

MALEZAS

Revista de Asacim

Foto: Patricia Díez de Ulzurrun

EDITORIAL

Les presentamos el 14° número de nuestra revista MALEZAS. En esta edición encontrarán artículos de investigación de gran relevancia, con información de interés para productores, técnicos, investigadores y estudiantes vinculados al estudio y manejo de las malezas en Argentina y el mundo.

Este número presenta trabajos sobre temas de gran actualidad: la aplicación conjunta de fertilizante foliar y fomesafen para favorecer la recuperación del poroto en presencia de *Tithonia tubaeformis*; la selectividad de distintos herbicidas para el control de *Amaranthus hybridus* en soja; la respuesta de poblaciones de esta maleza a distintos herbicidas; la reducción de herbicidas mediante la incorporación de cultivos de cobertura sin afectar los rendimientos; y las alternativas a paraquat como desecantes en arveja. Finalmente, incluye una entrevista al Dr. Clarence Swanton sobre su descubrimiento de nuevos mecanismos de competencia vegetal, activados inicialmente a través de la comunicación entre plantas.

Los artículos de este número contaron con la participación de autores pertenecientes a AER Arroyo Seco, Agrofin Agrocommodities S.A., Chacra Experimental Miramar, CONICET, INTA-EEA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", INTA-EEA Oliveros, INTA-EEA Salta, Universidad de Buenos Aires, Universidad de La Pampa, Universidad de Salta, Unidad Integrada Balcarce INTA-Universidad de Mar del Plata y University of Guelph (en orden alfabético).

Les queremos contar que nuestra Revista MALEZAS ha sido indexada en LATINDEX. Este es un gran paso para incrementar la difusión de los trabajos en hispanoamérica, facilitar el acceso desde diferentes motores de búsqueda y, también, recibir trabajos de autores de otros países. Agradecemos a todos los autores por sus valiosas contribuciones y, en especial, a los evaluadores, cuyo trabajo permitió mejorar la calidad de esta edición mediante sus comentarios y sugerencias.

Asimismo, destacamos el apoyo económico de nuestros socios activos y empresas patrocinantes: SIGMAAGRO, SUMITOMO, SYNGENTA, TROPFEN y UPL.

Esperamos que la información aquí presentada resulte de utilidad para nuestros lectores y los invitamos a enviar sus trabajos de investigación, extensión o técnicos, así como artículos de revisión bibliográfica, notas o comunicaciones breves, opiniones, reseñas de libros o tesis, y artículos de periodismo científico en áreas como sistemática, biología, fisiología, dinámica de poblaciones, bioquímica, herbicidas, reguladores de crecimiento, agentes defoliantes, desecantes, biotecnología, tecnología de aplicación y métodos de control y manejo de malezas.

Las normas de publicación están disponibles en: [Normas de publicación MALEZAS 2024](#).

Cordialmente

Elba de la Fuente

Comité Editorial

revistamalezas.asacim@gmail.com

STAFF

Comisión Directiva de ASACIM

Presidente: Marcos Yannicari

Vicepresidente: Betina Kruk

Secretario: Patricia Diez de Ulzurrun

Prosecretario: Sebastián Sabate

Tesorero: Ramón Gigon

Protesorero: Javier Crespo

Vocales Titulares: Julián Oliva, Marcelo Metzler

Vocal Suplente: Elba de la Fuente

Comisión Asesora de Cuentas de ASACIM

Miembros Titulares: Eduardo Cortés, Marcelo de La Vega, Luis Lanfranconi

Miembro Suplente: Julio Scursoni

Equipo Editorial

Coordinador: Elba de la Fuente

Comité Editor: Francisco Bedmar, Roberto Javier Crespo, Patricia Diez de Ulzurrun, Diego Ustarroz, Marcos Yannicari, María Luz Zapiola, Carina Cabrera y Luis Carreto Nicolo

Editores Asociados: Amalia Belgeri, Guillermo Chantre, Alejandro García, Jose Luis González-Andújar, Pedro Gundel, Víctor Juan, Jorgelina Montoya, Fernando Oreja, Amalia Rios y Antonio Verdú

Diseño gráfico: Djasmine Deluca Alfano

Este número se realizó gracias al apoyo recibido por estas empresas

syngenta


**SIGMA
AGRO**

TROPFEN

 **SUMITOMO CHEMICAL**

 **UPL**

ÍNDICE

4	Flora espontánea en sistemas agrícolas con distinta intensificación de uso de tecnologías de insumos y procesos DIEZ ET AL.
21	Selectividad de herbicidas usados en soja para el control de <i>Amaranthus hybridus</i> L. GAONA ET AL.
37	Respuesta de <i>Amaranthus hybridus</i> L. a herbicidas con distinto sitio de acción RISSO ET AL.
49	Entrevista Dr. Clarence Swanton
53	Comportamiento de <i>Tithonia tubaeformis</i> frente a aplicaciones de fomesafen en poroto y respuesta a la fertilización orgánica foliar BERRUEZO ET AL.
67	Evaluación de herbicidas alternativos al uso de paraquat como desecantes en el cultivo de arveja (<i>Pisum sativum</i> L.) ESPOSITO ET AL.

Asociación Argentina de Ciencia de las Malezas (ASACIM)

Cátedra de Cultivos Industriales, Oficina 1 ASACIM. Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía – UBA
Av. San Martín 4453
(C1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires ARGENTINA



Flora espontánea en sistemas agrícolas con distinta intensificación de tecnologías de insumos y procesos

Spontaneous flora in agricultural systems with different intensification of input and process technologies

Diez de Ulzurrun¹, P.; Pontaroli^{2,3}, L.; Rozzi¹, E.

¹Unidad Integrada Balcarce (INTA-FCA, UNMdP). ²Chacra Experimental Miramar (MDA) Ruta 226, km 73,5. Balcarce, Argentina, ³Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID).
diezdeulzurrun@mdp.edu.ar

Citar como: Diez de Ulzurrun et al. (2025)
Flora espontánea en sistemas agrícolas con distinta intensificación de tecnologías de insumos y procesos en *Malezas* 14, 4-20

RESUMEN

Los agroecosistemas se caracterizan por un alto nivel de disturbios y una importante variación en los recursos aéreos-subterráneos. Estos disturbios crean nichos para la colonización de especies, generando cambios en el banco de semillas, siendo responsables de la estructura y dinámica de flora espontánea asociada a los cultivos. El objetivo del trabajo fue analizar la riqueza y abundancia de especies espontáneas en el banco de semillas de sistemas agrícolas con distinta intensificación en el uso de tecnologías de insumos-procesos y en corredores biológicos linderos, así como el rendimiento del cultivo de maíz. Se analizaron tres escenarios agrícolas: agricultura convencional (AC), intensificación ecológica (IE), intensificación sostenible (IS) y borduras (B). En abril de 2022 se muestreó el banco de semillas, posteriormente se registró e identificó el número de plántulas emergidas, cuantificando la riqueza de especies dicotiledóneas y abundancia de individuos. Se evaluó el rendimiento del cultivo de maíz, que estaba implantado al momento del muestreo en las parcelas cultivadas. Se reconocieron 26 especies, de 13 familias, predominó el origen exótico y ciclo de vida anual. La riqueza, así como la abundancia promedio de semillas m⁻², fue mayor en IE y B, siguieron en orden decreciente IS y AC. El mayor rendimiento de maíz se registró en AC e IS. El manejo en dichos ambientes limitaría la competencia de vegetación aérea con el cultivo, así como la cantidad de semillas que ingresan al banco, marcando la menor aplicación de insumos de síntesis química en el tratamiento de IS y su mayor diversidad de especies en relación a AC.

Palabras clave: banco de semillas, intensificación sostenible, agroecología, agricultura convencional.

SUMMARY

Agroecosystems are characterized by high levels of disturbance and significant variation in above-ground and belowground resources. These disturbances create niches for species colonization, generating changes in the seed bank and responsible for the structure and dynamics of spontaneous flora associated with crops. The objective was to analyze the richness and abundance of spontaneous species in the seed bank of agricultural systems with different intensification in the use of input-process technologies and in adjacent biological corridors, as well as the yield of maize crops. Three agricultural scenarios were analyzed: conventional

agriculture (AC), ecological intensification (IE), sustainable intensification (IS) and borders (B). In April 2022, the seed bank was sampled and the number of emerged seedlings was subsequently recorded and identified, quantifying dicotyledonous species richness and individual abundance. The yield of the maize crop planted at the time of sampling was evaluated in the cultivated plots. Twenty-six species from 13 families were recognized, with a predominance of exotic origin and annual life cycles. Richness and average seed abundance m^{-2} were highest in IE and B, followed in decreasing order by IS and AC. The highest corn yield was recorded in AC and IS. Management in these environments would limit competition between aboveground vegetation and the crop, as well as the number of seeds entering the seed bank. This is highlighted by the lower application of synthetic chemical inputs in IS treatment and its greater species diversity compared to AC.

Keywords: seed bank, sustainable intensification, agroecology, conventional agriculture.

INTRODUCCIÓN

A través de los años, la producción agrícola desencadenó un importante aumento de la superficie cultivada, así como el incremento en el uso de tecnologías basadas en insumos, con el fin de incrementar la producción y satisfacer las demandas de alimentación y subsistencia de la población creciente (Andrade, 2020). Así, en las últimas décadas, se acentuó un proceso de agriculturización caracterizado por un marcado incremento en el área sembrada de cultivos de granos, la expansión de la frontera agropecuaria, el incremento en el uso de tecnologías basadas en insumos, entre otras. Esto generó una fuerte presión sobre el ambiente, afectando al clima, suelo, agua y biodiversidad de los ecosistemas, comprometiendo la futura producción de alimentos (Paruelo *et al.*, 2006; Marshall, 2009; Abbate *et al.*, 2017; Bocchio *et al.*, 2019; Sarandón & Flores, 2014; Andrade, 2020).

La flora espontánea (entendida como componente vegetal no cultivado, que crece asociado al cultivo y/o a los espacios no cultivados) y la cultivada forman parte de la biodiversidad vegetal de un agroecosistema. Sin embargo, usualmente suele asignársele a la primera un valor negativo, asociándola a los términos malezas, arvenses, malas hierbas, entre otros. Si bien la flora espontánea es comúnmente considerada una amenaza para la producción, por sus efectos competitivos sobre el rendimiento de cultivos, no siempre su rol es negativo (Díaz *et al.*, 2006; Bonaudo *et al.*, 2014).

Los disturbios que se generan en un agroecosistema con las prácticas agrícolas crean nichos disponibles para la colonización de especies, a su vez, también provocan cambios en la disponibilidad de recursos tales como luz y nutrientes, o variaciones en el ambiente físico: temperatura, radiación solar y humedad (Denslow, 1985). Por ende, generan cambios no solo en la vegetación aérea, sino también en el banco de semillas, siendo en parte responsables de la estructura y dinámica de la vegetación asociada a los cultivos en un agroecosistema (Mohler *et al.*, 2006). El banco de semillas del suelo constituye el reservorio en un área determinada, pudiendo persistir por periodos de tiempo más o menos prolongados (Roberts, 1981; Haretche & Rodríguez, 2006). En consecuencia, el banco de semillas es fuente potencial de especies para la regeneración de la flora espontánea, regulando su densidad y la periodicidad de germinación y emergencia de especies (Acosta & Aguero, 2001; Hajaj, 2021).

