

Selectividad de herbicidas usados en soja para el control de *Amaranthus hybridus* L.

Selectivity of herbicides used in soybeans for the control of *Amaranthus hybridus* L.

Gaona, M.¹; Montoya, J.C.²; Suárez, C.E.³ ; Babinec, F.J.¹

¹Actividad privada.

²Estación Experimental Agropecuaria "Ing. Agr. Guillermo Covas" Anguil, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Ruta Nac. N° 5 km 580. CC11 (6326) Anguil, La Pampa, Argentina.

³Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, Ruta Nac. N° 35 km 334, Santa Rosa (6300), La Pampa, Argentina.

gaona@agro.uba.ar

Citar como: Gaona et al. (2025)

Selectividad de herbicidas usados en soja para el control de *Amaranthus hybridus* L. en *Malezas* 14, 21-36



RESUMEN

Los herbicidas inhibidores de la enzima protoporfirinógeno oxidasa (PPO) suelen provocar síntomas de fitotoxicidad en soja, desconociéndose su potencial impacto sobre el rendimiento. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto fitotóxico de los herbicidas PPO en mezcla con inhibidores de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFAs) sobre los síntomas expresados y el rendimiento de soja. El experimento se realizó en Sundblad (provincia de Buenos Aires, Argentina), con diseño en bloques completos aleatorizados en parcelas divididas, arreglo factorial y tres repeticiones. Se evaluaron tres tratamientos preemergentes (PRE; parcela principal): fomesafen + S-metolacoloro, sulfentrazone + S-metolacoloro y pyroxasulfone + flumioxazin; combinados con cuatro postemergentes (POST; sub-parcela) aplicados en V4: sin POST (recibió solo PRE), glifosato + fomesafen, glifosato + fomesafen + S-metolacoloro y glifosato + lactofen; más un testigo sin intervención química. Hasta V4, los tratamientos PRE con fomesafen + S-metolacoloro y sulfentrazone + S-metolacoloro produjeron clorosis leve y reducción de biomasa. En cambio, pyroxasulfone + flumioxazin causó clorosis severa y menor biomasa, afectando el cierre de surco. Los POST con glifosato + fomesafen y glifosato + fomesafen + S-metolacoloro generaron fitotoxicidad leve a moderada. Glifosato + lactofen mostró la mayor clorosis y deformación. Las mediciones del Índice de Vegetación de Diferencia Nor-

malizada (NDVI) reflejaron estas diferencias. El tratamiento pyroxasulfone + flumioxazin sin POST rindió 12,4 % menos que el testigo (6418 kg ha⁻¹). Sulfentrazone + S-metolachlor seguido por glifosato + lactofen perdió 11,9 % respecto a dicho PRE sin POST (6166 kg ha⁻¹). Las características del suelo, la alta humedad durante el ciclo y la aplicación cercana a la emergencia pudieron influir en los resultados obtenidos.

Palabras clave: fitotoxicidad, rendimiento, herbicidas pre-emergentes - post-emergentes

SUMMARY

Protoporphyrinogen oxidase inhibiting herbicides (PPO) often induce phytotoxicity symptoms in soybeans, although their potential impact on yield remains uncertain. The objective of this study was to evaluate the phytotoxic effects of PPO-inhibiting herbicides along with very long-chain fatty acid synthesis inhibitors (VLCFAs) on visible injury and soybean yield. The experiment was conducted in Sundblad (Buenos Aires province, Argentina), using a randomized complete block design with split plots in a factorial arrangement with three replications. Three pre-emergent treatments (PRE; whole plot) were evaluated: fomesafen + S-metolachlor, sulfentrazone + S-metolachlor, and pyroxasulfone + flumioxazin, which were combined with four post-emergent treatments (POST; subplot) applied at the V4 growth stage: no POST, glyphosate + fomesafen; glyphosate + fomesafen + S-metolachlor; glyphosate + lactofen; plus an untreated check (UTC; no chemical intervention). Before reaching V4, PRE treatments with fomesafen + S-metolachlor and sulfentrazone + S-metolachlor caused mild chlorosis and reduced biomass. In contrast, pyroxasulfone+flumioxazin resulted in severe chlorosis and lower biomass, affecting canopy closure. POST treatments with glyphosate + fomesafen and glyphosate + fomesafen + S-metolachlor produced light to moderate phytotoxicity. Glyphosate + lactofen caused the most intense chlorosis and leaf deformation. These differences were reflected in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) measurements. Pyroxasulfone + flumioxazin with no POST yielded 12.4% less than the UTC (6,418 kg ha⁻¹), while sulfentrazone + S-metolachlor followed by glyphosate + lactofen yielded 11.9% less than the exact same PRE treatment with no POST (6,166 kg ha⁻¹). Soil properties, high moisture during the growing season, and application timing close to crop emergence may have influenced the results achieved.

Keywords: phytotoxicity, yield, pre-emergence herbicides, post-emergence herbicides

INTRODUCCIÓN

Los herbicidas pertenecientes al grupo de los inhibidores de la enzima protoporfirinógeno-oxidas (PPO) así como los inhibidores de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFAs), se posicionan como estrategias de control para mitigar nuevos biotipos resistentes de *A. hybridus* L. (Tuesca *et al.*, 2013). Sin embargo, el uso de herbicidas inhibidores de la enzima PPO en el cultivo de soja frecuentemente ha sido asociado con la expresión de síntomas de fitotoxicidad (Taylor-Lovell *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2003; McNaughton *et al.*, 2014; Tuesca & Papa, 2016).

La evaluación de la fitotoxicidad en cultivos puede presentar dificultades debido a la variabilidad en la expresión de los síntomas y la influencia de factores climáticos y edáficos. En soja como en otros cultivos, el método más utilizado para cuantificar la fitotoxicidad es la evaluación visual mediante una escala porcentual de 0 a 100 %, donde 0 indica ausencia de daño y 100 % representa daño total (Frans *et al.*, 1986; INTA, 2024). Los síntomas considerados incluyen clorosis, bronceado, necrosis, deformación y reducción de biomasa (Taylor-Lovell *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2003). Adicionalmente, puede complementarse con mediciones cuantificables, como el recuento de plántulas durante la implantación del cultivo (Hagood *et al.*, 1980) o la altura de las plantas al momento de la cosecha (Taylor-Lovell *et al.*, 2001; Kelley *et al.*, 2005).

De manera frecuente, las pérdidas de rendimiento se atribuyen a la competencia de malezas, sin aislar el efecto que la fitotoxicidad *per se* podría estar ejerciendo. Evaluar un posible efecto perjudicial del herbicida sin considerar la capacidad de recuperación del cultivo y el beneficio del control de malezas puede llevar a interpretaciones erróneas sobre la magnitud de las pérdidas de rendimiento (Hagood *et al.*, 1980; Kapusta *et al.*, 1986). Se considera que el uso de

herbicidas selectivos en las dosis recomendadas no provoca pérdidas significativas en el rendimiento (Defelice *et al.*, 1989) siempre y cuando se aplique respetando las condiciones para las que fueron desarrollados.

La amplia mayoría de la bibliografía acerca del desempeño de los herbicidas en soja aborda la eficacia de control de las malezas, pero avanza muy poco sobre la fitotoxicidad (Whitaker *et al.*, 2010). No obstante, existen algunos trabajos específicos para aislar los efectos fitotóxicos y medir su impacto sobre el rendimiento (Taylor-Lovell *et al.*, 2001). En el plano local no se dispone de información suficiente, que permita evaluar las consecuencias del manejo actual de herbicidas durante todo el ciclo del cultivo.

