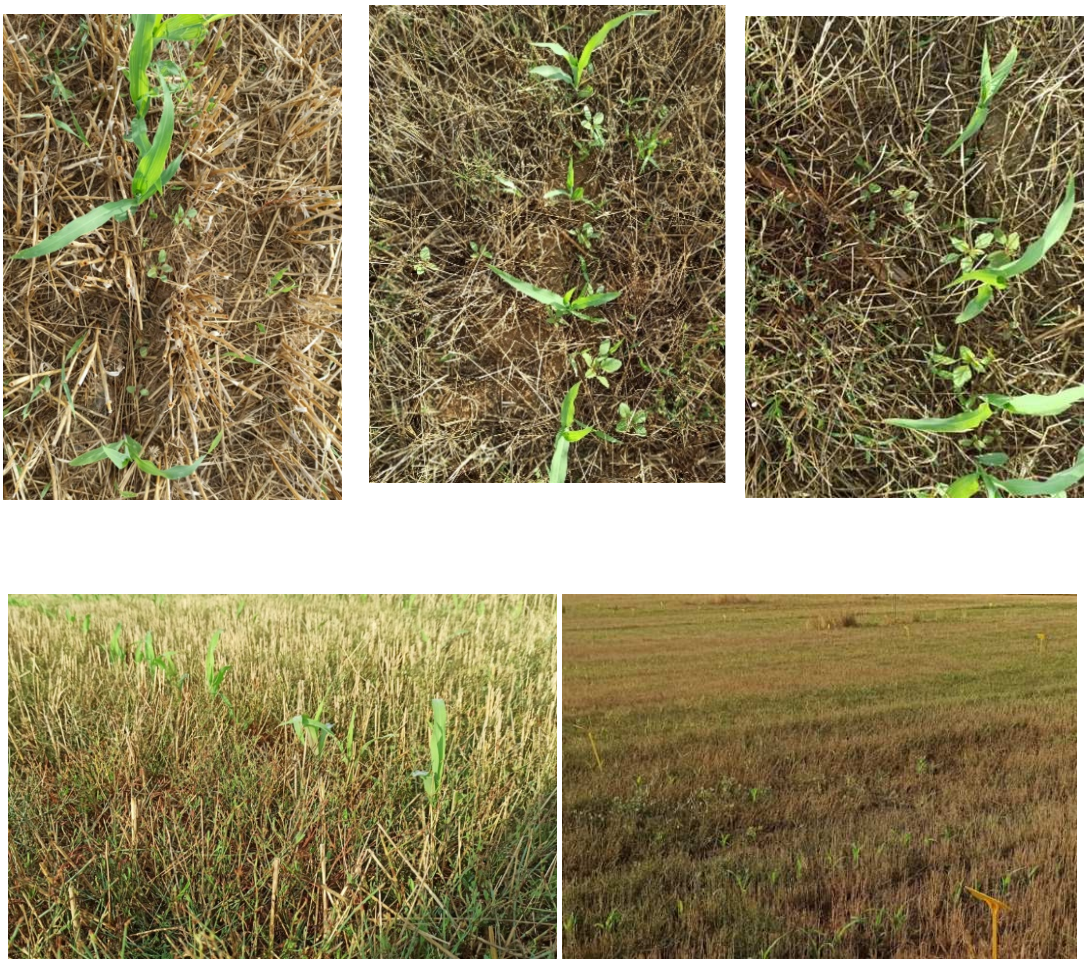

Figura 3. Estados fenológicos del cultivo y *A. palmeri* a 6 de julio de 2021 (conteo PRE T+14).

En la parte superior de la Figura 3, se observan que, a pesar de los restos de paja de la cosecha anterior, que proporciona una gran barrera física para el control general de malas hierbas, el 6 de julio de 2021 se observaron plántulas de *A. palmeri*, germinadas el tras la aplicación de los herbicidas de preemergencia el 21 de junio. Por otro lado, en la parte inferior de la Figura se aprecia la visión global del ensayo a fecha de 6 de julio de 2021, donde las malas hierbas muestran con esas bandas verdes un crecimiento heterogéneo a lo largo y ancho de la parcela experimental; y en donde sobre esa cama de paja residual, ya empieza a germinar *A. palmeri*.