Uno de los grandes retos de la agricultura moderna es encontrar un equilibrio entre la producción agrícola y la protección de la biodiversidad (Ramoá, 2014). Conocer la flora espontánea asociada a los cultivos, y el efecto de la misma sobre su rendimiento es fundamental para poder diseñar estrategias de manejo tendientes a lograr la mayor potencialidad de producción, sin comprometer la biodiversidad del ecosistema y los servicios que estos ofrecen. En este contexto, el objetivo del trabajo fue analizar la riqueza y abundancia de la flora espontánea del banco de semillas del suelo, en sistemas agrícolas con distinta intensificación de uso de tecnologías de insumos-procesos (reflejando distintas situaciones productivas actuales en el Sur de la Provincia de Buenos Aires) y en los corredores biológicos asociados, así como el rendimiento del cultivo de maíz que se encontraba implantado al momento del muestreo en las distintas situaciones de manejo planteadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Chacra Experimental de Miramar del Ministerio de Desarrollo Agrario ubicada en la localidad de Iraizoz, Provincia de Buenos Aires ($38^{\circ}09'30.8''\text{S}$ $57^{\circ}59'33.3''\text{W}$), en un lote de 4,5 ha (Figura 1). El suelo es un Argiudol típico, el clima es subhúmedo-húmedo, templado-frío en la época invernal y templado-cálido en la estival, durante el invierno ocurren heladas intensas y en ocasiones nevadas. La precipitación media anual ronda los 850 mm (Falasca *et al.*, 2000).



Figura 1. Módulo de intensificación ubicado en la Chacra Experimental Miramar ($38^{\circ}09'30.8''\text{S}$ $57^{\circ}59'33.3''\text{W}$), en el cual se comparan tres escenarios productivos. Donde, P= Parcelas con distinto manejo agronómico: P1-P3-P7= intensificación ecológica (IE), P2-P5-P8= agricultura convencional (AC), P4-P6-P9= intensificación sostenible (IS); B= borduras o corredores biológicos (B).

Desde el año 2020, en el módulo de intensificación se contrastan tres escenarios productivos agrícolas actuales del sur de la Provincia de Buenos Aires, en los que se compara la intensificación de uso de tecnologías de insumos y procesos, bajo las siguientes relaciones (Cuadro 1):

Tratamiento 1: “agricultura convencional” (AC) representa el modelo productivo predominante en la región agrícola del sudeste bonaerense. Se caracteriza por un elevado nivel de uso de tecnologías de insumos, tales como fertilizantes de síntesis química, herbicidas, insecticidas, fungicidas y cultivos transgénicos, mientras que la aplicación de tecnologías de procesos (por ejemplo, planificación detallada de rotaciones, manejo integrado de plagas, uso de cultivos de servicio o prácticas de conservación de suelos) es escasa o nula. Bajo este paradigma, las decisiones agronómicas tienden a estandarizarse, apuntando a la eficiencia operativa y a la simplificación de las prácticas de manejo (Oosterheld, 2008; Trigo *et al.*, 2009) (Cuadro 1).

Tratamiento 2: “intensificación sostenible” (IS), busca combinar la eficiencia productiva con una fuerte reducción del impacto ambiental, mediante la utilización de un alto nivel de tecnologías de procesos y una aplicación estratégica de tecnologías de insumos. El manejo se apoya en rotaciones diversificadas con inclusión sistemática de cultivos de servicio, que apor-

tan carbono, nitrógeno y cobertura al sistema. A diferencia del tratamiento ecológico, este esquema permite el uso de insumos como fertilizantes y fitosanitarios, integrando criterios de manejo basados en el monitoreo y el uso de umbrales de daño económico (UDE) para definir estrategias de control de plagas. En cuanto a la aplicación de herbicidas, cuando la condición productiva lo justifique, se utilizan aplicaciones dirigidas. De esta manera, se busca sostener la productividad con una alta eficiencia de uso de recursos y una intensificación biológica del sistema, reduciendo el uso de insumos, sin comprometer el rendimiento (Cuadro 1).

Tratamiento 3: “intensificación ecológica” (IE), simula un sistema adaptado a la zona de exclusión del partido de General Pueyrredón, donde el uso de agroquímicos está prohibido por ordenanza (Normativa de agroquímicos de General Pueyrredón, 2025). Se caracteriza por una alta incorporación de tecnologías de procesos y una aplicación mínima o nula de tecnologías de insumos. No se aplican fertilizantes de síntesis química o fitosanitarios. En su lugar, se prioriza la regulación natural del sistema a través de rotaciones diversificadas y decisiones agronómicas de mayor complejidad. El objetivo es sostener la productividad mediante un manejo ecológico intensivo, con bajo impacto ambiental y alta funcionalidad sistémica, adecuado para entornos sensibles, como los periurbanos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prácticas agronómicas realizadas en cada uno de los tratamientos destinados a contrastar tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, con distinta intensificación de uso de tecnologías de insumos y procesos. Donde, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible, IE: intensificación ecológica.

Variable	AC	IS	IE
Tecnologías de insumos	Alta utilización de insumos (fertilizantes, fitosanitarios)	Aplicación estratégica, justificada por monitoreo	No se aplican insumos de síntesis química
Tecnologías de procesos	Baja incorporación	Alta incorporación, con planificación estratégica	Alta incorporación (rotaciones, cultivos de servicio)
Cultivos de servicio	No se utilizan	Uso sistemático para mejorar suelo y reducir malezas	Uso intensivo: ocupación del nicho, incorporación de C y N al sistema
Control de malezas	Barbecho químico largo, control reactivo. Aplicaciones en cobertura total	Barbecho químico corto, cultivos de servicio y aplicaciones selectivas de herbicidas	Supresión por competencia, coberturas y ocupación del suelo.
Fertilidad del suelo	Reposición química (fertilizantes sintéticos)	Combinación de aportes biológicos y fertilizantes sintéticos	Fijación biológica, residuos orgánicos, roca fosfórica.
Plagas y enfermedades	Manejo químico protocolizado	Monitoreo + intervención por (umbral de daño económico) UDE	Control biológico y cultural/ sin intervención
Tipo de ambiente objetivo	Representativo del productor promedio regional	Rural, sin restricciones, orientado a sostenibilidad	Periurbano, con restricciones normativas

El diseño experimental siguió un diseño completamente aleatorizado (DCA), con tres repeticiones para cada tratamiento. Cada unidad experimental consta de aproximadamente 4.000 m². Entre cada una de las parcelas cultivadas, se realizaron corredores biológicos de 5 m de ancho (Figura 1), y en el perímetro del sitio experimental las mismas fueron de 7 m de ancho. Dichos

corredores permitieron generar un espacio de resguardo de biodiversidad de flora y fauna (insectos, pequeños mamíferos y aves de pastizal). En la Figura 2 se muestra la secuencia de cultivos para cada tratamiento, en el periodo comprendido entre 2020 y la actualidad.

Trat	2020	2021			2022		2023		2024		2025	
AC	Trigo	Soja 2*	BQ	Maíz	BQ	Girasol	BQ	Cebada	Soja 2*	BQ	Soja	
IE	Trigo	Vicia+Soja+Trigo		Maíz	Avena +Vicia	Barbecho LC	Girasol	Barbecho LC	Cebada	Vicia+gram	Soja	
IS	Trigo	BQ selectivo	Avena+Vicia	Maíz	Avena +Vicia	BQ selectivo	Girasol	BQ	Cebada	Soja 2*	Vicia+gram	Soja

Cultivo de renta

Cultivo de servicio

Barbecho químico

* El cultivo de servicio se suprimió de forma mecánica con el sistema BES (herramienta de labranza vertical de corte horizontal subsuperficial) en IE o con un rolo en IS.

Figura 2. Secuencia de cultivos y prácticas asociadas en cada uno de los tratamientos destinados a contrastar tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible, IE: intensificación ecológica. BQ: barbecho químico con herbicidas; BQ selectivo: aplicación selectiva de herbicidas; LC: labranza convencional.

Evaluación del banco de semillas del suelo

En abril de 2022 se realizó un muestreo de suelos para evaluar el banco de semillas. Para ello se tomaron muestras de suelo con un muestreador metálico (2,5 cm diámetro, 8 cm profundidad). Se tomaron nueve muestras al azar de cada tratamiento (c/u compuesta por ocho submuestras), recorriendo los lotes siguiendo un patrón en forma de W. Posteriormente, las muestras de suelo se homogeneizaron y se acondicionaron en bandejas de plástico (25 x 18 x 5 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente), se adicionaron en la base 2-3 cm de tierra estéril (Figura 3). Cada una de las bandejas (con la base perforada) fue colocada dentro de otra bandeja más grande a la cual se le agregaba agua para mantener húmedo el suelo. Las bandejas se mantuvieron en invernáculo por un período de 2 meses. Se evaluó la emergencia de las plántulas cada 7 a 10 días, contabilizando el número de individuos e identificando la especie correspondiente, las cuales eran extraídas de las bandejas. En algunos casos las especies se identificaron a nivel de plántula; cuando esto no fue posible las mismas fueron trasplantadas en macetas hasta su posterior identificación en estado vegetativo y/o reproductivo.

El reconocimiento de las especies dicotiledóneas se realizó utilizando claves de identificación botánica: Alonso (2007), Montes *et al.* (2001), Cabrera & Zardini (1978), Zuloaga *et al.* (2024). La identificación de los individuos de la familia Gramíneas o Poáceas se realizó únicamente a nivel de familia, ya que la duración del período de análisis de plántulas no permitió que las mismas lleguen a estado reproductivo, lo cual es fundamental para poder determinarlas a nivel de género y especie. La actualización de los nombres científicos, el origen o estatus de las especies (nativo/exótico) y el ciclo de vida (anual/bianual/perenne), se llevó a cabo con la base de datos Flora Argentina (www.floraargentina.edu.ar).



Figura 3. Evaluación del banco de semillas del suelo con muestreador metálico, y bandejas de germinación para identificación de especies vegetales.

Evaluación de rendimiento del cultivo de maíz

Durante la campaña 2021-2022 se sembró el cultivo de maíz en los tres ambientes cultivados, utilizándose el híbrido DK 72-20 VT3 en los tres tratamientos. A continuación, se describe el manejo de cultivo para cada uno de los tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prácticas agronómicas realizadas en barbecho previo y durante el cultivo de maíz, en cada uno de los tratamientos destinados a contrastar tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, con distinta intensificación de uso de tecnologías de insumos y procesos.

Prácticas agronómicas	Tratamientos		
Manejo del cultivo	AC	IS	IE
Barbecho	2 L ha ⁻¹ glifosato (54% e.a.*) + 0,8 L ha ⁻¹ 2,4-D (59% e.a.)	Cultivo de servicio (avena+vicia)	Cultivo de servicio (avena+vicia)
Control en pre-siembra y pre-emergencia	1,5 L ha ⁻¹ glifosato (54% e.a.) + 2 k ha ⁻¹ atrazina (90% i.a.**)	Rolo* + 2 L ha ⁻¹ glifosato (54% e.a.)	Supresión mecánica*** (BES)
Fecha de siembra	21 de octubre	20 de noviembre	14 de diciembre
Densidad (plantas ha ⁻¹)	57000	57000	75000
Fertilización (k ha ⁻¹ urea)	210	220	0

*e.a.= equivalente ácido; **i.a.= ingrediente activo, ***Supresión mecánica con el sistema BES (herramienta de labranza vertical de corte horizontal subsuperficial) en IE o con un rolo en IS.

El retraso en la fecha de siembra del tratamiento de IE se debió a un déficit de humedad, lo que comprometía la correcta implantación del cultivo de maíz. El cultivo de servicio se suprimió mecánicamente con una herramienta de labranza vertical (BES) el 9 de septiembre, dicho procedimiento generó pérdida de humedad en la capa superficial del suelo.

Análisis de la información

Se evaluó la diversidad florística de la vegetación a través de la estimación de la riqueza (N° de especies), la abundancia (N° de semillas m⁻²) y la expresión exponencial del índice de diversidad de Shannon-Wiener ($e^{H'}$) (Shannon & Weaver, 1949).

$$e^{H'} = e^{(-\sum (P_i \ln(P_i)))}$$

Donde P_i es la proporción de la especie i en la muestra analizada, y $\ln$ es el logaritmo natural. Este índice se interpreta como el número efectivo de especies en una comunidad (Jost, 2006). A fin de determinar similitud de la composición florística entre los diferentes tratamientos analizados, se utilizó el índice de Sorensen. Para el cálculo se consideró que la especie estaba presente en el tratamiento cuando la misma apareció en al menos una repetición. Donde a y b son especies únicas que aparecen en cada tratamiento y c las especies que aparecen en ambos tratamientos.

$$\text{Índice de Sorensen} \quad S = \frac{(2c)}{(a+b+2c)}$$

Los análisis de riqueza, abundancia y diversidad de especies en el banco de semillas, así como del rendimiento del cultivo de maíz, se compararon mediante análisis estadísticos univariados.