El objetivo del trabajo fue estudiar la selectividad de los tratamientos herbicidas utilizados para controlar *Amaranthus hybridus* L. en el cultivo de soja, mediante la caracterización de los síntomas de fitotoxicidad, la evaluación de los efectos sobre el establecimiento de plantas, la captación de la radiación fotosintética activa, la producción de materia seca, la altura y el rendimiento en este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El ensayo se realizó en un lote de soja manejado con siembra directa, ubicado en la localidad de Sundblad, al oeste de la provincia de Buenos Aires (35° 43' 4,43" S; 63° 10' 31,26" W). El suelo del lote es un Haplustol éntico, profundo, excesivamente drenado, con una secuencia de horizontes A1, AC y C, de textura franco-arenosa (arcilla 4 %, limo 28 %, arena 68 %) y débil estructura; caracterizado hasta los 10 cm de profundidad por 1,5 % MO, pH 6,61 y CIC 9,5 meq 100 g⁻¹. El cultivo antecesor fue maíz con una cobertura de rastrojo del 60-75 %. Las precipitaciones durante la estación de crecimiento alcanzaron 628 mm. La siembra fue el 29/10/18 y las aplicaciones de herbicidas se realizaron en pre-emergencia (PRE) el 31/10/18 y en post-emergencia (POST) el 14/12/18. El período entre la aplicación de los tratamientos PRE y POST fue de 44 días, durante los cuales se acumularon 321 mm de agua en el perfil. A los 10 días desde la aplicación (DDA) de los tratamientos PRE llovieron 30 mm. En los 25 días posteriores a la aplicación POST llovieron 141 mm, totalizando 298 mm entre la aplicación POST y la cosecha.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron tres tratamientos pre emergentes (PRE) combinados con cuatro tratamientos post emergentes (POST) y un testigo sin intervención química (Cuadro 1). El diseño experimental fue en bloques completos al azar en parcelas divididas y arreglo factorial 3 x 4 aumentado (Marini, 2003), con tres repeticiones. La parcela principal fue la estrategia de aplicación PRE y la sub-parcela fue la estrategia que tuvo aplicación POST. La parcela principal midió 8,40 m por 10 m, subdivididas en cuatro sub-parcelas de 2,10 m por 10 m.

El ensayo se mantuvo limpio manualmente para evitar la interferencia y competencia de las malezas. Se sembró la variedad de soja SY 5x1 RR, con un espaciamiento de 0,35 m y densidad 70 kg ha⁻¹ con sembradora comercial. Los herbicidas se aplicaron con mochila experimental de CO₂ a presión constante de 200 kPa, con una barra dotada de seis boquillas Magno 8002 amarillas, erogando un caudal de 150 l ha⁻¹. Los productos herbicidas y coadyuvantes se utilizaron según las dosis máximas y recomendaciones del marbete, a excepción de flumioxazin (marca comercial Sumisoya Flo®) cuya etiqueta restringe su aplicación hasta una semana antes de la siembra de soja. Por cuestiones de logística, se tomó la decisión de aplicar todos los tratamientos PRE en el mismo momento.

Comprender la selectividad de los herbicidas exige analizar en conjunto las estrategias PRE y POST, ya que sus combinaciones determinan el nivel de fitotoxicidad y el impacto en la productividad.

Cuadro 1. Listado de tratamientos evaluados, dosis y momentos de aplicación.

| Nº | Pre-emergencia (PRE) | | | Post-emergencia (POST) | | |
|----|------------------------------------|--------------------------------|--|---|--------------------------------|--|
| | Principios activos | Dosis ia (g ha ⁻¹) | Dosis formulado (l o kg ha ⁻¹) | Principios activos | Dosis ia (g ha ⁻¹) | Dosis formulado (l o kg ha ⁻¹) |
| 1 | Testigo | | | | | |
| 2 | fomesafen+S-metolaclo ¹ | 342+1554 | 3 | sin POST | | |
| 3 | fomesafen+S-metolaclo ¹ | 342+1554 | 3 | glifosato ⁶ + fomesafen ^{7*} | 1355+350 | 5 |
| 4 | fomesafen+S-metolaclo ¹ | 342+1554 | 3 | glifosato ⁶ + [fomesafen+ S-metolaclo] ^{1*} | 1518+[285+1295] | 3+2,5 |
| 5 | fomesafen+S-metolaclo ¹ | 342+1554 | 3 | glifosato ⁶ + lactofen ^{8**} | 1518+192 | 3+0,8 |
| 6 | sulfentrazone ² | 200 | 0,4 | sin POST | | |
| | S-metolaclo ³ | 1056 | 1,1 | | | |
| 7 | sulfentrazone ² | 200 | 0,4 | glifosato ⁶ + fomesafen ^{7*} | 1355+350 | 5 |
| | S-metolaclo ³ | 1056 | 1,1 | | | |
| 8 | sulfentrazone ² | 200 | 0,4 | glifosato ⁶ + [fomesafen+ S-metolaclo] ^{1*} | 1518+[285+1295] | 3+2,5 |
| | S-metolaclo ³ | 1056 | 1,1 | | | |
| 9 | sulfentrazone ² | 200 | 0,4 | glifosato ⁶ + lactofen ^{8**} | 1518+192 | 3+0,8 |
| | S-metolaclo ³ | 1056 | 1,1 | | | |
| 10 | pyroxasulfone ⁴ | 170 | 0,2 | sin POST | | |
| | flumioxazin ⁵ | 72 | 0,15 | | | |
| 11 | pyroxasulfone ⁴ | 170 | 0,2 | glifosato ⁶ + fomesafen ^{7*} | 1355+350 | 5 |
| | flumioxazin ⁵ | 72 | 0,15 | | | |
| 12 | pyroxasulfone ⁴ | 170 | 0,2 | glifosato ⁶ + [fomesafen+ S-metolaclo] ^{1*} | 1518+[285+1295] | 3+2,5 |
| | flumioxazin ⁵ | 72 | 0,15 | | | |
| 13 | pyroxasulfone ⁴ | 170 | 0,2 | glifosato ⁶ + lactofen ^{8**} | 1518+192 | 3+0,8 |
| | flumioxazin ⁵ | 72 | 0,15 | | | |

*Con agregado de humectante no iónico 0,2 % v/v. **Con agregado de aceite vegetal metilado 1000 cm³/ha.

¹ Eddus® (EC), marca registrada de Syngenta. ² Authority® (SC), marca registrada de FMC Corporation.

³ Dual Gold® (CE), marca registrada de Syngenta. ⁴ Yamato® (WG), marca registrada de Summit Agro Argentina S.A.

⁵ Sumisoya Flo® (SC), marca registrada de Summit Agro Argentina S.A. ⁶ Sulfosato® (SL), marca registrada de Syngenta. ⁷ FlexStar GT® (SL), marca registrada de Syngenta. ⁸ Huck 24 EC®, marca registrada de Summit Agro Argentina S.A.

Variables estudiadas

Se efectuó un recuento de plantas establecidas a los 16 días desde la siembra (DDS). Se contabilizó la totalidad de las plántulas emergidas en cuatro surcos centrales de la parcela (10 m de longitud). En esa instancia, se relevaron los tratamientos PRE que se hallaban aplicados hasta ese momento, además del testigo sin intervención química. La fitotoxicidad se evaluó a partir de variables cualitativas y cuantitativas. En el primer grupo se consideraron: clorosis (22 y 37 DDA PRE y 7 y 14 DDA POST), reducción de biomasa aérea (0, 7, 14, 25 y 48 DDA POST) y deformación (7 y 14 DDA POST). Se utilizó una escala porcentual de daño (0 % = sin daño; 100 % = planta muerta) respecto al testigo. Las variables cuantitativas evaluadas fueron: índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), materia seca (MS), altura de planta y rendimiento en grano.

Se determinó el NDVI como una forma de medir la capacidad y eficiencia fotosintética del cultivo con el equipo Crop Circle modelo ACS-430 a los 7, 14 y 25 días luego de la aplicación POST. En R4 (Fehr & Caviness, 1977) se realizó un corte de biomasa aérea (0,5 m² en cada parcela) para la obtención de la producción de materia seca (MS). En R7 se midió con una regla la altura promedio del cultivo en cada parcela tomando cinco individuos representativos, desde el suelo hasta el último nudo desarrollado. Se cosecharon 14 m² por parcela el 16 de abril de 2019 con maquinaria experimental (Classic de Wintersteiger).