La evolución de la emergencia de *A. palmeri*, obtenidas en los distintos conteos y para los distintos herbicidas de preemergencia, se puede también visualizar en la Figura 4.

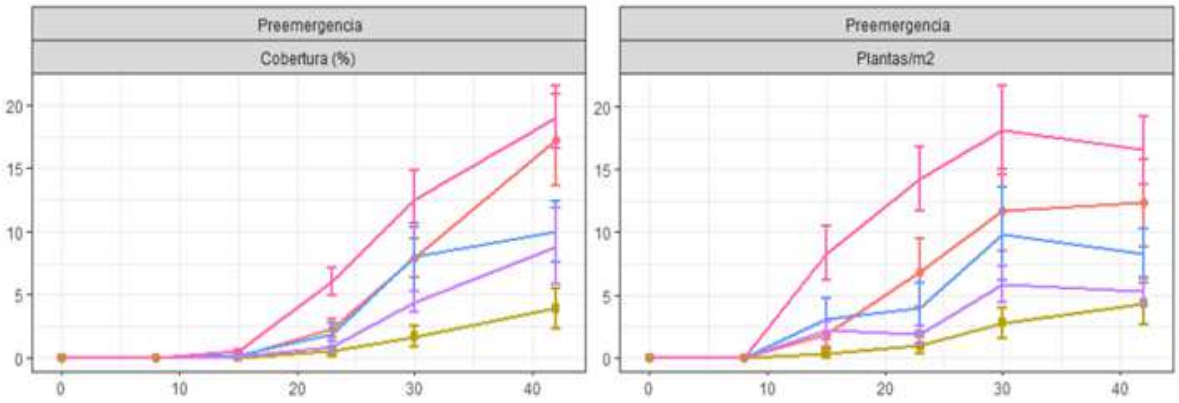

Figura 4. Resultados analíticos de emergencia de *A. palmeri,* en base al cálculo de la eficacia de los herbicidas de preemergencia a lo largo del tiempo (días después del tratamiento, DDT).

Según se aprecia en la Figura 4, la población de *A. palmeri* inició un crecimiento acelerado tras aproximadamente 10 y 15 días tras las aplicaciones de preemergencia. Esa fue la razón de aplicar la gama de productos de postemergencia antes de lo esperado (9/07/21), debido a que las plántulas de *A. palmeri* se encontraban en un estado fenológico promedio de 4 hojas. Por tanto, debido a que en los años anteriores se observó que A. palmeri no murió con 5-6 hojas, se decidió aplicar la postemergencia entre 3 y 4 hojas de la mala hierba. Tras 7 DDT (14/07/21) se observaron los resultados en la Figura 5.

Figura 5. Estados fenológicos del cultivo y *A. palmeri* a 14 de julio de 2021 (conteo POST T+7).

En la Figura 5, pueden observarse la variabilidad que posee la población de esta mala hierba. Porque mientras se empiezan a notar los efectos de ciertos individuos (tanto de pequeño como de medio porte), en otros, sigue creciendo a la sombra del maíz. Concretamente, las imágenes inferiores de la Figura 5 muestran individuos de *A. palmeri* donde es visible el efecto (fitotoxicidad) de herbicida de tipo hormonal (como mesotriona). Los efectos más comunes son las manchas blancas y rosadas. Los eficacias de las aplicaciones en postemergencia no fueron tan elevadas como en la preemergencia, visibles en la Figura 6.