Para ello se realizó el test de normalidad de Shapiro-Wilks, con un nivel de significancia de 0,05, y en el caso de que los datos tuvieran una distribución normal, se realizó un ANOVA y, ante la detección de diferencias significativas entre tratamientos, posteriormente las medias fueron comparadas mediante el test LSD ($\alpha = 0,05$). Los efectos de los distintos tratamientos o manejos agrícolas sobre la composición de la comunidad de flora espontánea se analizaron a través del método estadístico multivariado de componentes principales PCA. Con ello, se obtuvo un diagrama biplot donde las especies vegetales fueron representadas por vectores y los tratamientos por puntos. Tanto los análisis univariados, como el multivariado fueron realizados a través del programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo, 2020).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición florística del banco de semillas

Se identificaron 26 especies en el banco de semillas del suelo, pertenecientes a 13 familias botánicas, siendo las más representativas Asteraceae (8 sp.), Brassicaceae (3 sp.), Apiaceae (3 sp.) y Caryophyllaceae (3 sp.) (Cuadro 3). Cabe recordar que por el acotado período de tiempo en que se realizó el ensayo no se identificaron las especies de la familia Poaceae, que tuvieron alta representatividad de acuerdo a resultados de muestreos de vegetación aérea, y a la alta abundancia registrada en el banco. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Juanenea (2023), en estudios del banco de semillas de agroecosistemas del Sur de Buenos Aires, donde se registró como familias más representativas a las Asteráceas (14), Poáceas (11), Brasicáceas (6) y Apiáceas (4). Además, las familias más representativas también son similares a las citadas en diversos relevamientos de vegetación aérea de agroecosistemas del Sur de la provincia de Buenos Aires (Jaimes *et al.*, 2020, Herrera *et al.*, 2023). Por su parte, relevamientos más antiguos también registraron a Asteráceas, Poáceas y Brasicáceas como las principales familias de malezas de lotes cultivados con cereales en el sur de la Provincia de Buenos Aires (Catullo, 1983; Isilar & Yannicari, 2013; Scursoni *et al.*, 2014).

Cuadro 3. Listado de especies, nombres comunes, familias botánicas, ciclo y origen o estatus de las especies identificadas en el banco de semillas de distintos sitios que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible, B: borduras. En las últimas tres columnas se muestra la abundancia de individuos en el banco de semillas del suelo expresada como el N° de semillas m⁻².

Especie y nombre común	Familia	Ciclo	Origen	N° semillas m ⁻²			
				CON	IE	IS	B
<i>Ammi majus</i> L. "apio cimarrón"	Apiaceae	A	E	142	256	0	0
<i>Anthemis cotula</i> L. "falsa manzanilla"	Asteraceae	A	E	0	0	57	0
<i>Bowlesia incana</i> Ruiz & Pav. "perejilillo"	Apiaceae	A	N	0	285	3390	3470
<i>Cardamine hirsute</i> L.	Brassicaceae	A	E	199	256	1083	598
<i>Capsella bursa pastoris</i> (L.) Medik. "bolsita de pastor"	Brassicaceae	A	E	0	142	0	85
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill. "yuyo peludo"	Caryophyllaceae	A	E	285	456	798	752
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten. "cardo negro"	Asteraceae	A	E	0	28	85	17
<i>Conyza</i> spp. "rama negra"	Asteraceae	A	N	0	0	28	410
<i>Cotula australis</i> (Sieber ex Spreng.) Hook. f. "botón de oro"	Asteraceae	A	E	171	256	285	496
<i>Cyclospermum leptophyllum</i> (Pers.) Britton & P. Wilson "apio silvestre"	Apiaceae	A	N	2165	598	1909	2085
<i>Dichondra microcalyx</i> (Hallier f.) Fabris "orejita de ratón"	Convolvulaceae	P	N	28,5	0	0	17
<i>Helminthotheca echinoides</i> (L.) Holub "pega-pega"	Asteraceae	A	E	0	57	0,0	0
<i>Hypochaeris radicata</i> L. "roseta"	Asteraceae	P	E	0	0	0,0	20
<i>Lamium amplexicaule</i> L. "ortiga mansa"	Lamiaceae	A	E	0	0	28	0
<i>Lepidium didymum</i> L. "mastuerzo"	Brassicaceae	A	N	741	1510	1197	3538
<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U. Manns & Anderb. "anagalis"	Primulaceae	A	E	114	114	1168	1624
<i>Oxalis conhoriza</i> Jacq. "vinagrillo amarillo"	Oxaliadiaceae	P	N	28	0	0	0
<i>Portulaca olearaceae</i> L. "portulaca"	Portulacaceae	A	E	85	57	114	34
<i>Senecio madagascariensis</i> Poir "flor amarilla"	Asteraceae	P	E	0	0	57	17
<i>Silene gallica</i> L. "calabacilla"	Cariofilaceae	A	E	28	28	342	256
<i>Solanum chenopodioides</i> Lam. "yerba mora"	Solanaceae	P	N	0	0	28,5	0
<i>Sonchus oleraceus</i> L. "cerraja"	Asteraceae	A	E	0	0	57	34
<i>Stellaria media</i> (L.) Cirillo "capiqui"	Caryophyllaceae	A	E	0	228	1168	632
<i>Trifolium repens</i> L. "trébol blanco"	Leguminosae	P	E	0	0	0	34
<i>Veronica persica</i> Poir. "veronica"	Plantaginaceae	A	E	0	57	1966	171
<i>Viola arvensis</i> Murray "pensamiento silvestre"	Violaceae	A	E	0	0	0	68
Gramíneas	Poaceae	-	-	3134	2422	3590	552
Ciclo A/B/P (promedio en cada tratamiento).				83,33/ 0/ 17,67	100/ 0/ 0	66,67/ 0/ 33,33	81,8/ 0/ 18,2
Origen E/N (promedio en cada tratamiento).				66,67/ 33,33	80/ 20	72,2/ 27,8	72,7/ 27,3

*Ciclo: A=anual, B=bianual, P=perenne. ** Origen: N=nativa, E=exótica.

La mayor riqueza de especies en el banco de semillas del suelo se registró en las parcelas de B e IE, las cuales se diferenciaron significativamente de las de IS y AC (LSD, $p < 0.05$), predominaron las especies de ciclo anual (66,67-100 %), y de origen exótico (66,67-80 %) (Figura 4, Cuadro 3). En todos los tratamientos hubo presencia de especies de la familia Poáceas. La abundancia de semillas fue superior en las B (22000 semillas m^{-2}), seguida en orden decreciente por el tratamiento de IE (17350 semillas m^{-2}), y diferenciándose significativamente de AC (7123 semillas m^{-2}) e IS (6752 semillas m^{-2}) (LSD, $p < 0.05$) (Figura 4).

La menor riqueza y abundancia de especies en el banco de semillas de ambientes cultivados, en comparación a ambientes sin disturbar, se relaciona a la regulación ejercida por ciertas prácticas de manejo agronómicas, y su influencia sobre el ingreso-egreso de semillas del banco. Así, la riqueza y abundancia de especies del banco de semillas en un ambiente cultivado es regulada por una serie de factores como la rotación de cultivos, la frecuencia en la aplicación, el tipo de herbicidas, la aplicación de fertilizantes, las labranzas, el uso de cultivos de cobertura y otras prácticas agrícolas (Koocheki *et al.*, 2009). Los tratamientos de AC e IS presentaron la menor abundancia de semillas y menor diversidad de especies. Por lo cual, el manejo en dichos ambientes generaría una menor relación entre el ingreso y egreso de semillas, ya sea a través de una menor fecundidad, o mediante aumento de los egresos (germinación, depredación, o muerte). En este sentido, cabe mencionar que las estrategias de manejo en los tratamientos de AC (tratamiento con herbicidas en barbecho previo a la siembra de maíz en 2021, y previo a la siembra de girasol en 2022) e IS (combinación de barbecho químico con aplicación selectiva de herbicidas en 2021, previo a la siembra de cultivo de servicio avena+vicia, y posterior al cultivo de servicio durante 2022, Figura 2) resultaron eficaces para disminuir la abundancia y diversidad de semillas del banco. Por su parte, las prácticas implementadas en IE (mezcla de cultivo de vicia+soja+trigo previo a la siembra de maíz, y cultivo de servicio de avena+vicia seguida por labranza mecánica previa a la siembra de girasol en 2022 (Figura 2), no resultaron tan eficaces en disminuir el ingreso en relación al egreso de semillas del banco.

Por otra parte, en varios relevamientos se ha registrado la mayor diversidad de especies en borduras o áreas sin cultivar, respecto de parcelas de cultivo, lo cual remarca la importancia de estos ambientes como refugio de biodiversidad de especies vegetales autóctonas y su fauna asociada (Torreta & Poggio, 2013; Juanenea, 2023; Herrera *et al.*, 2023). Datos bibliográficos a nivel mundial citan valores promedio en el banco de semillas entre 1000 y 80000 semillas m^{-2} (Requesens *et al.*, 2004), por otro lado, estudios del banco de semillas de malezas anuales en suelos cultivados citan 1000-10000 semillas m^{-2} (Mortimer, 1996). En consecuencia, los datos registrados en el presente estudio estarían dentro del rango estudiado en suelos agrícolas, incluso sobrepasando dichos valores en los tratamientos con menor intensificación, y en las borduras.

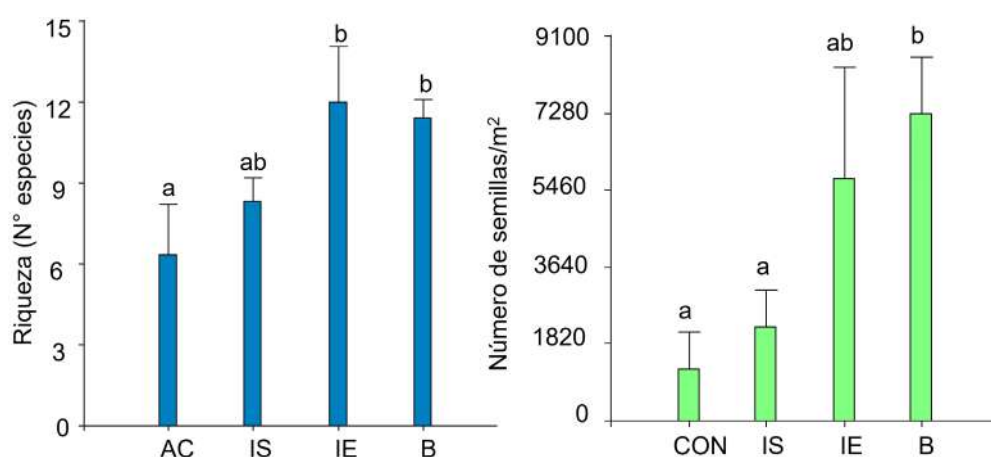


Figura 4. Riqueza de especies (número de especies) y abundancia de especies (número de semillas m^{-2}) en el banco de semillas del suelo en tratamientos que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible; B: borduras o corredores biológicos.

La expresión exponencial del índice de diversidad de Shannon-Wiener) para los tratamientos evaluados fue significativamente menor en las parcelas que en AC e IS, resultó intermedio en las parcelas de B y mostró los mayores valores en IE ($p < 0.05$) (Figura 5).