Análisis estadístico

Se usó un modelo mixto con efectos fijos de tratamiento (PRE, POST y su interacción) y aleatorios de bloque y bloque por PRE, para un ensayo en bloques aleatorizados completos adaptado a un arreglo factorial aumentado (Piepho *et al.*, 2006). Se usó un contraste de 1 grado de libertad para comparar el testigo sin herbicida con el conjunto de los tratados, y las medias de estos últimos se compararon mediante una DMS protegida entre niveles de POST dentro de cada nivel de PRE o entre medias de niveles de factores principales, según la interacción PRExPOST fuera o no significativa. Para rendimiento se compararon además las medias de tratamiento con el testigo utilizando la prueba de Dunnett (Steel & Torrie, 1980). Para los análisis se utilizó el software estadístico InfoStat (Balzarini *et al.*, 2008; Di Rienzo *et al.*, 2008).

RESULTADOS

En promedio se logró una densidad de soja de 305.000 pl ha⁻¹. No hubo diferencias significativas en el estado de plantas entre el testigo y el promedio de los tratados, como tampoco entre los tratados.

La fitotoxicidad se evaluó a los 22, 37 y 44 DDA PRE (Cuadro 2) y a los 7, 14, 25 (Cuadro 3) y 48 DDA POST. A los 22 DDA PRE cuando la soja se encontraba en VI, hubo diferencias significativas en clorosis entre el testigo y el conjunto de los tratados. El tratamiento pyroxasulfone + flumioxazin tuvo el nivel de daño más elevado y se diferenció significativamente de los tratamientos sulfentrazone + S-metolacoloro y fomesafen + S-metolacoloro, que resultaron similares entre sí. A los 37 DDA PRE cuando el cultivo estaba en V3, la clorosis observada en el conjunto de los tratamientos con herbicidas fue significativamente diferente del testigo. En línea con lo anterior, la combinación pyroxasulfone + flumioxazin causó significativamente mayor clorosis que fomesafen + S-metolacoloro y sulfentrazone + S-metolacoloro, mientras que estos últimos no se diferenciaron entre sí. A los 44 DDA PRE el cultivo se encontraba en V4 y el síntoma de fitotoxicidad evaluado fue reducción de la biomasa. En este sentido, el testigo fue significativamente diferente del conjunto de los tratados con herbicidas. La combinación pyroxasulfone + flumioxazin, en concordancia con la clorosis observada, produjo la reducción de biomasa más severa y se diferenció de fomesafen + S-metolacoloro y sulfentrazone + S-metolacoloro, que resultaron similares entre sí.

Cuadro 2. Evaluación visual de fitotoxicidad (clorosis y reducción de la biomasa) a los 22, 37 y 44 DDA PRE. Medias dentro de cada columna con una letra común no son significativamente diferentes (alfa=0,05).

| PRE | 22 DDA | | 37 DDA | | 44 DDA | |
|--------------------------------|--------------|---|--------------|---|--------------------------|---|
| | Clorosis (%) | | Clorosis (%) | | Reducción de biomasa (%) | |
| Testigo | 0 | | 0 | | 0 | |
| fomesafen + S-metolacoloro | 6,0 | b | 0,5 | b | 0 | b |
| sulfentrazone + S-metolacoloro | 7,7 | b | 1,4 | b | 2,3 | b |
| pyroxasulfone + flumioxazin | 36,7 | a | 9,4 | a | 17,1 | a |

A los 7 DDA POST (en R1) para clorosis, el testigo fue significativamente diferente del conjunto de los tratados. No resultó significativa la interacción PRExPOST, pero sí lo fueron los efectos principales PRE y POST (Cuadro 3). Para PRE, todos los tratamientos fueron similares entre sí. En cambio, para POST, todos los tratamientos fueron significativamente diferentes entre sí. La combinación glifosato + lactofen obtuvo el índice mayor de clorosis y le siguieron glifosato + fomesafen + S-metolacoloro, glifosato + fomesafen y por último sin POST.

A los 7 DDA POST la reducción de biomasa generada por los tratados siguió el mismo patrón que la clorosis, siendo el testigo significativamente diferente al conjunto de los tratados (Figura 1). La interacción PRExPOST no fue significativa (Cuadro 3), mientras que resultaron significativos los efectos principales PRE y POST. Para PRE, pyroxasulfone + flumioxazin fue diferente y resultó superior a fomesafen + S-metolaclo y a sulfentrazone + S-metolaclo, que no difirieron entre sí. Para POST, todos los tratamientos fueron significativamente diferentes entre sí. El tratamiento glifosato + lactofen obtuvo la reducción de biomasa más alta y luego siguieron glifosato + fomesafen + S-metolaclo, glifosato + fomesafen y por último sin POST.

A los 7 DDA POST para la variable deformación, el testigo fue significativamente diferente del conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no fue significativa (Cuadro 3). Por su parte, el efecto principal PRE no fue significativo y el efecto POST resultó significativo. Para POST todos los tratamientos difirieron entre sí. La combinación glifosato + lactofen mostró el valor más elevado, al cual le siguieron glifosato + fomesafen + S-metolaclo, glifosato + fomesafen y sin POST.

A los 14 DDA POST para clorosis, el testigo fue diferente significativamente del conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no fue significativa (Cuadro 3) (Figura 2), en cambio sí lo fueron los efectos principales PRE y POST. Para PRE todos los tratados fueron similares entre sí. Para POST, todos los tratamientos difirieron entre sí, destacándose glifosato + lactofen que causó la mayor clorosis, y le siguieron en orden descendente: glifosato + fomesafen + S-metolaclo, glifosato + fomesafen y sin POST.

Cuadro 3. Evaluación visual de fitotoxicidad a los 7, 14, y 25 DDA (interacción PRExPOST no significativa). Medias dentro de cada columna con una letra común no son significativamente diferentes (alfa=0,05).

| Tratamientos | | Evaluación de fitotoxicidad (%) | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------------------|---|----------------------|---|-------------|---|----------|---|-------------|----|----------------------|---|
| | | 7 DDA | | | | 14 DDA | | | | 25 DDA | | | |
| | | Clorosis | | Reducción de biomasa | | Deformación | | Clorosis | | Deformación | | Reducción de biomasa | |
| PRE | | p<0,01 | | p<0,01 | | p=0,76 | | p<0,01 | | p<0,01 | | p<0,01 | |
| POST | | p<0,01 | | p<0,01 | | p<0,01 | | p<0,01 | | p<0,01 | | p=0,07 | |
| PRExPOST | | p=0,94 | | p=0,99 | | p=0,94 | | p=0,8 | | p=0,88 | | p=0,82 | |
| Testigo | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| PRE | | | | | | | | | | | | | |
| fomesafen-S-metolaclo | | 32,1 | a | 9,12 | b | 20,4 | a | 29,8 | a | 12,1 | a | 6,7 | b |
| sulfentrazone+S-metolaclo | | 31,7 | a | 8,8 | b | 20,4 | a | 34,2 | a | 12,9 | a | 5,8 | b |
| pyroxasulfone+flumioxazin | | 32,5 | a | 13,8 | a | 21,7 | a | 31,0 | a | 14,1 | a | 10,0 | a |
| POST | | | | | | | | | | | | | |
| SIN POST | | 0 | d | 1,3 | d | 0 | d | 0 | d | 2,1 | c | 3,8 | a |
| glifosato+fomesafen | | 15 | c | 8,3 | c | 15 | c | 11 | c | 10,6 | b | 4,4 | a |
| glifosato+fomesafen+S-metolaclo | | 28,3 | b | 13,3 | b | 27,8 | b | 24,4 | d | 16,1 | ab | 9,4 | a |
| glifosato+lactofen | | 85 | a | 18,9 | a | 40,6 | a | 91,1 | a | 22,8 | a | 11,1 | a |