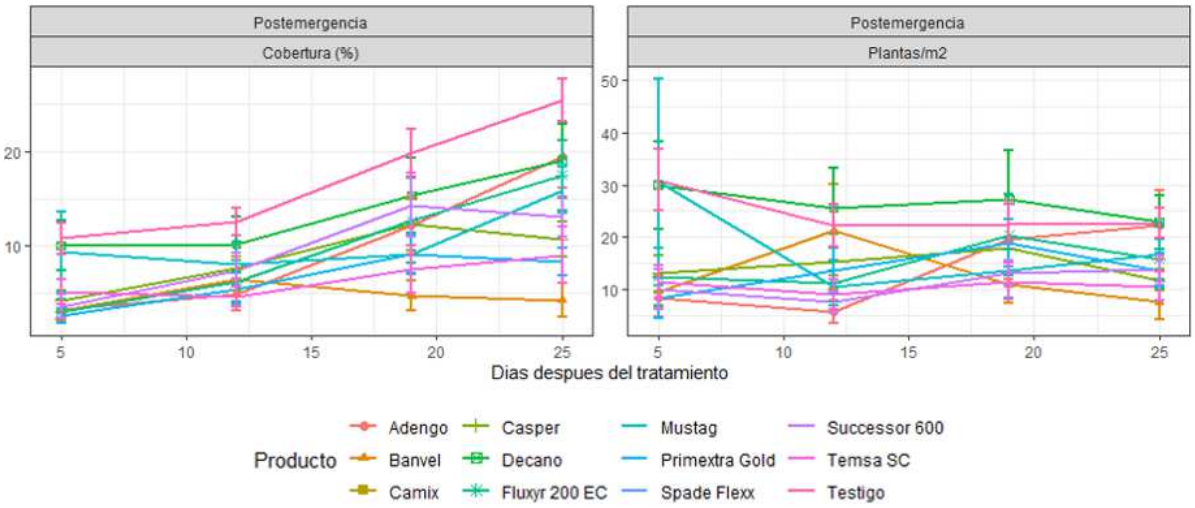

Figura 6. Resultados analíticos de emergencia de *A. palmeri*, en base al cálculo de la eficacia de los herbicidas de postemergencia, a lo largo del tiempo (días después del tratamiento, DDT).

Tal y como se observa en las imágenes de la Figura 6, 21 días tras los tratamientos de postemergencia, se llegaron a identificar múltiples individuos que alcanzaban ya el porte del maíz, aun en crecimiento; con todos los efectos colaterales que ello implica para el rendimiento postcosecha del fruto.

Figura 6. Estados fenológicos del cultivo y *A. palmeri* a 28 de julio de 2021 (conteo POST T+21).

Sin embargo, a pesar de la variabilidad aparente entre los testigos adyacentes, a priori, a nivel visual está clara la gran peligrosidad de *A. palmeri* y el riesgo de no controlarla; control que se evidencia en la microparcela del tratamiento 13, respecto a un testigo adyacente (T 17), según la Figura 7.

Figura 7. Situación de la población de *A. palmeri* en la microparcela 13.3, respecto a la población emergida en un testigo adyacente a la misma (conteo POST T+21).

2. **Resultados del cálculo de la eficacia herbicida en preemergencia, respecto de la biomasa de *A. palmeri*.**

La biomasa de *A. palmeri* generada (t/ha) en preemergencia del cultivo (Figura 8), respecto a los 500 t/ha de media de las parcelas testigo, se observa que Camix, Spade Flexx y Successor 600 controlaron la emergencia bastante bien, dejando solo un crecimiento de hasta 100 t/ha de *A. palmeri*, aproximadamente. Por otro lado, el producto comercial de preemergencia menos efectivo ha sido Adengo, un resultado que tampoco sorprende, porque en su formulación se encuentra la materia activa del grupo B (inhibidor de la ALS), la cual ya se identificaron biotipos resistentes en España desde 2016.

Paralelamente, es interesante poder verificar que, de media se ha observado el mismo efecto o muy similar en todos los herbicidas de preemergencia a nivel visual, es decir, mediante el % de cobertura final de *A. palmeri* medido en campo con el marco de conteo. Aunque entre lo observado de media en los testigos y en las parcelas donde se administró Adengo, debido a la elevada dispersión de los datos (desviación estándar), no se puede decir que no haya diferencias significativas; como sí ocurre con los otros productos comerciales, donde la desviación de los datos ha sido menor.

También refleja la misma tendencia, la observación de su densidad mediante el conteo de los individuos de *A. palmeri* (pl/m2). Con estos resultados, se ha llegado a contabilizar hasta casi 20 pl/m^2 de media en las parcelas testigo, hasta 16 pl/m^2 en las que se dosificó Adengo y entre 3 y 10 pl/m^2 en el resto de herbicidas de preemergencia.

Por tanto, queda demostrado en los datos de las gráficas anteriores que la aplicación de Camix ejerce la mayor eficacia herbicida a esta problemática invasora, de un 85 % de eficacia media (en base a la biomasa); dejando al Spade Flexx como el segundo mejor herbicida del ensayo de preemergencia con una eficacia variable entre un 60 y un 80 % de supresión de *A. palmeri*. Aunque, gracias a esta interpretación, podemos descartar el Succesor 600 por su altísima variabilidad (no han sido concluyentes sus efectos), en comparación con la evaluación únicamente de la biomasa.