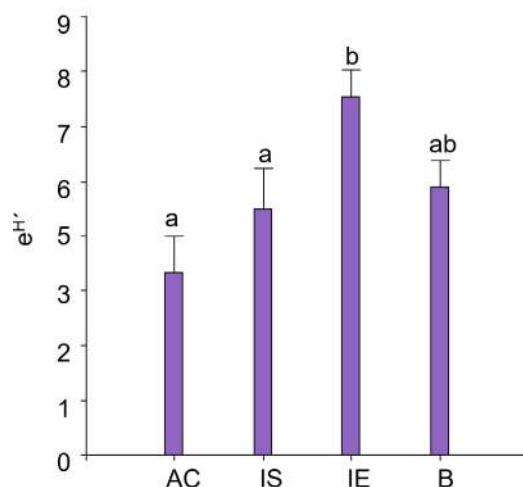


Figura 5. $e^{H'}$: expresión exponencial del índice de diversidad de Shannon-Wiener en muestreos realizados en el banco de semillas del suelo en tratamientos que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible; B: borduras o corredores biológicos. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los ambientes (LSD, $P < 0,05$).

Las especies más abundantes en el banco de semillas tuvieron distinta representatividad en los diferentes tratamientos. Las gramíneas fueron el grupo más representativo en todos los ambientes evaluados, mientras que otras especies presentaron variaciones entre los diferentes manejos. Las especies *Lepidium didymum*, *Cotula australis* y *Capsella bursa-pastoris* fueron abundantes en todos los tratamientos, lo cual refleja una menor sensibilidad a las prácticas de manejo realizadas en los distintos ambientes. Por su parte, otras especies como las del género *Conyza*, mostraron abundancia alta/media en AC, IS y B, y escasa representatividad en IE, lo cual señala que la combinación de herbicidas y cultivos de cobertura utilizados en AC e IS, y la alta cobertura de especies de las B (dicha especie es sensible a la competencia en estadios iniciales) limitarían el ingreso de semillas al banco (Figura 6).

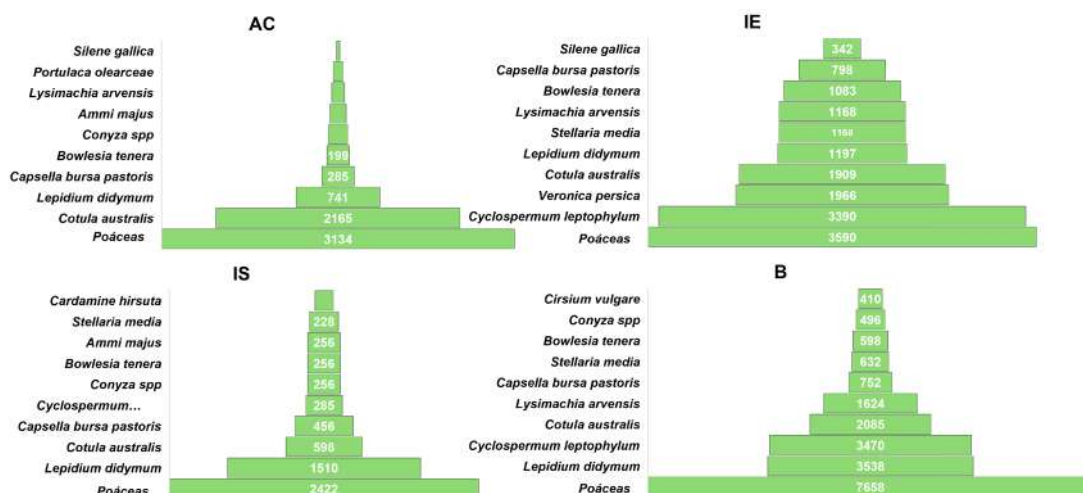


Figura 6. Especies con mayor abundancia en el banco de semillas del suelo (número de individuos m^{-2}) en tratamientos que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible; B: borduras o corredores biológicos.

En el Cuadro 4 se presentan los índices de similitud entre los distintos tratamientos para los relevamientos realizados en el banco de semillas del suelo. Los tratamientos que presentaron mayor similitud fueron B e IE (81 % de similitud para las especies presentes en el banco de semillas del suelo), en tanto, los más disímiles fueron las B con AC (67 %). Estos resultados indican que las prácticas de manejo implementadas en dichas parcelas estarían favoreciendo a ciertas especies, que resultarían similares a las que se adaptan a ambientes poco disturbados. Por su parte, las prácticas de manejo implementadas en AC generarían las mayores diferencias con los ambientes sin disturbar, resultando intermedio en IS. Además, este análisis permitiría comparar la similitud de las borduras con los distintos lotes cultivados, evaluando la posibilidad de que estas contribuyan con especies que puedan luego invadir las parcelas cultivadas. En este sentido, cabe remarcar que las parcelas que más similitud presentaron con las borduras fueron las de IE, mientras que las más disímiles fueron AC e IE. Esto indicaría que la aplicación de herbicidas, la fertilización, la rotación de cultivos, entre otras prácticas de manejo de AC e IE limitarían la colonización de especies de las borduras, a diferencia de lo que podría suceder en parcelas con IE.

Cuadro 4. Índices de similitud de Sorensen en muestreo realizado en el año 2022, para los tratamientos intensificación ecológica (IE), Agricultura convencional (AC) e intensificación sostenible (IS).

IE	AC	IS	B	
1	0,69	0,7	0,81	IE
	1	0,76	0,67	AC
		1	0,77	IS
			1	B

El análisis estadístico multivariado de PCA, considerando la abundancia de especies en el banco de semillas del suelo para los distintos manejos, explicó el 91% de la variación en la composición florística (representado por el eje 1 con 53,3 % y el eje 2 con el 37,7 % de la variabilidad). Los distintos ambientes de muestreo se ordenaron a lo largo del eje 1, el que permitió diferenciar a las B ubicadas a la derecha en el gráfico, del resto de los tratamientos. A su vez, también diferenció claramente a IE, de AC e IS (ambos cercanos en el gráfico). Las B estuvieron asociadas a la mayor cantidad de especies de flora espontánea entre ellas se pueden mencionar a *Viola arvensis*, *Lepidium didymum*, *Conyza* spp., *Helminthotheca echinoides* y el grupo de gramíneas. Por su parte el eje 2, permitió separar al tratamiento de IE de los de AC e IS, estos últimos estuvieron asociados a la menor diversidad de especies de flora espontánea, principalmente se vincularon a *Ammi majus*. Por su parte el tratamiento de IE estuvo asociado a una mayor cantidad de especies vegetales que los dos anteriores, aunque menor a las B, entre ellas podemos mencionar a: *Veronica* spp., *Lamium amplexicaule*, *Sonchus oleraceus* y *Stellaria media*, entre otras (Figura 7).

Con uso reducido de herbicidas, la intensificación sustentable con cultivos de cobertura logró rendimientos similares a la agricultura convencional, con mayor diversidad vegetal y servicios ecosistémicos

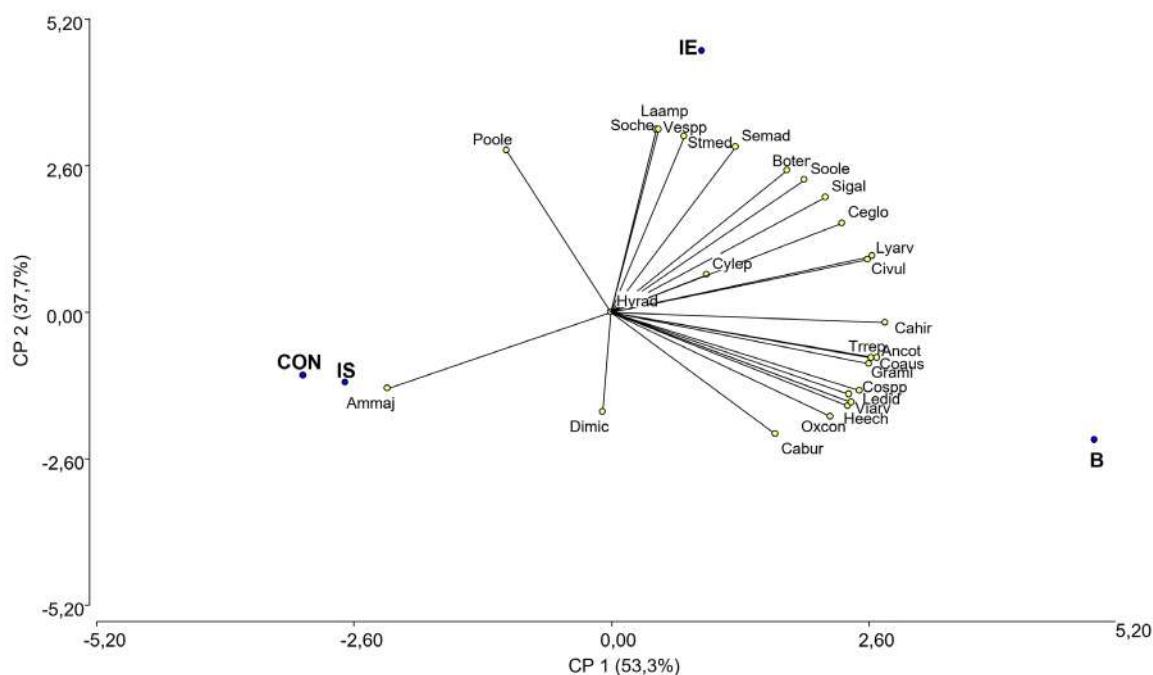


Figura 7. Análisis de componentes principales de flora espontánea del banco de semillas del suelo en muestreos realizados durante 2022 en tratamientos que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible; B: borduras o corredores biológicos. Las siglas en los vectores indican las dos primeras letras del género, seguidas de las tres primeras letras del epíteto específico.

Rendimiento

El mayor rendimiento del cultivo de maíz en los distintos ambientes de estudio se registró en los tratamientos de IS y AC, diferenciándose significativamente del tratamiento IE (LSD, $P < 0,05$) (Figura 8). Los tratamientos con menor abundancia de semillas m^{-2} en el banco, fueron los que registraron el mayor rendimiento en grano, independientemente de la riqueza de especies presentes en dicho tratamiento (ya que la riqueza de IS fue superior a la registrada en AC, ambos con rendimientos similares). Cabe remarcar que el 15/3/22, ocurrió una helada temprana que afectó principalmente al cultivo de la parcela de IE, por estar fenológicamente más susceptible en relación con las parcelas de AC e IS, que se sembraron de forma anticipada. Además, el tratamiento IE no recibió fertilización nitrogenada. Por lo cual, no se puede concluir que el menor rendimiento registrado en la parcela IE se deba únicamente a la mayor abundancia de flora espontánea en el banco (que generaría competencia a través de una mayor densidad), ya que hubo variaciones en el manejo entre las diferentes parcelas cultivadas.

Es necesario profundizar en el análisis de la riqueza y abundancia de especies bajo distintos contextos de manejo, considerando la variabilidad climática y el potencial competitivo de las malezas para afectar el rendimiento. Aun con un uso restringido de herbicidas, como en IS, la integración con cultivos de cobertura permitió obtener rendimientos de maíz similares a los de AC, junto con una mayor diversidad vegetal y beneficios asociados en términos de servicios ecosistémicos. Asimismo, resulta prioritario avanzar en el estudio de escenarios como IE, relevantes para productores y asesores que trabajan en regiones con restricciones al uso de agroquímicos.

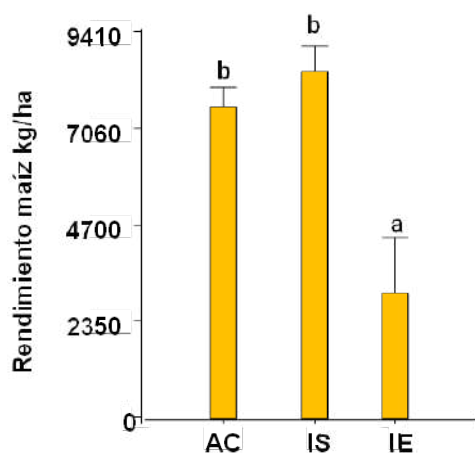


Figura 8. Rendimiento del cultivo de maíz (kg/ha) en tratamientos que contrastan tres escenarios productivos actuales del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires. Donde, IE: intensificación ecológica, AC: agricultura convencional, IS: intensificación sostenible.