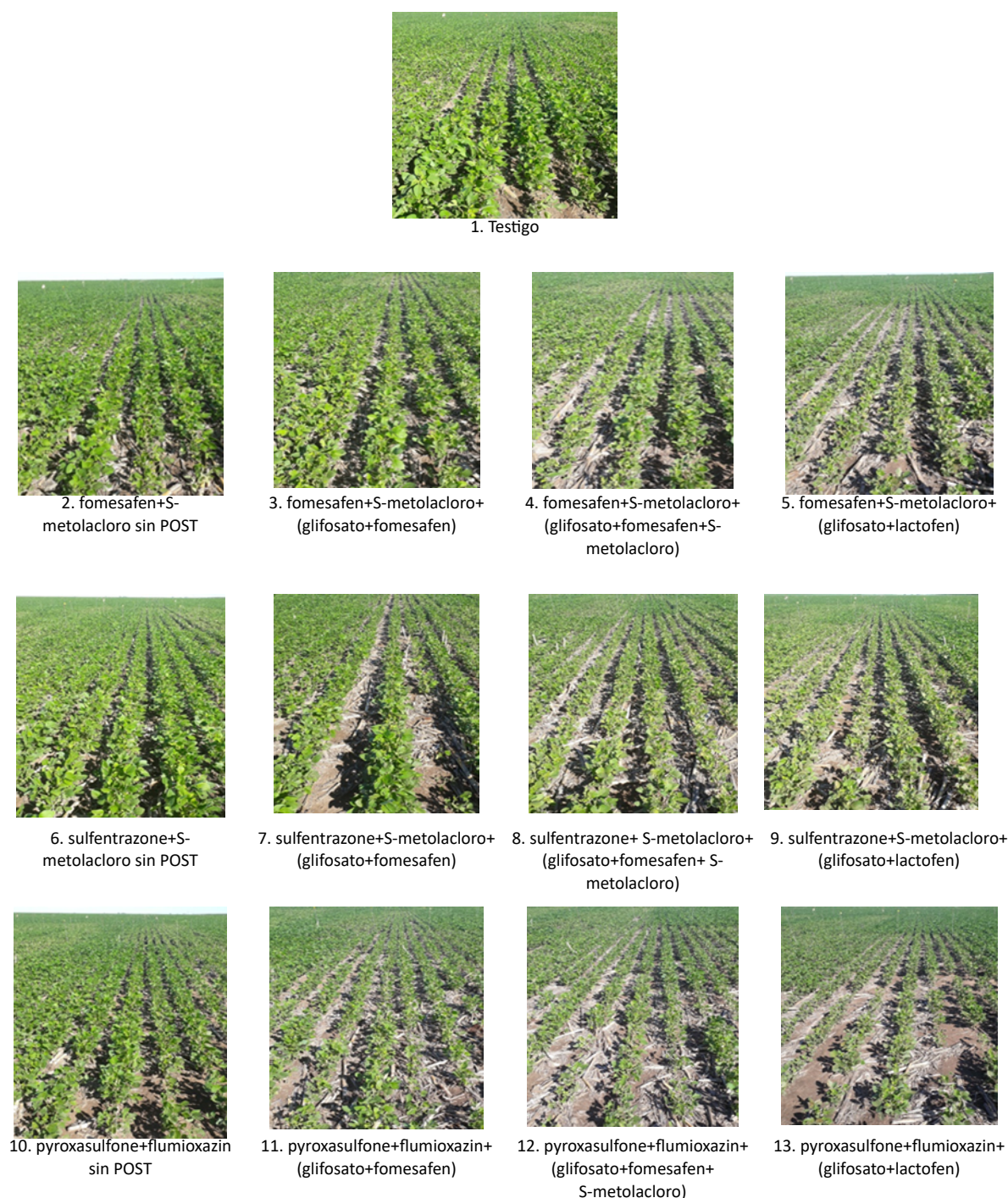


Figura 1. Fotografías de los tratamientos 1-13 que ilustran la reducción de biomasa 7 DDA POST a nivel de parcela.

A los 14 DDA para la reducción de biomasa, el testigo fue diferente significativamente del conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST fue significativa. Cuando fomesafen + S-metolaclo se combinó con glifosato + lactofen (15,9 %), la reducción de biomasa fue diferente significativamente y superior a todos sus otros POST. Glifosato + fomesafen (6 %) glifosato + fomesafen + S-metolaclo (5,33 %) y sin POST (0 %) no se diferenciaron entre sí. Las combinaciones de sulfentrazone + S-metolaclo con glifosato + lactofen o con glifosato + fomesafen + S-metolaclo fueron idénticas (15 %). Glifosato + fomesafen (3,67 %) y sin POST (1 %) se diferenciaron de los tratamientos anteriores, aunque fueron similares entre sí. Pyroxasulfone +

flumioxazin en combinación con glifosato + fomesafen (10,67 %), glifosato + lactofen (13,33 %) y sin POST (10 %) resultaron similares entre sí. Este último se diferenció significativamente de glifosato + fomesafen + S-metolacoloro (16,67 %) (Gaona, 2025).

Para el síntoma de deformación a los 14 DDA, el testigo fue significativamente diferente del conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no tuvo efecto significativo ($p=0,88$) (Cuadro 3), mientras que los efectos principales PRE y POST fueron significativos. Para PRE todos los tratados fueron similares. Para POST, la combinación glifosato + lactofen fue similar a glifosato + fomesafen+S-metolacoloro y diferente de glifosato + fomesafen y sin POST. Los tratamientos POST que contenían fomesafen resultaron similares entre sí.

A los 25 DDA POST la reducción de biomasa del conjunto de los tratados fue diferente respecto del testigo. La interacción PRExPOST y el efecto POST no tuvieron efecto significativo (Cuadro 3), mientras que el efecto PRE resultó significativo. Para PRE, pyroxasulfone + flumioxazin fue diferente y de mayor magnitud que fomesafen + S-metolacoloro y sulfentrazone + S-metolacoloro, los cuales resultaron similares entre sí.

En cuanto a la reducción de biomasa a los 48 DDA, el testigo fue diferente significativamente del conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no tuvo efecto significativo. Los efectos principales PRE y POST no fueron significativos.



Figura 2. Fitotoxicidad foliar producida 14 DDA POST. El tratamiento PRE de base fue pyroxasulfone + flumioxazin en todos los casos.

A los 7 DDA POST, el NDVI del testigo fue diferente significativamente del conjunto de los tratados (Cuadro 4). La interacción PRExPOST fue significativa. Fomesafen + S-metolacoloro en combinación con glifosato + fomesafen + S-metolacoloro o sin POST fueron similares. Para este mismo PRE, se diferenciaron los POST glifosato + lactofen y glifosato + fomesafen entre sí y también de los anteriores. La combinación sulfentrazone + S-metolacoloro fue similar cuando se combinó con glifosato + fomesafen o con glifosato + fomesafen + S-metolacoloro. Se diferenciaron glifosato + lactofen y sin POST de los anteriores y también entre sí. La combinación pyroxasulfone + flumioxazin fue similar en combinación con glifosato + fomesafen o con glifosato + lactofen. Para este tratamiento PRE se diferenciaron significativamente sin POST y glifosato + fomesafen + S-metolacoloro de las combinaciones anteriores y también entre sí.

A los 14 DDA POST, el testigo fue diferente significativamente del conjunto de los tratados (Cuadro 4). La interacción PRExPOST fue significativa. El PRE fomesafen + S-metolacoloro fue similar cuando estuvo en combinación con glifosato + fomesafen + S-metolacoloro o con glifosato + fomesafen. Este PRE fue diferente significativamente de los anteriores cuando se combinó con glifosato + lactofen y sin POST. A su vez estos últimos fueron diferentes entre sí. Sulfentrazone + S-metolacoloro no difirió con glifosato + lactofen o con glifosato + fomesafen, en tanto, fue diferente significativamente de los anteriores cuando se combinó con glifosato + fomesafen

+ S-metolacolor o sin POST, que a su vez se diferenciaron entre sí. Pyroxasulfone + flumioxazin con glifosato + fomesafen + S-metolacolor o con glifosato + lactofen tuvo un comportamiento similar. Este PRE en combinación con glifosato + fomesafen o sin POST fue diferente de los anteriores y también entre sí.