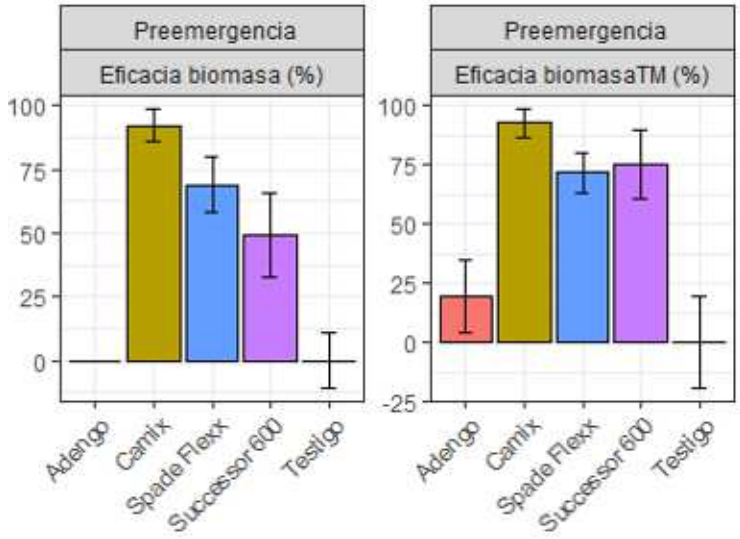

Figura 8. Resultados del análisis estadístico en R, del % de eficacia en base a la biomasa, comparando cada herbicida con su testigo adyacente (izda.), y evaluando respecto al valor medio de todos los testigos (dcha.) del ensayo de preemergencia.

Sin embargo, representando los datos de la eficacia (en base a la biomasa) respecto al valor medio de todos los testigos del ensayo de preemergencia (Figura 8), en vez de comparar cada herbicida respecto a su testigo adyacente, se ha observado que el producto comercial Successor 600 no es tan desfavorable alcanzando una eficacia semejante al Spade Flexx.

3. Resultados del cálculo de la eficacia herbicida en postemergencia, respecto de la biomasa de *A. palmeri*.

La biomasa (t/ha) de *A. palmeri* generada en postemergencia del cultivo (Figura 9), respecto a los 350 t/ha de media de las parcelas testigo, se observa que Banvel, Primextra Gold y Temsa S.C. controlaron la emergencia bastante bien, dejando solo un crecimiento de menos de 100 t/ha de media de *A. palmeri*. El segundo nivel de eficacia corresponde con los productos comerciales Adengo, Casper, Fluxyr 200 E.C., Mustang y el Successor 600, que de media han conseguido inhibir la abundancia de la mala hierba hasta 250 t/ha de media, siendo entre ellos el Fluxyr 200 E.C. el más ineficiente, debido a la alta desviación estándar de sus valores. Y ha quedado también reflejado que el producto comercial Decano (sulcotriona) no tiene ningún efecto, asemejándose la biomasa resultante de *A. palmeri* a la que se encontraba en las parcelas testigo adyacentes.

Paralelamente, en los ensayos de postemergencia ya no se observa la misma relación o efecto entre t/ha y percepción visual de la cobertura en campo. Eso parece indicar que los individuos encontrados en las parcelas donde se aplicó Adengo, Decano, Fluxyr 200 E.C., y Mustang eran más grandes y por tanto ocupaban la mayor parte de la superficie, respecto al resto de malezas y al maíz.

La cobertura aparentemente identificada en las bandas testigo, sobre un 25 % de media, no demuestra la realidad del conjunto del ensayo. Esta apreciación es importante, porque en ocasiones se identificaron parcelas tratadas con mayor cobertura que los testigos.

También refleja la misma tendencia, la observación de su densidad mediante el conteo de los individuos de *A. palmeri* (pl/m^2). Se puede verificar cuales son los herbicidas menos eficaces en postemergencia, Adengo y Decano, donde se han llegado a contabilizar hasta 23 pl/m^2 de media, al igual que en las parcelas testigo. Entre ellos, la mayor dispersión de los datos la alcanza el Adengo, producto en donde se han podido identificar hasta 30 pl/m^2. Sin embargo, valorando el conteo de los otros tratamientos, ya no se observa tan claro que productos son mejores; aunque sí se aprecia que al menos Banvel y Temsa S.C. inhiben el crecimiento, contabilizando tan solo 10 plantas/m^2 de *A. palmeri* o incluso menos.