CONCLUSIONES

- Se identificaron 26 especies en el banco de semillas del suelo, pertenecientes a 13 familias botánicas. Las especies de origen exótico y ciclo anual fueron predominantes en todos los ambientes.
- Las borduras fueron el ambiente con mayor riqueza y abundancia de semillas en relación al resto de las situaciones evaluadas.
- Los tratamientos que presentaron mayor similitud florística en el banco de semillas del suelo fueron B y I IE (81% de similitud), en tanto, los más disímiles fueron B y AC (67%).
- El análisis multivariado de PCA, basado en la abundancia de especies del banco de semillas, explicó el 91% de la variación en la composición florística y permitió diferenciar con claridad los distintos manejos. Las B se asociaron con la mayor riqueza de flora espontánea, AC e IS con la menor diversidad, mientras que IE presentó valores intermedios.
- El mayor rendimiento de maíz se obtuvo en los tratamientos IS y AC, que se diferenciaron significativamente de IE. Si bien los tratamientos con menor abundancia de semillas m^{-2} registraron los mayores rendimientos, no fue posible atribuir este resultado únicamente a la reducción en la abundancia de especies.

Equipo de investigación



BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE P (2017) Bases ecofisiológicas del manejo del cultivo de trigo en la región pampeana. En IPNI (Eds.), *Manual del cultivo de trigo* (cap. 3, pp. 33-52). International Plant Nutrition Institute.
- ALONSO SI (2007) *Principales malezas en cultivos y rastrojos del sudeste bonaerense. Clave ilustrada para su identificación en los estadios de plántula o rebrote*. Cuadernillo didáctico de Botánica Agrícola, **1, 23**. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- ANDRADE FH (2020) *Los desafíos de la agricultura* (1a ed. ampliada). Ediciones INTA. ISBN 978-987-8333-68-7. CDD 630.1. Disponible en: http://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- BENECH ARNOLD R, BATTLA D, GUGLIEMINI AC & KRUK BC (2014). Ecología de malezas II: La reanudación del crecimiento y el aumento del área. En OA FERNÁNDEZ, ES LEGUIZAMÓN, & HA ACCIARESI (Eds.), *Malezas e Invasoras de la Argentina* (Tomo I), pp. 139-171 Editorial de la Universidad Nacional del Sur.
- BOCCHIO V, REQUESENS E & MESTELAN S (2019) Tendencias y equitatividad de los principales cultivos extensivos en el centro de la provincia de Buenos Aires. *RIA*, **45(2)**, 196-203.
- BONAUDO T et al. (2014) Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European Journal of Agronomy*, **57**, 43-51.
- CABRERA AL & ZARDINI EM (1978) *Manual de la flora de los alrededores de la Provincia de Buenos Aires*. Editorial Acme.
- CANO PB, CABRINI SM, PEPPER AM & POGGIO SL (2023). Multi-criteria assessment of cropping systems for the sustainable intensification in the Pampas. *Agricultural Systems*, **210**, 103723.
- CATULLO JC, VALETTI OE, RODRÍGUEZ ML & SOSA CA (1983) Relevamiento de malezas en cultivos comerciales de trigo y girasol en el centro-sur bonaerense. *Malezas*, **11(2)**, 204-235.
- DENSLOW S (1985). Disturbance-mediated coexistence of species. En STA PICKETT & PS WHITE (Eds.), *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics* (pp. 307-323). Academic Press.
- DI RIENZO JA, CASANOVES F, BALZARINI MG, GONZÁLEZ L, TABLADA M & ROBLEDO C W. (2020) *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <http://www.infostat.com.ar>
- FALASCA S, ULBERICH A, BERNABÉ M & MORDENTI S (2000) Principales características agroclimáticas del sudeste bonaerense, República Argentina. *Revista Geográfica*, **127**, 91-102.
- FELEDYN-SZEWCZYK B, SMAGACZ J, KWIATKOWSKI CA, HARASIM Z & WOZNIAK A (2020) Weed flora and soil seed bank composition as affected by tillage system in three-year crop rotation. *Agriculture*, **10(186)**, 1-20. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050186>
- FLORA ARGENTINA (2025) *Plantas vasculares de la República Argentina*. <http://www.floraargentina.edu.ar>
- GLIESSMAN SR et al. (2007) Agroecología: Promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, **16**, 13-23.
- HARETCHE F & RODRÍGUEZ C (2006) Banco de semillas de un pastizal uruguayo bajo diferentes condiciones de pastoreo. *Ecología Austral*, **16**, 105-113.
- HERRERA LP & LATERRA P (2011). Relative influence of size, connectivity and disturbance history on plant species richness and assemblages in fragmented grasslands. *Applied Vegetation Science*, **14**, 181-188.
- HERRERA LP, ESTAVILLO C, ECHEVERRÍA M & DIEZ DE ULZURRUN P (2023) El potencial invasor de la vegetación espontánea en los agroecosistemas. *Horizonte A*, **167**, 54-60. https://issuu.com/horizonteadigital/docs/hori_167
- HERRERA LP, JAIMES FR, GARAVANO ME, DELGADO SG, & ISPÍZUA VN (2020) Vegetation in rural roadsides of the Pampa region (Argentina): An opportunity for grassland conservation? *Écoscience*, **27(2)**, 127-140.
- ISTILART C & YANNICARI M (2013) Análisis de la evolución de malezas en cereales de invierno durante 27 años en la zona sur de la pampa húmeda argentina. En *Actualización técnica en cultivos de cosecha fina 2012/13*, 113-116. Ediciones INTA.
- JAIMES FR, DIEZ DE ULZURRUN P & HERRERA LP (2020) Las malezas en la transición agroecológica. *Visión Rural*, **133**, 31-36.
- JOST L (2006) Entropy and diversity. *Oikos*, **113(2)**, 363-375. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- JUANENEA C (2023). *Flora espontánea en una transición agroecológica: Evaluación a través del banco de semillas del suelo* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Agrarias, UNMdP.
- KOOCHKEI A, NASSIRI M, ALIMORADI L & GHORBANI R (2009) Effect of cropping systems and crop rotations on weeds. *Agronomy for Sustainable Development*, **29**, 401-408. <https://doi.org/10.1051/agro/2008061>
- MARSHALL EJP (2009) The impact of landscape structure and sown grass margin strips on weed assemblages in arable crops and their boundaries. *Weed Research*, **49**, 107-115. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00670>
- MOHLER CL (1996) Ecological bases for the cultural control of annual weeds. *Journal of Production Agriculture*, **9**, 468-474.
- MONTES L, ALONSO SI, NUCIARI MC, CLAUSEN A, GUMA IR & ECHARTÉ AM (2001) *Flora espontánea del Sudeste Bonaerense. Clave ilustrada para la identificación de las principales dicotiledóneas herbáceas por sus caracteres vegetativos*. UNMdP/INTA EEA Balcarce.

- MORTIMER A (1996). La clasificación y ecología de las malezas. En R LABRADA, J CASELEY, & C PARKER (Eds.), *Manejo de malezas para países en desarrollo* (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal-120). FAO. <https://www.fao.org/4/T1147S/t1147s06.htm>
- NORMATIVA DE AGROQUÍMICOS. (2025). <https://www.mardelplata.gob.ar/Contenido/normativa-agroquimicos>
- PARUELO JM et al. (2006) Cambios en el uso de la tierra en Argentina y Uruguay: Marcos conceptuales para su análisis. *Agrociencia*, **10(2)**, 47-61.
- PRETTY J et al. (2018) Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, **1**, 441-446.
- RAMOA STA (2014) *Caracterización y dinámica de la flora espontánea en los cultivos del baixo Alentejo (Portugal). Análisis del impacto de factores ambientales* (Tesis doctoral). Universidad de Extremadura.
- REQUESENS E, SCARAMUZZINO R & MARTÍNEFSKY MJ (2004) Banco de semillas de malezas a lo largo de un gradiente microtopográfico en un suelo agrícola de Azul (Buenos Aires). *Ecología Austral*, **14**, 141-147.
- ROBERTS HA (1981) Seed banks in the soil. *Advances in Applied Biology*, **6**, 55. Academic Press.
- SARANDÓN SJ (2002) *Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas.
- SARANDÓN, S. J., & FLORES, C. C. (2014). *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- SCURSONI JA et al. (2014). Changes in weed communities of spring wheat crops of Buenos Aires Province of Argentina. *Weed Science*, **62**, 51-62.
- TORRETA JP & POGGIO SL (2013) Species diversity of entomophilous plants and flower-visiting insects is sustained in the field margins of sunflower crops. *Journal of Natural History*, **47**, 139-165.
- ZULOAGA FO, BELGRANO MJ & ANTON AM (Eds.) (2024) *Flora vascular de la República Argentina*. IBODA-IMBIV (CONICET). <http://www.floraargentina.edu.ar>

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 stand 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

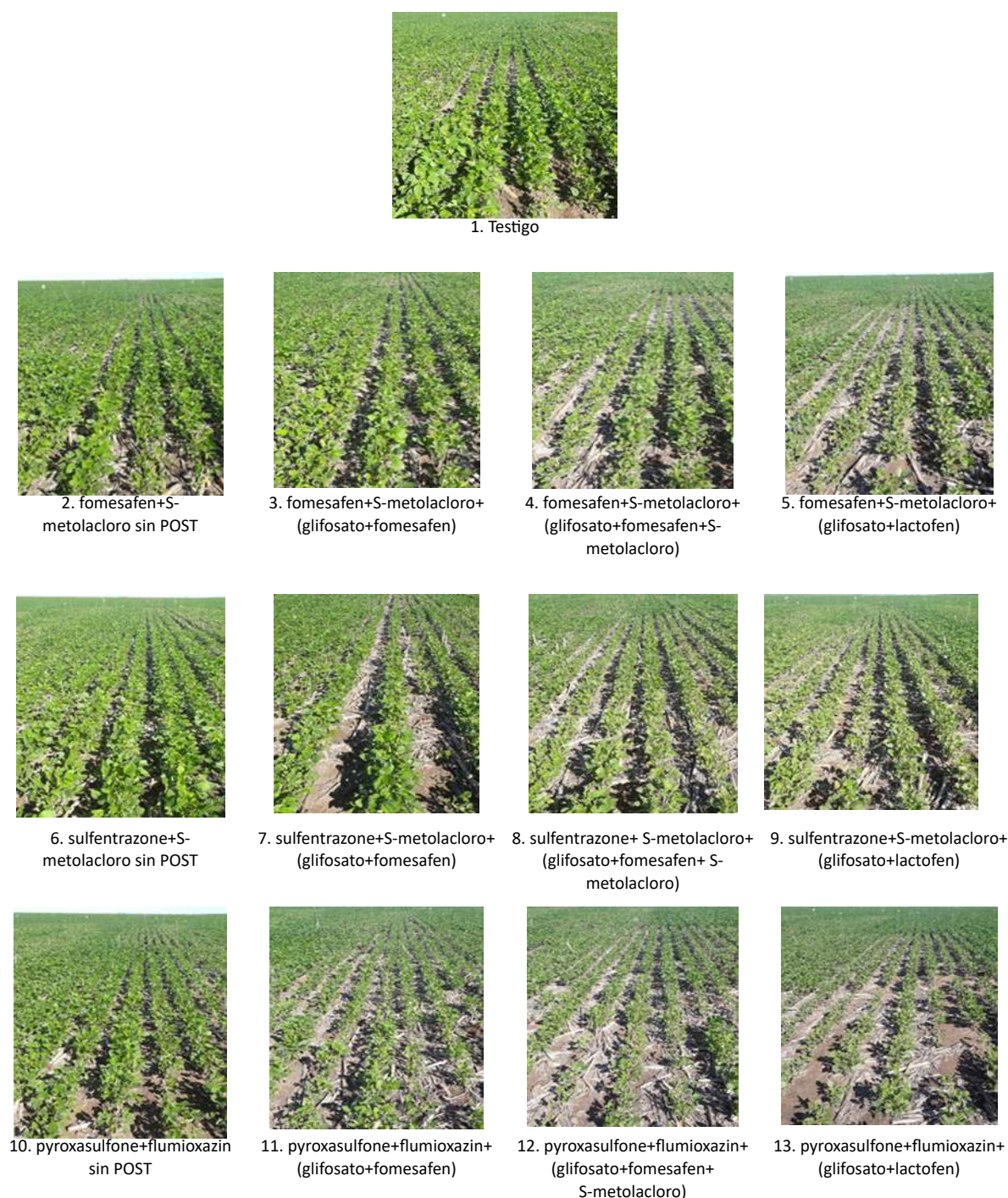


Figura 1. Fotografías de los tratamientos 1-13 que ilustran la reducción de biomasa 7 DDA POST a nivel de parcela.