A los 25 DDA POST, el testigo fue significativamente diferente del conjunto de los tratados (Cuadro 4). La interacción PRExPOST fue significativa. Para fomesafen + S-metolacolor la única combinación que se diferenció del resto fue glifosato+lactofen. Los demás POST glifosato + fomesafen, glifosato + fomesafen + S-metolacolor y sin POST fueron similares entre sí. El tratamiento sulfentrazone + S-metolacolor sin POST fue diferente significativamente de las otras combinaciones POST para este PRE. Sulfentrazone + S-metolacolor con glifosato + fomesafen, glifosato + fomesafen + S-metolacolor o glifosato + lactofen tuvieron un comportamiento similar entre sí. El tratamiento pyroxasulfone + flumioxazin sin POST fue diferente significativamente de las restantes combinaciones POST, que resultaron idénticas entre sí.

Cuadro 4. NDVI a los 7, 14 y 25 DDA de los tratamientos POST. Medias dentro de fecha con una letra común no son significativamente diferentes (alfa=0,05).

| Momentos de aplicación | | NDVI | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| PRE | POST | 7 DDA | 14 DDA | 25 DDA |
| PRE | | p=0,01 | p=0,03 | p=0,14 |
| POST | | p<0,01 | p<0,01 | p<0,01 |
| PRExPOST | | p<0,01 | p<0,01 | p=0,02 |
| Testigo | | 0,8 | 0,8 | 0,9 |
| fomesafen-S-metolacolor | SIN POST | 0,7 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | glifosato+fomesafen | 0,7 b | 0,8 b | 0,9 a |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacolor | 0,8 a | 0,8 b | 0,9 a |
| | glifosato+lactofen | 0,5 c | 0,8 c | 0,7 b |
| sulfentrazone+S-metolacolor | SIN POST | 0,7 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | glifosato+fomesafen | 0,7 b | 0,8 c | 0,9 b |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacolor | 0,6 b | 0,8 b | 0,9 b |
| | glifosato+lactofen | 0,6 c | 0,8 c | 0,9 b |
| pyroxasulfone+flumioxazin | SIN POST | 0,7 a | 0,8 a | 0,9 a |
| | glifosato+fomesafen | 0,5 c | 0,7 c | 0,9 b |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacolor | 0,6 b | 0,8 b | 0,9 b |
| | glifosato+lactofen | 0,5 c | 0,7 b | 0,9 b |

Cuando las vainas del cultivo estaban completamente desarrolladas (R4) se realizó el muestreo de MS. Se encontraron diferencias significativas entre el testigo y el conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no fue significativa, como tampoco lo fueron los efectos principales PRE y POST. La media del conjunto de los tratados fue 534,4 g m⁻², mientras que el testigo registró el valor máximo de MS (613,1 g m⁻²) y el mínimo estuvo representado por sulfentrazone + S-metolacolor y pyroxasulfone + flumioxazin acompañados en ambos casos por glifosato + fomesafen + S-metolacolor (488,8 g m⁻²) (Gaona, 2025).

Por otro lado, se encontraron diferencias significativas en altura de planta entre el testigo y el conjunto de los tratados. La interacción PRExPOST no fue significativa, como tampoco fueron

los efectos principales PRE y POST. El conjunto de los tratados mostró un valor promedio de 114,3 cm. El valor máximo de altura estuvo representado por el testigo (118,7 cm) y el mínimo de 107,7 cm por pyroxasulfone + flumioxazin seguido por glifosato + fomesafen + S-metolacoloro (Gaona, 2025).

Rendimiento

Considerando el rendimiento del cultivo, de los 12 tratamientos con herbicidas evaluados, solo dos no superaron al testigo (Cuadro 5). Este último fue significativamente diferente al conjunto de los tratamientos herbicidas ($p < 0,01$). Al analizar cada tratamiento individual frente al testigo, únicamente pyroxasulfone + flumioxazin sin POST mostró una diferencia significativa ($p = 0,02$). La interacción PRExPOST resultó significativa ($p < 0,01$). La respuesta de fomesafen + S-metolacoloro fue similar para todas sus combinaciones POST. Sulfentrazone + S-metolacoloro con glifosato + lactofen fue significativamente diferente de las demás combinaciones POST para este PRE, que resultaron similares entre sí. Pyroxasulfone + flumioxazin sin POST fue significativamente diferente de todas sus otras combinaciones POST, que a su vez resultaron similares entre sí.

Cuadro 5. Rendimiento obtenido para cada uno de los tratamientos evaluados. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($\alpha=0,05$).

| Momentos de aplicación kg ha ⁻¹ | | Rendimiento | |
|---|------------------------------------|-------------|---|
| PRE | POST | | |
| Testigo | | 5820,8 | |
| fomesafen-S-metolacoloro | sin POST | 6417,7 | a |
| | glifosato+fomesafen | 5823,0 | a |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacoloro | 6153,2 | a |
| | glifosato+lactofen | 6077,3 | a |
| sulfentrazone+S-metolacoloro | sin POST | 6166,3 | a |
| | glifosato+fomesafen | 6184,1 | a |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacoloro | 6194,3 | a |
| | glifosato+lactofen | 5433,9 | b |
| pyroxasulfone+flumioxazin | sin POST | 5097,4 | b |
| | glifosato+fomesafen | 6064,6 | a |
| | glifosato+fomesafen+S-metolacoloro | 6264,6 | a |
| | glifosato+lactofen | 5914,3 | a |

DISCUSIÓN

Fitotoxicidad

Si bien en este ensayo no se encontraron diferencias en el recuento de plántulas, antecedentes del uso de sulfentrazone con dosis de 224 g ia ha⁻¹ en PRE demostraron reducciones entre el 20 y el 60 % del estand de plantas, así como con flumioxazin en dosis más elevadas (105 g i.a. ha⁻¹) presentaron pérdidas de plantas del 50 % (Taylor-Lovell et al., 2001).

Si bien el cultivo de soja posee una alta capacidad de detoxificar los herbicidas PPO, si no llegara a compensar completamente su acción, es muy frecuente que exhiba síntomas de fitotoxicidad (Legleiter & Johnson, 2013) o que incluso estos síntomas alcancen niveles por arriba

de lo aceptable (Belfry *et al.*, 2015). Los herbicidas que inhiben los ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA's) actúan sobre los puntos de crecimiento durante el proceso de germinación de un amplio espectro de malezas gramíneas y dicotiledóneas anuales (Tanetani *et al.*, 2009). Respecto a este grupo, tanto pyroxasulfone como S-metolaclo-ro tienen un espectro de control de malezas similar y su uso en soja en PRE del cultivo está difundido de manera muy amplia por su probada eficacia y selectividad. A pesar de ello, existen advertencias frente al uso de pyroxasulfone que surgen de estudios en soja cuando se lo utiliza entre la etapa de emergencia y el despliegue del par de hojas unifoliado (Mcknaughton *et al.*, 2014). Por su parte, se reportaron efectos aditivos con sulfentrazone y sinérgicos con flumioxazin con relación al daño al cultivo (Mahoney *et al.*, 2014) cuando se mezclaron herbicidas PPO con VLCFA's en el tanque, incluyendo pyroxasulfone y S-metolaclo-ro.