Por tanto, queda demostrado en los datos de la Figura 9, que la aplicación de Banvel, Primextra Gold y Temsa S.C. ejercen la mayor eficacia herbicida a esta problemática maleza, de un 80 % de eficacia media (en base a la biomasa), aproximadamente; siendo el segundo que más afecta el Casper, con un 63 % de eficacia media; y una eficiencia nula para el resto de productos comerciales.

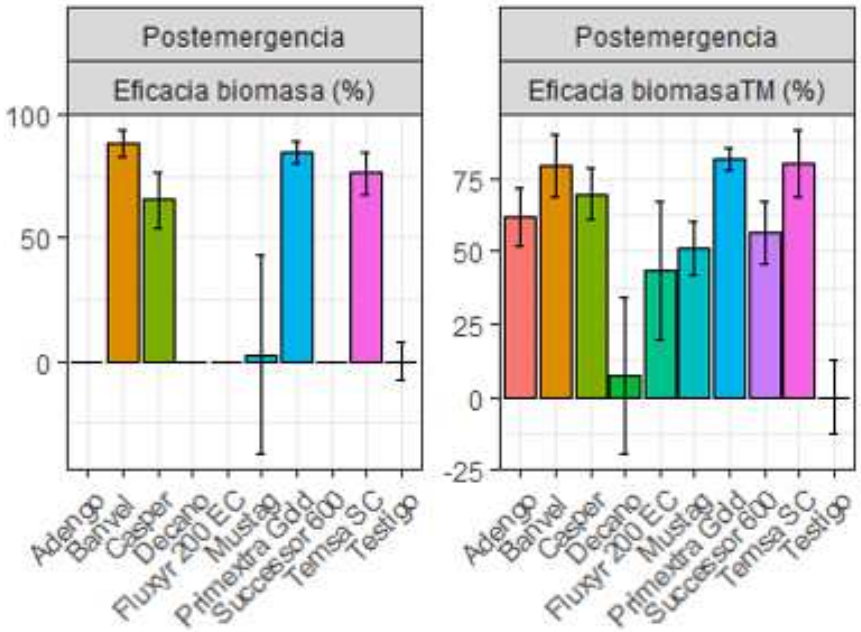

Figura 9. Resultados del análisis estadístico en R, del % de eficacia en base a la biomasa, de *A. palmeri* comparando cada herbicida con su testigo adyacente (izda.), y evaluando respecto al valor medio de todos los testigos (dcha.) del ensayo de postemergencia.

Sin embargo, representando los datos de la eficacia (en base a la biomasa) respecto al valor medio de todos los testigos del ensayo de postemergencia (Figura 9 dcha.), en vez de comparar cada herbicida respecto a su testigo adyacente, se ha observado que además de los productos mencionados que poseen efecto en la reducción de la biomasa de *A. palmeri*, se podría catalogar Adengo, Casper y Successor 600 como productos de eficacia intermedia, que de media consiguen una eficacia media en el tratamiento herbicida del 63 %. Por último, como se veía observando, se verifica que el Decano no debería aplicarse a *A. palmeri*, dada la altísima dispersión de sus valores y debido al bajo valor de su media. Pero hay que destacar, que a pesar de lo que indicaban las evaluaciones de t/ha, % cobertura y densidad (plantas/m^2), donde parecía que Mustang y Fluxyr 200 E.C. ejercían cierto control sobre la invasora, se ha demostrado al final que no ha funcionado como se esperaba.

4. CONCLUSIONES

- Aplicaciones en preemergencia: eficacia muy elevada para las materias activas mesotriona, S-metalocloro e isoxaflutol seguido por la petoxamida y una nula eficacia para la materia activa tiencarbazona-metil, a pesar de mezclarse con isoxaflutol.
- En aplicaciones en postemergencia: eficacia muy elevada para dicamba, S-metolacloro, terbutilazina y mesotriona, aunque menor que en preemergencia. Seguido de la mezcla de dicamba con prosulfuron y de petoxamida. La eficacia para la materia activa sulcotriona (Decano) ha sido nula.