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-metolachloro 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-metolachloro (5,33 %) y sin POST (0 %) no se diferenciaron entre sí. Las combinaciones de sulfentrazone + S-metolachloro con glifosato + lactofen o con glifosato + fomesafen + S-metolachloro 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 llega 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-metolaclozoxim 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-metolaclozoxim.

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-metolaclozoxim y sulfentrazone+S-metolaclozoxim, 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 + metolaclozoxim y nulo para fomesafen + S-metolaclozoxim. 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/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.

Respuesta de *Amaranthus hybridus* L. a herbicidas con distinto sitio de acción

*Response of Amaranthus hybridus L.
to herbicides with different sites of action*

Risso, A.; Morello, J.P.; Scursoni, J.A.

Cátedra de Producción Vegetal. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía
scursoni@agro.uba.ar

Citar como: Risso et al. (2025)
*Respuesta de Amaranthus hybridus L. a herbicidas con
distinto sitio de acción en Malezas 14, 37-48*

RESUMEN

En los últimos años se han observado fallas en el control de yuyo colorado con herbicidas pertenecientes a distintos modos de acción. En este contexto, se llevaron a cabo dos experimentos en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía (UBA), utilizando poblaciones de *Amaranthus hybridus* L. provenientes del sur de Santa Fe, con el objetivo de evaluar su respuesta a diferentes tratamientos herbicidas. Cada experimento se planteó con un diseño factorial compuesto por dos poblaciones y ocho tratamientos herbicidas, con cuatro repeticiones. En el primer experimento se aplicaron saflufenacil, fomesafén, fomesafén + metolaclo, clorimurón y paraquat. Para saflufenacil y paraquat, cuatro unidades experimentales se mantuvieron con luz y otras cuatro en oscuridad durante las 18 horas posteriores al tratamiento. En el segundo experimento se aplicaron 2,4-D, dicamba, clorimurón glufosinato de amonio y fomesafén; en este caso, la mitad de las plantas tratadas con fomesafén y glufosinato de amonio se mantuvieron con luz y la otra mitad en oscuridad después de la aplicación. A los 7, 15, 25 y 45 días posteriores a la aplicación de los herbicidas se evaluó la supervivencia. En madurez se registraron el peso húmedo y la producción de semillas de los individuos de cada unidad experimental, y luego se calculó la relación biomasa/producción de semillas para cada tratamiento. Los tratamientos con paraquat, glufosinato de amonio, fomesafén + metolaclo, saflufenacil (bajo condición lumínica) y 2,4-D fueron los más eficaces. La eficacia de saflufenacil y fomesafén disminuyó en condiciones de oscuridad posterior a la aplicación. Las poblaciones evaluadas mostraron baja sensibilidad a clorimurón. Se observó una respuesta diferencial frente a los herbicidas auxínicos, siendo 2,4-D más eficaz que dicamba. La relación semillas por gramo de biomasa húmeda a madurez fue $y = 592,8x$ y $y = 372,3x$ en los dos experimentos, respectivamente.

Palabras clave: yuyo colorado, herbicidas post emergentes

SUMMARY

In recent years, control failures of smooth pigweed (*Amaranthus hybridus* L.) have been observed with herbicides belonging to different modes of action. In this context, two experiments were conducted at the Experimental Field of the School of Agronomy (UBA), using *A. hybridus* populations from southern Santa Fe, with the objective of evaluating their response to different herbicide treatments. Each experiment followed a factorial design including two populations and eight herbicide treatments, with four replications. In the first experiment, saflufenacil, fomesafen, fomesafen + metolachlor, chlorimuron and paraquat were applied. For saflufenacil and paraquat, four experimental units were kept with light and other four in darkness during the 18 hours after treatment. In the second experiment, 2,4-D, dicamba, chlorimuron glyphosate of ammonium and fomesafen were applied; in this case, half of the plants treated with fomesafen and glyphosate of ammonium were kept with light and the other half in darkness after application. At 7, 15, 25 and 45 days after application of the herbicides, survival was evaluated. At maturity, the fresh weight and seed production of the individuals of each experimental unit were recorded, and then the biomass/seed production ratio was calculated for each treatment. The treatments with paraquat, glyphosate of ammonium, fomesafen + metolachlor, saflufenacil (under light condition) and 2,4-D were the most effective. The efficacy of saflufenacil and fomesafen decreased in conditions of darkness after application. The evaluated populations showed low sensitivity to chlorimuron. A differential response was observed to the auxinic herbicides, 2,4-D being more effective than dicamba. The relationship seeds per gram of fresh biomass at maturity was $y = 592,8x$ and $y = 372,3x$ in the two experiments, respectively.

mesafen, fomesafen + metolachlor, chlorimuron, and paraquat were applied. For saflufenacil and paraquat, four experimental units were kept under light and four under darkness during the 18 hours following treatment. In the second experiment, 2,4-D, dicamba, chlorimuron glufosinate-ammonium, and fomesafen were applied; in this case, half of the plants treated with fomesafen and glufosinate-ammonium were kept under light and the other half in darkness after application. Survival was assessed at 7, 15, 25, and 45 days after herbicide application. At maturity, fresh weight and seed production of individuals in each experimental unit were recorded, and the biomass/seed production ratio was subsequently calculated for each treatment. Treatments with paraquat, glufosinate-ammonium, fomesafen + metolachlor, saflufenacil (under light conditions), and 2,4-D were the most effective. The efficacy of saflufenacil and fomesafen decreased under post-application darkness. The populations evaluated showed low sensitivity to chlorimuron. A differential response to auxinic herbicides was observed, with 2,4-D being more effective than dicamba. The seed-to-fresh-biomass ratios at maturity were $y = 592.8x$ and $y = 372.3x$ in the two experiments, respectively.

Keywords: pigweed, post-emergence herbicides

INTRODUCCIÓN

El yuyo colorado, *Amaranthus hybridus* L. es una maleza anual, de ciclo primavero-estival, ampliamente distribuida en la República Argentina y muy frecuente en cultivos de producción de granos tales como soja, maíz y girasol. Posee atributos biológicos que lo convierten en una maleza muy agresiva tales como alta tasa de crecimiento (debido a su metabolismo C4, puede llegar a crecer 2-6 cm de altura por día), elevada producción de semillas y alta habilidad competitiva, entre otras (Black, 1973; Leguizamón *et al.*, 2006; Faccini *et al.*, 2018, citado en Díez de Ulzurrun *et al.* 2023).

Leguizamón *et al.* (1994) registraron disminución de 13% en el rendimiento de cultivos de soja con presencia de una planta de yuyo colorado por m². En condiciones de producción de la zona núcleo argentina, Vitta *et al.* (2000) registraron pérdidas del 20% en el rendimiento de soja, con una cobertura del 20% de yuyo colorado. Asimismo, la reducción de rendimiento en cultivos de soja del sudeste de Buenos Aires (Balcarce) fue de 17, 40 y 98 % para tres densidades de yuyo colorado, baja (2-3 plantas m⁻²), intermedia (4-17 plantas m⁻²) y alta (36-47 plantas m⁻²) (Mastornardi *et al.* 2021).

Cousens (1985) modeló los efectos de competencia interespecífica entre diferentes especies maleza y cultivos de soja, estableciendo la representación matemática $PR(\%) = ((I \times d) / 1 + (I \times d/A))$, siendo **PR** (%) el porcentaje de pérdida de rendimiento del cultivo, **I** la máxima pérdida relativa por unidad de la maleza, a densidades muy bajas de la misma y **A** la máxima pérdida de rendimiento a densidades muy altas de la maleza. En el caso de *A. hybridus*, los parámetros **I** y **A** resultaron del orden de 25% y 80%, respectivamente.

El incremento en la abundancia de yuyo colorado en las diferentes zonas de producción representa un grave problema para los agricultores debido a los casos de resistencia a diferentes herbicidas registrados en esta especie. En tal sentido, la AAPRESID-REM (2025), estimó una significativa expansión de la abundancia de yuyo colorado resistente a glifosato, extendiéndose particularmente desde la zona núcleo hacia el sur de Buenos Aires y el norte del país entre 2019 y 2023. En la Argentina, *A. hybridus* fue la primera especie donde se produjo la selección de un biotipo resistente a herbicidas inhibidores de la acetolactato sintetasa (ALS) tales como clorimuron-etil e imazetapir (Tuesca & Nisensohn, 2001). Actualmente, se registran seis biotipos de *A. hybridus* resistentes a herbicidas, incluyendo resistencia a glifosato, inhibidores de ALS, herbicidas auxínicos, inhibidores de PPO y resistencia múltiple a glifosato + inhibidores de ALS y glifosato + herbicidas auxínicos (Dellafrera *et al.*, 2018; Tuesca *et al.*, 2019, REM AAPRESID 2025). Asimismo, considerando los diferentes casos en el mundo, se registraron un total de 38 biotipos resistentes, predominando los casos de resistencia a herbicidas inhibidores de fotosistema II e inhibidores de ALS. Adicionalmente, se registra resistencia a inhibidores de EPSPS (glifosato), PPO y a herbicidas auxínicos (Heap 2025)

En los últimos años, se han observado en diferentes lotes de producción de la zona núcleo productiva, varios casos de fallas en el control de yuyo colorado con diferentes herbicidas de distinto modo de acción. Scursoni *et al.* (2022) registraron predominancia de poblaciones con alta supervivencia a aplicaciones de glifosato, topamezone y fomesafén, en contraste con lo observado con herbicidas auxínicos (2,4-D y dicamba).

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue: (i) cuantificar la respuesta en supervivencia, biomasa y producción de semillas de cuatro poblaciones de *A. hybridus* del sur de Santa Fe, a herbicidas inhibidores de fotosistema I (paraquat), de glutamino sintetasa (glufosinato de amonio), de PPO (saflufenacil y fomesafén), de ALS (clorimurón) y auxínicos (2,4-D y dicamba). Adicionalmente, se estudió el efecto de las condiciones post aplicación (luz/ oscuridad) en aquellos herbicidas que generan fitotoxicidad asociada a reacciones oxidativas en presencia de luz (paraquat, glufosinato de amonio, saflufenacil y fomesafén).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron dos experimentos en el campo experimental de la cátedra de Cerealicultura de la Facultad de Agronomía, cada uno con dos poblaciones de *A. hybridus* provenientes de diferentes localidades de la provincia de Santa Fe (Cañada Rosquín, Totoras, Las Parejas y San Jorge). En cada experimento, se diseñó una factorial de dos factores, población (2 niveles) y tratamiento herbicida (8 niveles), con cuatro repeticiones de cada tratamiento (población x tratamiento herbicida). Cada unidad experimental contó con cinco plantas. Para la obtención de estas, se realizó siembra al voleo en bandejas de pregerminación y luego de la emergencia fueron trasplantadas a macetas de 15 l. A los quince días del trasplante (27 días desde la siembra), se aplicaron los tratamientos herbicidas, con la maleza entre 5 y 6 hojas verdaderas (Figura 1). La aplicación se realizó con mochila de presión constante accionada a CO₂, arrojando un volumen de caldo de 144 l ha⁻¹ y con agregado de coadyuvantes de acuerdo con lo indicado en los marbetes de los diferentes productos fitosanitarios.