La respuesta del cultivo a los diferentes herbicidas depende de varios factores. Entre los principales se pueden destacar la elección del principio activo, las propiedades fisicoquímicas del mismo, la genética del cultivo, el ambiente específico de crecimiento y las propiedades edáficas del sitio (humedad, pH, textura, MO y CIC) (Hartzler, 2002; Belfry *et al.*, 2015). En este sentido, se puede definir a la selectividad como una propiedad inherente a cada producto formulado utilizado para la protección de cultivos de no causar efectos fitotóxicos de relevancia que pudiesen acarrear consecuencias negativas e irreversibles sobre el cultivo. La selectividad de un formulado fitosanitario está influenciada no solo por su composición (principio/s activo/s) y rango de dosis empleado, sino también por la formulación específica que desarrolla cada fabricante o registrante, junto a las recomendaciones de uso que figuran en las etiquetas.

A partir de la emergencia y establecimiento del cultivo, la evolución de los síntomas de fitotoxicidad reflejó el impacto negativo del uso de los herbicidas. Desde el inicio de su empleo en PRE hasta el final del ciclo del cultivo, se observó que en promedio la utilización de herbicidas provocó alguna clase de daño frente al testigo sin intervención química. En la mayoría de las mediciones de los síntomas de fitotoxicidad (clorosis, reducción de biomasa y deformación) para diferentes fechas de evaluación, no hubo interacción significativa entre PRE y POST, a excepción de reducción de biomasa a los 14 DDA POST. Por lo tanto, el efecto de los tratamientos PRE y POST resultó ser principalmente aditivo. Al momento de analizar el impacto de los herbicidas POST, al no tener relevancia la aplicación PRE, pueden analizarse sus consecuencias de manera directa. Otro aspecto que considerar a lo largo del experimento fue la dinámica de los síntomas. Inmediatamente luego de la aplicación, los síntomas de fitotoxicidad se magnificaron hasta llegar a su máxima expresión entre 7 y 14 DDA POST (según el síntoma considerado) y a partir de allí comenzaron a declinar conforme el cultivo compensaba su efecto vía detoxificación. De esta manera, los tratamientos PRE + sin POST al estar menos expuestos a los herbicidas aplicados al follaje, tuvieron consecuencias más leves en comparación con los que recibieron PRE + POST.

Cuando se analiza la primera etapa desde la aplicación PRE hasta el instante anterior a la aplicación POST, todos los tratamientos provocaron en alguna medida síntomas como clorosis y reducción de biomasa. Cuando la soja desarrolló su primera hoja trifoliada a los 22 DDA (V1), los tratamientos PRE fomesafen+S-metolaclo-ro y sulfentrazone+S-metolaclo-ro, tuvieron un grado de afectación leve, en torno al 6 %. En cambio, se destacó desde etapas muy tempranas el tratamiento que contenía pyroxasulfone + flumioxazin por provocar una clorosis cercana al 40 % del total de la superficie de los folíolos. Esa tendencia en clorosis se mantuvo hasta V3, aunque el síntoma fue diluyéndose hasta hacerse casi imperceptible en los dos primeros tratamientos mencionados y permaneció en torno al 10 % para este último. Al momento en que la soja había alcanzado el estado fenológico V4, los síntomas de clorosis desaparecieron de manera completa, mientras que comenzó a evidenciarse la reducción de biomasa. En este sentido y de manera congruente con lo observado para clorosis, la combinación pyroxasulfone + flumioxazin mostró el mayor índice con 17,1 %, mientras que fue apenas 2,3 % para sulfentrazone + metolaclo-ro y nulo para fomesafen + S-metolaclo-ro. Este ordenamiento respecto al nivel de daño marcó un punto de partida diferente para cada PRE y condicionó las respuestas observadas luego de POST. La sintomatología expresada por la soja a los 7 DDA del tratamiento POST alcanzó el punto máximo de expresión. Esto ocurrió en un marco de excelente aprovisionamiento hídrico que le permitió al cultivo recuperarse de manera más eficaz.

En general, el tratamiento POST glifosato + lactofen fue el más agresivo seguido por glifosato + fomesafen + S-metolacoloro; mientras que glifosato + fomesafen fue el menos fitotóxico, independientemente del PRE. La fitotoxicidad se intensifica cuando la combinación glifosato + lactofen se aplica después de pyroxasulfone + flumioxazin. Sin embargo, a los 14 DDA POST hubo una reducción muy marcada de la biomasa de los tratados respecto al testigo, en donde la interacción PRExPOST fue significativa. Al analizar cada POST dentro de cada PRE, para fomesafen + S-metolacoloro y sulfentrazone + S-metolacoloro el orden decreciente de daño fue glifosato + lactofen > glifosato + fomesafen + S-metolacoloro > glifosato + fomesafen. En cambio, para pyroxasulfone + flumioxazin, la mayor reducción la obtuvo glifosato + fomesafen + S-metolacoloro con 16,7 % y fue diferente a los demás POST que tuvieron valores entre 10 y 13,3 %. Cabe destacar que en las últimas evaluaciones visuales de reducción de biomasa a los 25 y 48 DDA, los resultados mostraron que las parcelas que más tardaron en recuperarse fueron las tratadas con glifosato + lactofen para todos los PRE. Sin embargo, pyroxasulfone + flumioxazin presentó una menor biomasa desde etapas tempranas del desarrollo, con independencia de que hubiese o no recibido POST. Glifosato + lactofen demostró una dinámica diferente en cuanto a la recuperación del cultivo comparado con los otros POST. Para este tratamiento, entre los 7 y los 14 DDA POST, la clorosis aumentó hasta niveles muy importantes mientras que la reducción de biomasa y el porcentaje de deformación se fueron atenuando. Este fenómeno se dio a expensas de un activo crecimiento de la soja que se encontraba iniciando la formación de vainas (R3). Los antecedentes establecen que las consecuencias experimentadas por el cultivo frente al uso de lactofen en POST, están vinculadas con una menor conductancia estomática de las hojas expandidas, aunque sin efecto sobre las que se desarrollan luego de la aplicación. Este efecto transitorio se verifica como clorosis/ necrosis de los folíolos tratados en soja (Wichert & Talbert, 1993). Priess *et al.* (2020) reportaron fitotoxicidad sobre este cultivo del 15 % a los 14 DDA para fomesafen (a dosis un poco superior a la utilizada aquí) y del 12 % para la mezcla con S-metolacoloro (a dosis casi idénticas). El agregado de S-metolacoloro a fomesafen en el estudio mencionado, provocó un retraso de 4 días en alcanzar el 60 % de la cobertura del suelo, mientras que fomesafen tardó 3 días en conseguirlo. En el presente trabajo se determinó que la mezcla de glifosato + fomesafen + S-metolacoloro en alguna medida tuvo un impacto negativo en el crecimiento de la biomasa similar a glifosato + lactofen; en tanto ambos fueron superiores al registrado con glifosato + fomesafen.

Al momento de establecer un orden de riesgo de fitotoxicidad se podrían delinear algunas pautas en función de lo observado a campo en este experimento. De este modo, entre los tratamientos PRE, un orden decreciente de riesgo de uso podría ser: pyroxasulfone + flumioxazin > sulfentrazone + S-metolacoloro > fomesafen + S-metolacoloro; y para los tratamientos POST el orden sería: glifosato + lactofen > glifosato + fomesafen + S-metolacoloro > glifosato + fomesafen. Como comentario final cabe agregar que no se detectaron retrasos en el desarrollo del cultivo para ninguno de los tratamientos evaluados.

La utilización de sensores ópticos es una herramienta muy potente para detectar daños por herbicidas en el aparato fotosintético del cultivo durante la estación de crecimiento (Thelen *et al.*, 2004). Al momento de trazar un paralelismo entre lo observado para fitotoxicidad y las mediciones de NDVI, pueden establecerse algunos lineamientos comunes, a pesar de que existieron diferencias que impiden hacerlo de manera directa. Es el caso de la interacción PRExPOST, que para NDVI siempre fue significativa. Sin embargo, la menor actividad fotosintética registrada fue a los 7 DDA POST, en coincidencia con la mayor expresión de síntomas de fitotoxicidad. En este sentido, se observó que el testigo exhibió un NDVI de 0,77 comparado con 0,62 que se registró para el conjunto de los tratados. De modo similar el uso de glifosato + lactofen a los 7 DDA, siempre obtuvo el valor más bajo de NDVI. En dicha instancia este POST presentaba valores muy altos de clorosis y deformación. En cuanto a los demás POST, cuando se analiza fomesafen + S-metolacoloro o sulfentrazone + S-metolacoloro, se observa que el NDVI sin POST, glifosato + fomesafen y glifosato + fomesafen + S-metolacoloro se asemejan entre sí. En cambio, la combinación pyroxasulfone + flumioxazin sin POST mostró un índice mucho más alto que los que recibieron POST. Retomando lo ocurrido en términos de fitotoxicidad, se observó que la combinación pyroxasulfone + flumioxazin actuaba a modo de condicionante de la biomasa del cultivo. En términos de NDVI todos los tratamientos POST deprimieron la actividad fotosintética del cultivo para dicho PRE. A partir de las evaluaciones de 14 y 25 DDA, parecería que la

capacidad fotosintética del cultivo se fue restableciendo ya que muestra mejoras en los índices de vegetación coincidentes con la atenuación de los síntomas de fitotoxicidad (Papastylianou & Argyrokastritis, 2020; Niu *et al.*, 2023).

Las diferencias en producción de MS se encontraron entre el testigo y el conjunto de los tratados. Esto coincide con todo lo hallado en términos de fitotoxicidad y de alguna manera refleja el impacto negativo en la acumulación de biomasa que pueden causar los herbicidas. A pesar de ello, cuando se analizaron los tratados no se detectaron diferencias entre sí. Esto podría estar relacionado con la buena disponibilidad hídrica, propiciando la recuperación del efecto negativo de los herbicidas.

La altura de las plantas tuvo diferencias entre el testigo y el conjunto de los tratados. Sin embargo, no pudieron establecerse diferencias entre combinaciones de herbicidas. Existen evidencias que la altura de planta puede ser un indicador que ajusta en soja a la tolerancia al sulfentrazone (Hulting, 1997).

Rendimiento

En soja son frecuentes los reportes de daño sobre el rendimiento del cultivo debido al uso de herbicidas. Sin embargo, un menor vigor durante las etapas iniciales no siempre es un indicador adecuado para predecir un perjuicio sobre el mismo (Hagood *et al.*, 1980). Los tratamientos en los que se encontró una penalización en el rendimiento fueron dos. En primer lugar, pyroxasulfone + flumioxazin sin POST rindió 723,4 kg ha⁻¹ menos que el testigo y 984 kg ha⁻¹ menos que el promedio de sus otras combinaciones POST. En segundo término, sulfentrazone + S-metolaclo en combinación con glifosato + lactofen rindió en promedio 747 kg ha⁻¹ menos cuando se comparó este PRE con sus otros POST. En ambos casos, tanto sulfentrazone como flumioxazin son los que poseen mayor cantidad de antecedentes con respecto a generar daño al cultivo y podrían vincularse con un posible impacto en el rendimiento. En cuanto a pyroxasulfone, McNaughton *et al.* (2014) encontraron reducciones significativas del 6 % en rendimiento respecto de un testigo para un promedio de cuatro cultivares de soja utilizando una dosis de 178 g i.a. ha⁻¹ (muy similar a la de este estudio que fue de 170 g a.i. ha⁻¹) en aplicaciones con incorporación mecánica en pre-siembra. Sin embargo, Stephenson *et al.* (2017) aplicando pyroxasulfone en PRE y en POST, no reportaron pérdidas de rendimiento, ni aun con dosis de 300 g i.a. ha⁻¹. Existen trabajos que apoyan la idea que pyroxasulfone y flumioxazin pueden ser utilizados con seguridad en soja en pre-siembra o pre-emergencia sin provocar pérdidas de rendimiento (Mahoney *et al.*, 2014; McNaughton *et al.*, 2014). En este sentido, una serie amplia de trabajos con fomesafen, S-metolaclo y lactofen no reportaron mermas de rendimiento (Harris *et al.*, 1991; Wichert & Talbert, 1993; Pline *et al.*, 2002; Mangialardi *et al.*, 2016; Beam *et al.*, 2018; Priess *et al.*, 2020). Sulfentrazone y flumioxazin tienen ciertas similitudes por sitio de acción, residualidad y espectro de control, así como también la capacidad de infringir daño al cultivo de soja (Taylor-Lovell *et al.*, 2001). Las condiciones ambientales pueden condicionar la respuesta del cultivo. En el caso de sulfentrazone, el riesgo de fitotoxicidad aumenta en suelos con bajo contenido de materia orgánica (Wehtje *et al.*, 1997), pH alcalino y suelo de textura gruesa (Grey *et al.*, 1997; Reiling *et al.*, 2006). Para flumioxazin el aumento potencial del daño está asociado a condiciones de alta humedad de suelo (Sakaki *et al.*, 1991, extraído de Taylor-Lovell *et al.*, 2001). Para ambos herbicidas se ha determinado que las variedades de soja tienen distinta sensibilidad en función de su capacidad de tolerar el stress oxidativo del herbicida (Hulting *et al.*, 1997; Taylor-Lovell *et al.*, 2001; Priess *et al.*, 2020). En este trabajo en particular, existieron elementos que pudieron haber creado condiciones propicias para que el cultivo exhibiera las consecuencias negativas del uso de los herbicidas. Se puede destacar un ambiente húmedo que acompañó a todo el ciclo del cultivo, junto a un suelo con alto contenido de arena (68 %) y pobre en MO (1,5 %). Cabe recordar que la recomendación del marbete del producto comercial flumioxazin estipula una ventana de aplicación de al menos una semana antes de la siembra, a diferencia de lo realizado en este trabajo que la aplicación se realizó en pre-emergencia. Si bien, es probable que esta situación haya condicionado también los resultados de fitotoxicidad observados para pyroxasulfone + flumioxazin, debe tenerse en cuenta que posibilitó obtener información en un escenario desfavorable.

Ajustar las estrategias de manejo a las condiciones de suelo y climáticas locales resulta de

suma importancia para optimizar el uso de los herbicidas tendientes a favorecer la situación de competencia del cultivo de soja respecto a la maleza *A. hybridus* L. Generar conocimiento local en este sentido, resulta significativo para una producción más eficiente y sustentable.

CONCLUSIONES

Los tratamientos evaluados mostraron distintos niveles de fitotoxicidad sobre el cultivo de soja según la combinación de herbicidas aplicada. Si bien algunos tratamientos PRE como fomesafen + S-metolaclo y sulfentrazone + S-metolaclo presentaron efectos leves sobre el cultivo, pyroxasulfone + flumioxazin evidenció síntomas más severos desde etapas tempranas. Estos resultados no pueden interpretarse de manera aislada. La presencia de interacciones significativas entre los factores PRE y POST en algunas variables clave indica que el efecto de cada tratamiento depende del nivel del otro.

En este sentido, los impactos observados sobre biomasa, NDVI y rendimiento deben analizarse considerando las combinaciones específicas entre tratamientos, ya que algunos POST resultaron más agresivos sólo en presencia de determinados PRE. Por ejemplo, pyroxasulfone + flumioxazin sin POST deprimió el rendimiento significativamente frente al testigo. Por otra parte, la combinación sulfentrazone + S-metolaclo con glifosato + lactofen mostró un rendimiento menor que este mismo PRE con los demás POST evaluados.

Por lo tanto, el análisis conjunto de las estrategias de manejo PRE y POST resulta fundamental para comprender la selectividad de los herbicidas. La evaluación de combinaciones específicas aporta evidencia más robusta para la toma de decisiones en programas de control de malezas, especialmente cuando se consideran los riesgos de fitotoxicidad y su posible impacto sobre la productividad.