Figura 1. Estado de las plantas de yuyo colorado al momento de aplicación de los tratamientos herbicidas.

Las poblaciones de Cañada Rosquín y Totoras (1 y 2) se trataron con herbicidas inhibidores de ALS (clorimurón), de fotosistema I (paraquat) y de PPO, saflufenacil y fomesafén (solo y en mezcla con metolaclo). Las poblaciones de San Jorge y Las Parejas (3 y 4) se trataron con inhibidores de PPO (saflufenacil y fomesafén), ALS (clorimurón), glutamino sintetasa (glufosinato de amonio) y auxínicos (2,4-D y dicamba). Los inhibidores de PPO, de fotosistema I y de la glutamino sintetasa, se mantuvieron en dos condiciones post aplicación: (i) luz natural y (ii) oscuridad (18 hs) (Cuadros 1 y 2). En ambos experimentos se incluyó un tratamiento sin aplicación de herbicidas.

En cada una de las unidades experimentales, a los 7, 15 y 45 días después de aplicados los herbicidas, se realizó la evaluación de supervivencia mediante el conteo de los individuos sobrevivientes (número de plantas vivas) en las macetas, entendiéndose como individuo sobreviviente a aquella planta que presentaba tejido verde, mientras que aquellas que presentaban la totalidad de la biomasa seca, se consideraron muertas

Cuadro 1. Tratamientos herbicidas aplicados en las poblaciones de Cañada Rosquín y Totoras.

Ingrediente activo (% formulado*)	Modo de acción inhibidor de	Dosis (g-cm⁻³ i.a. ha⁻¹)	Condición post aplicación
Fomesafén (25%) (Flex)*	PPO	375	Luz natural
Fomesafén (11,95%) + Metolaclo (51,8%) (Eddus)	PPO + VLFA**	239+1026	Luz natural
Saflufenacil (70%) (Heat)	PPO	24,5	Luz natural
Saflufenacil (70%)	PPO	24,5	Oscuridad
Clorimurón etil (25%) (Classic)	ALS	12,5	Luz natural
Paraquat (27,6%) (Paraquat Insuagro)	Fotosistema I	552	Luz natural
Paraquat (27,6%)	Fotosistema I	552	Oscuridad

*Nombres comerciales **Ácidos grasos de cadena muy larga

Cuadro 2. Tratamientos herbicidas aplicados en las poblaciones Las Parejas y San Jorge.

Ingrediente activo formulado	Modo de acción	Dosis (g-cm³ i.a. ha⁻¹)	Condición post aplicación
Glufosinato de amonio (20 %) (Liberty)	Inhibidor de glutamino sintetasa (GS)	400	Luz natural
Glufosinato de amonio (20 %)	Inhibidor de GS	400	Oscuridad
Dicamba (48 %) (Banvel)	Regulador de crecimiento	96	Luz natural
24D (97 %) (Herbifén)	Regulador de crecimiento	727,5	Luz natural
Fomesafén (25 %) (Flex)	Inhibidor de PPO	375	Luz natural
Fomesafén (25 %)	Inhibidor de PPO	375	Oscuridad
Clorimurón (50 %) (Classic)	Inhibidor de ALS	12,5	Luz natural

En estado de madurez, se registró el peso húmedo de los individuos y la producción de semillas de cada unidad experimental. Posteriormente, se estableció la relación biomasa / producción de semillas para cada tratamiento. El número de semillas se definió mediante la relación entre el peso total de semillas y el peso de 100 semillas.

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante análisis de varianza (ANOVA), utilizando el programa INFOSTAT. Cuando se registraron diferencias significativas ($P < 0.05$), las medias de los tratamientos se compararon empleando la prueba de Fisher de separación de medias, con un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experimento 1. Poblaciones (Cañada Rosquín y Totoras)

Supervivencia

En el análisis de supervivencia a los 7 días de la aplicación, solo se registraron efectos significativos del tratamiento herbicida ($P < 0,05$). La supervivencia fue inferior cuando se aplicó paraquat independientemente del tratamiento post-aplicación, fomesafén más metolacloro y saflufenacil (post tratamiento lumínico). Con la aplicación de saflufenacil seguida de 18 horas de oscuridad, y clorimurón, se registraron los mayores valores de supervivencia (Figura 2). Los resultados obtenidos con saflufenacil se explican por la incidencia de la luz en la aplicación de herbicidas inhibidores de PPO, necesaria para la activación de las reacciones oxidativas generadas por estos herbicidas (Hess, 2000). En tal sentido, Montgomery *et al.* (2017) registraron mayor control de *Conyza canadensis* resistente a glifosato con aplicación de saflufenacil y otros productos, cuando se aplicaron en horas de medio día, con mayor nivel de radiación incidente. En el caso de los inhibidores de ALS tales como clorimurón, es posible que se trate de una población resistente a este grupo de herbicidas, las cuales abundan en la región de sur de Santa Fe (AAPRESID-REM, 2025) (Figura 3).

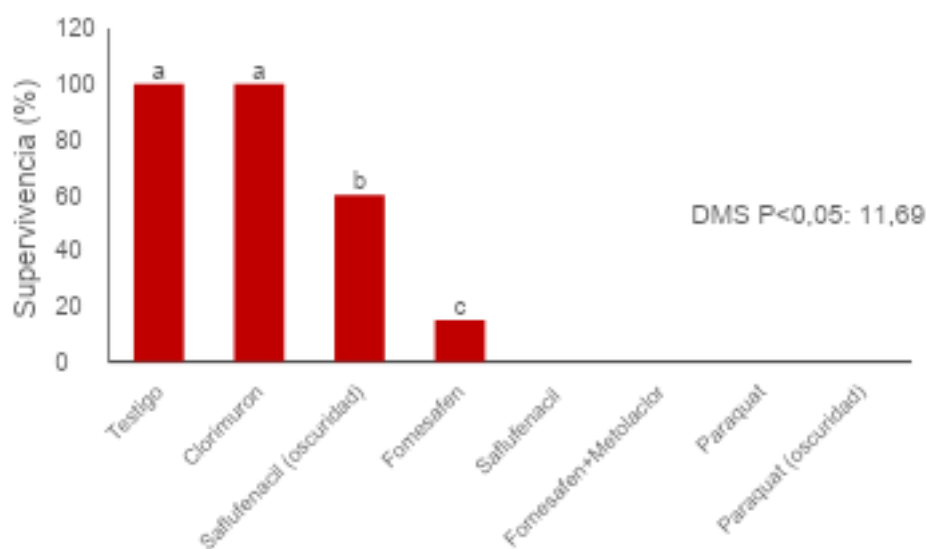


Figura 2. Supervivencia promedio (%) de *Amaranthus hybridus* a los 7 días post- aplicación de herbicidas en las poblaciones estudiadas (Cañada Rosquín y Totoras). Letras distintas corresponden a medias estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Las observaciones realizadas a los 15, 25 y 45 días post aplicación, arrojaron similares tendencias a las observadas a los 7 días de aplicados (Figura 4).



Testigo Clorimurón Fomesafén Fomesafén
+ metolaclo

Figura 3. Cobertura de *Amaranthus hybridus* en el Experimento 1, población Totoras a los 15 días después de la aplicación.

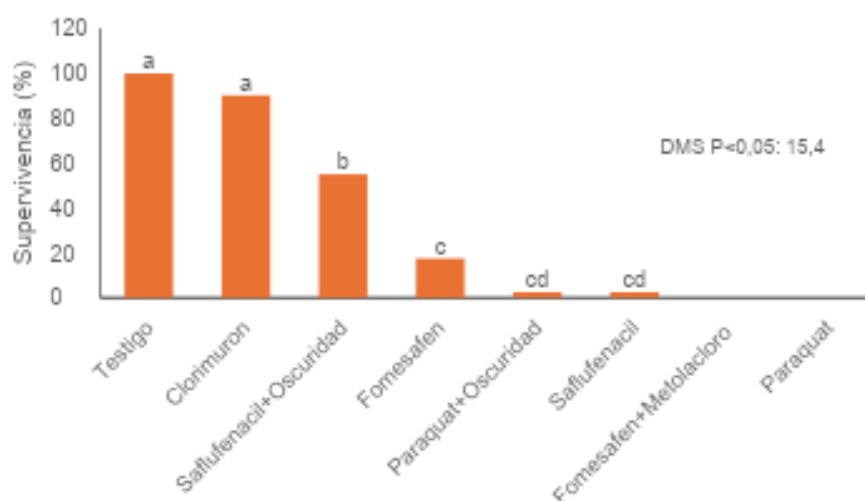


Figura 4. Supervivencia promedio (%) de *Amaranthus hybridus* a los 45 días post- aplicación de herbicidas en las poblaciones estudiadas (Cañada Rosquín y Totoras). Letras distintas corresponden a medias estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Biomasa

Del mismo modo que para la evaluación de supervivencia, solo se registraron diferencias significativas entre tratamientos herbicidas ($P < 0.05$). La reducción en la producción de biomasa se correlacionó con los registros obtenidos en la evaluación de supervivencia. Los tratamientos con menor efecto en la biomasa de los individuos fueron clorimurón y saflufenacil seguido de oscuridad. No obstante, en ambos tratamientos la biomasa producida fue menor que en el tratamiento sin aplicación de herbicidas (Figura 5). Esto demuestra que, si bien el tratamiento

herbicida no afectó la supervivencia, si afectó la adaptabilidad de los individuos, considerada como el efecto conjunto en supervivencia y fecundidad (Vila Aiub *et al.* 2015). Similares resultados registraron Scursoni (datos no publicados) con individuos de sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*), tratados con herbicidas graminicidas y glifosato, siendo el efecto del glifosato menor que el de los inhibidores de ACCasa.

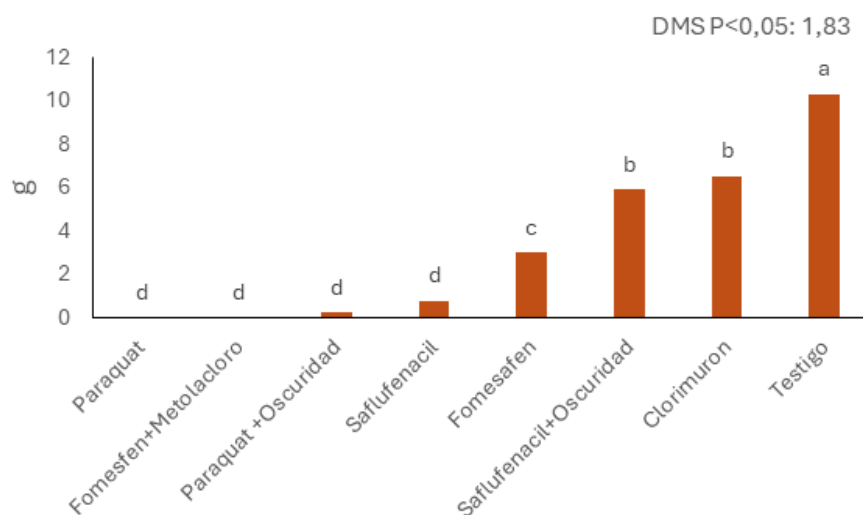


Figura 5. Biomasa (g) promedio de individuos de *Amaranthus hybridus* a cosecha a cosecha en función del tratamiento herbicida aplicado en el promedio de las poblaciones estudiadas (Cañada Rosquín y Totoras). Letras distintas corresponden a medias estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Producción de semillas

El análisis de regresión entre la producción de semillas y la biomasa a madurez permitió establecer la relación $Y = 592,8 x$; ($R^2 : 0,89$) (Figura 6). Asimismo, la producción de semillas respecto al tratamiento testigo fue afectada por todos los tratamientos, excepto clorimurón y saflufenacil seguido de un periodo de oscuridad.