Equipo de investigación

BIBLIOGRAFÍA

- BALZARINI MG, GONZÁLEZ L, TABLADA M, CASANOVES F, DI RIENZO JA & ROBLEDO CW (2008). *Manual del usuario de InfoStat*. Editorial Brujas.
- BEAM SC, FLESSNER ML & PITTMAN KB (2018). Soybean flower and pod response to fomesafen, acifluorfen, and lactofen. *Weed Technology*, **32**(4), 444-447.
- BELFRY KD, SOLTANI N, BROWN LR & SIKKEMA PH (2015). Tolerance of identity preserved soybean cultivars to preemergence herbicides. *Canadian Journal of Plant Science*, **95**(4), 719-726.
- DEFELICE M, BROWN W, ALDRICH R, SIMS B, JUDY D & GUETHLE D (1989). Weed control in soybeans (*Glycine max*) with reduced rates of postemergence herbicides. *Weed Science*, **37**(3), 365-374.
- DI RIENZO JA et al. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.

- FRANS R, CROWLEY H & TALBERT R (1986). Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. En: Camper ND (Ed.), *Research Methods in Weed Science* (3.^a ed., pp. 29–46). Southern Weed Science Society.
- GAONA M (2025). *Selectividad de herbicidas usados en soja [Glycine max (L.) Merr.] para el control de Amaranthus hybridus* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de La Pampa].
- GREY TL, WALKER RH, WEHTJE GR & HANCOCK HG (1997). Sulfentrazone adsorption and mobility as affected by soil and pH. *Weed Science*, **45**(5), 733-738.
- HAGOOD E, WILLIAMS J, & BAUMAN T (1980). Influence of herbicide injury on the yield potential of soybeans (*Glycine max*). *Weed Science*, **28**(1), 40-45.
- HARRIS JR, GOSSETT BJ, MURPHY TR & TOLER JE (1991). Response of broadleaf weeds and soybeans to the diphenyl ether herbicides. *Journal of Production Agriculture*, **4**(3), 407-410.
- HARTZLER B (2002). *Absorption of soil-applied herbicides*. Iowa State University. Disponible en: <http://www.weeds.iastate.edu/mgmt/2002/soilabsorption.htm>
- HULTING A, WAX L & STOLLER E (1997). Tolerance levels of soybean cultivars to sulfentrazone. *Proceedings of the North Central Weed Science Society*, **52**, 105.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA) (2024). *Estrategia de amortiguamiento de fitotoxicidad en soja por herbicida post-emergente*. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2024/08/inta_crbsasnorte_eeapergami-no_amortiguamiento_fitotoxicidad.pdf
- KAPUSTA G, JACKSON LA & MASON DS (1986). Yield response of weed-free soybeans (*Glycine max*) to injury from postemergence broad-leaf herbicides. *Weed Science*, **34**(2), 304-307.
- KELLEY K, WAX L, HAGER A & RIECHERS D (2005). Soybean response to plant growth regulator herbicides is affected by other postemergence herbicides. *Weed Science*, **53**(1), 101-112.
- LEGLEITER T & JOHNSON B (2013). *Stunted, burned and crinkled soybean plants*. Purdue University. Disponible en: https://ag.purdue.edu/btny/purdueweeds/science/wpcontent/uploads/2021/02/PPO_soybean.pdf
- MAHONEY KJ, TARDIF FJ, ROBINSON DE, NURSE RE & SIKKEMA PH (2014). Tolerance of soybean (*Glycine max* L.) to protoporphyrinogen oxidase inhibitors and very long chain fatty acid synthesis inhibitors applied preemergence. *American Journal of Plant Sciences*, **5**(22), 3363-3374. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.522351>
- MANGIALARDI JP et al. (2016). Growth regulation with lactofen does not affect seed yield of irrigated soybean. *Agronomy Journal*, **108**(3), 1112-1115.
- MARINI RP (2003). Approaches to analyzing experiments with factorial arrangements of treatments plus other treatments. *HortScience*, **38**(1), 117-120.
- MCNAUGHTON K, SHROPSHIRE C, ROBINSON D & SIKKEMA P (2014). Soybean (*Glycine max*) tolerance to timing applications of pyroxa-sulfone, flumioxazin, and pyroxasulfone + flumioxazin. *Weed Technology*, **28**(3), 494-500.
- NIU Z, YOUNG J, JOHNSON WG, YOUNG B, WEI X & JIN J (2023). Early detection of dicamba and 2,4-D herbicide drifting injuries on soybean with a new spatial-spectral algorithm based on LeafSpec, an accurate touch-based hyperspectral leaf scanner. *Remote Sensing*, **15**(24), 5771. <https://doi.org/10.3390/rs15245771>
- PAPASTYLIANOU P & ARGYROKASTRITIS I (2020). Relationship of vegetation indices with herbicide phytotoxicity in winter cereals. *Agronomy*, **10**(6), 859. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060859>
- PIEPHO HP, WILLIAMS ER & FLECK M (2006). A note on the analysis of designed experiments with complex treatment structure. *HortScience*, **41**(2), 446-452.
- PLINE W, WILCUT J & EDMISTEN K (2002). Postemergence weed control in soybean (*Glycine max*) with cloransulam-methyl and diphen-yl ether tank-mixtures. *Weed Technology*, **16**(4), 737-742.
- PRIESS GL, NORSWORTHY JK, ROBERTS TL & GBUR EE (2020). Impact of postemergence herbicides on soybean injury and canopy formation. *Weed Technology*, **34**(5), 727-734.
- REILING KL, SIMMONS FW, RIECHERS D E & STECKEL LE (2006). Application timing and soil factors affect sulfentrazone phytotoxicity to two soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars. *Crop Protection*, **25**(3), 230-234.
- STEEL RGD & TORRIE JH (1960). *Principles and procedures of statistics*. McGraw-Hill.
- STEPHENSON DO, BLOUIN DC, GRIFFIN J, LANDRY RL, WOOLAM BC & HARDWICK JM (2017). Effect of pyroxasulfone application timing and rate on soybean. *Weed Technology*, **31**(2), 202-206.
- TAYLOR-LOVELL S, WAX L & NELSON R (2001). Phytotoxic response and yield of soybean (*Glycine max*) varieties treated with sulfentra-zone or flumioxazin. *Weed Technology*, **15**(1), 95-102.
- THELEN KD, KRAVCHENKO AN & LEE CD (2004). Use of optical remote sensing for detecting herbicide injury in soybean. *Weed Tech-nology*, **18**(2), 292-297.
- TUESCA D, PAPA JC, MORICHETTI S & MONTERO BULACIO N (2013). *Alerta: Amaranthus quitensis H.B.K. resistente a glifosato*. Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros.

- TUESCA D & PAPA JC (2016). Evaluación de herbicidas para el manejo de *Amaranthus palmeri* S. Watson en post-emergencia de un cultivo de soja (*Glycine max* L. Merr). *Para Mejorar la Producción*, **54**.
- TANETANI Y, KAKU K, KAWAI K, FUJIOKA T & SHIMIZU T (2009) Action mechanism of a novel herbicide, pyroxasulfone. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **95**, 47-55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2009.06.003>
- WEHTJE GR, WALKER RH, GREY TL & HANCOCK HG (1997). Response of purple (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedges (*C. esculentus*) to selective placement of sulfentrazone. *Weed Science*, **45**(3), 382-387.
- WHITAKER JR, YORK AC, JORDAN DL & CULPEPPER AS (2010). Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) control in soybean with glyphosate and conventional herbicide systems. *Weed Technology*, **24**(4), 403-410.
- WICHERT RA & TALBERT RE (1993). Soybean (*Glycine max* (L.)) response to lactofen. *Weed Science*, **41**(1), 23-27.
- YOUNG BG et al. (2003). Soybean development and yield as affected by three postemergence herbicides. *Agronomy Journal*, **95**, 1152-1156.