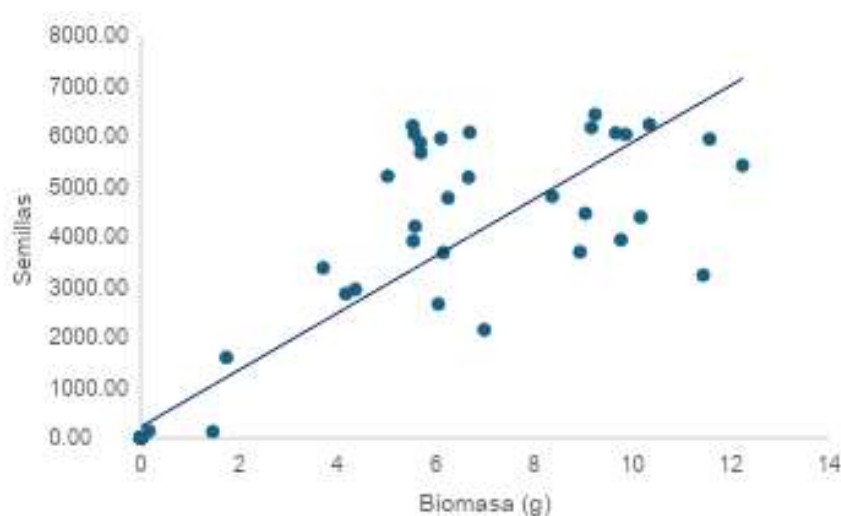


Figura 6. Cantidad de semillas en función de la biomasa (g) a madurez en el total de las unidades experimentales con las poblaciones Cañada Rosquín y Totoras.

Experimento 2. Poblaciones (Las Parejas y San Jorge)

Supervivencia

La supervivencia registrada a los 7 días desde la aplicación de los herbicidas mostró efectos significativos ($P < 0,05$) tanto del herbicida como de la población. Los tratamientos con mayores registros de supervivencia correspondieron a ambos herbicidas hormonales, clorimurón y fomesafén (seguido de oscuridad). Contrariamente, los tratamientos con glufosinato de amonio arrojaron menores valores de supervivencia. Interesantemente, tal como sucedió con saflufenacil en el experimento previo, se registró diferencia en la supervivencia de fomesafén según las diferentes condiciones post aplicación (Figura 7). Diferenciando de lo demostrado en el experimento 1, se registró efecto significativo ($P < 0,05$) del factor población ($P < 0,05$), mostrando la población de Las Parejas mayor supervivencia (64 %) en el promedio de los tratamientos, que la población de San Jorge (56 %).

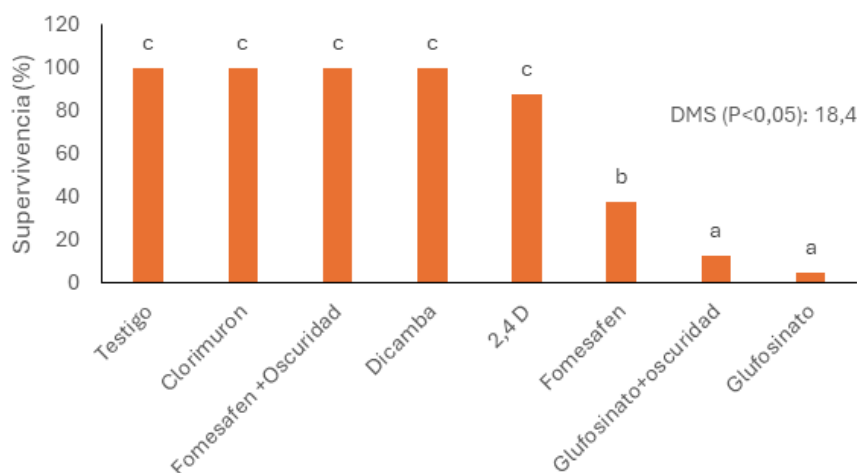


Figura 7. Supervivencia (%) de *Amaranthus hybridus* a los 7 días post- aplicación de herbicidas en el promedio de las poblaciones estudiadas (Las Parejas y San Jorge). Letras distintas corresponden a medias estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

A diferencia de las otras evaluaciones de supervivencia, a los 25 días después de la aplicación de los herbicidas, se registró interacción significativa ($P < 0,05$) entre población y tratamiento herbicida. Los tratamientos con dicamba, 2,4-D y fomesafén, difirieron entre poblaciones, siendo menos sensible la población de Las Parejas que la población San Jorge. Este resultado abre la posibilidad de presencia de una población resistente a dichos herbicidas (Cuadro 3). Scursoni *et al.* (2022), en un relevamiento con 50 poblaciones de yuyo colorado en la zona núcleo sojera, registraron que más del 40 % de las poblaciones presentaron valores de supervivencia mayor a 60 % con aplicaciones de fomesafén. Contrariamente, 2 % de las poblaciones mostraron alta supervivencia a aplicaciones de 2,4-D. Interesantemente, tal como sucedió con saflufenacil en el primer experimento, la aplicación de fomesafén seguida de un periodo de oscuridad redujo la eficacia del tratamiento en términos de supervivencia (Cuadro 3, Figura 8).

Paraquat, glufosinato de amonio, fomesafén + metolaclo, saflufenacil (con luz) y 2,4-D fueron eficaces para controlar yuyo colorado.

Cuadro 3. Supervivencia (%) registrada 25 dda (días de aplicación) para cada tratamiento herbicida en las poblaciones Las Parejas y San Jorge. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

Tratamiento	Población	%Supervivencia
Glufosinato+oscuridad	Las Parejas	0 a
Glufosinato	San Jorge	0 a
2,4-D	San Jorge	0 a
Glufosinato	Las Parejas	10 a
Fomesafén	San Jorge	15 ab
Glufosinato+oscuridad	San Jorge	20 ab
2,4-D	Las Parejas	35 bc
Fomesafén	Las Parejas	45 c
Dicamba	San Jorge	70 d
Clorimurón	San Jorge	95 e
Dicamba	Las Parejas	95 e
Fomesafén +oscuridad	San Jorge	95 e
Testigo		100 e
Testigo		100 e
Fomesafén +oscuridad	Las Parejas	100 e
Clorimurón	Las Parejas	100 e

DMS $P < 0,05$: 22,6



Figura 8. Tratamientos con fomesafén nocturno, fomesafén diurno y glufosinato de amonio diurno y nocturno, respectivamente en la población San Jorge 25 dda

A los 45 días de la aplicación, se registró efecto significativo de la población y del tratamiento herbicida ($P < 0,05$). En el promedio de los tratamientos herbicidas la supervivencia fue mayor en la población de Las Parejas que la de San Jorge. Asimismo, en el promedio de las poblaciones, los tratamientos con menor registro de supervivencia fueron los de glufosinato (en ambas condiciones post-aplicación) y 2,4-D (Figura 9).

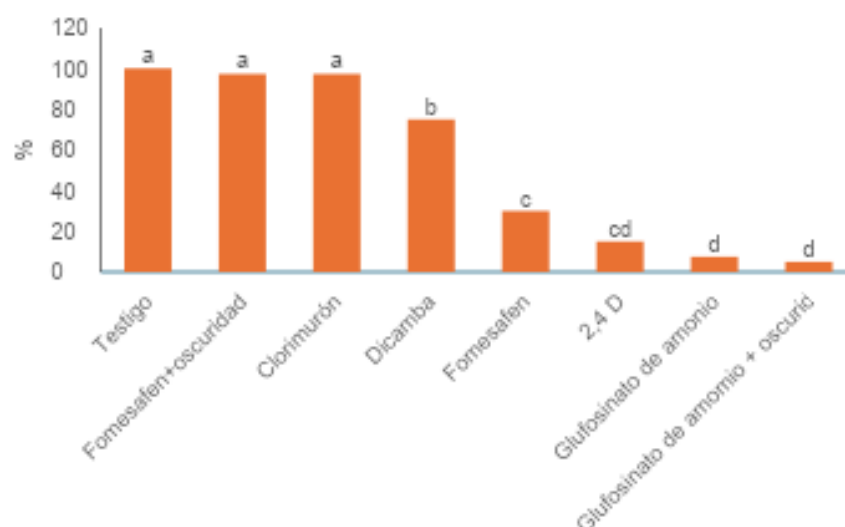


Figura 9. Supervivencia (%) de *Amaranthus hybridus* a los 45 días post- aplicación de herbicidas en el promedio de las poblaciones estudiadas (Las Parejas y San Jorge). Letras distintas corresponden a medias estadísticamente diferentes ($p < 0,05$).

Biomasa y producción de semillas

El análisis de la biomasa a madurez arrojó interacción significativa entre población y herbicida ($P < 0,05$). La biomasa producida cuando se aplicó clorimurón, fomesafén y 2,4-D fue superior en la población de Las Parejas comparada con la población de San Jorge ($p < 0,05$) (datos no presentados). El análisis de regresión entre la producción de semillas y biomasa a madurez permitió establecer la relación $Y = 372,3 R^2: 0,92$, menor que la relación obtenida en el análisis de las poblaciones Totoras y Cañada Rosquín (Figura 10). Se observó que, en los tratamientos con glufosinato de amonio y 2,4-D se produjo la menor cantidad de semillas. Interesantemente, se registraron diferencias entre los tratamientos de fomesafén según la condición post aplicación.

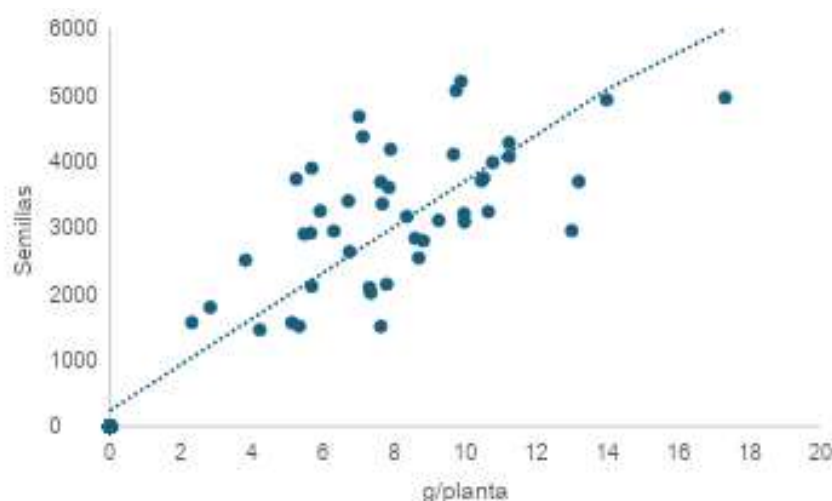


Figura 10. Cantidad de semillas en función de la biomasa (g) a madurez en el total de las unidades experimentales con las Poblaciones Las Parejas y San Jorge.

CONCLUSIONES

Los herbicidas paraquat, glufosinato de amonio, 2,4-D, fomesafén con metolaclo y saflufenacil en condiciones lumínicas post aplicación, mostraron los mayores niveles de control en términos de reducción de supervivencia.

La condición de oscuridad post aplicación, incidió negativamente en los niveles de control de saflufenacil y fomesafén.

Las poblaciones evaluadas presentaron posible resistencia a clorimurón y a dicamba.

Se registró diferente respuesta en las distintas poblaciones a la aplicación de herbicidas auxínicos, siendo 2,4-D más eficaz que dicamba.



Equipo de investigación

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID-REM. 2025. Malezas. Rosario, Santa Fe. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/rem/malezas>
- COUSENS R (1985) A simple model relating yield loss to weed density. *Ann. Appl. Biol.* **107**, 239-252.
- DELLAFERRERA I, CORTÉS E, PANIGO E, DE PRADO R, CHRISTOFFOLETI P & PERRETA M (2018) First report of *Amaranthus hybridus* with multiple resistance to 2,4-d, dicamba, and glyphosate. *Agronomy*, **8**(8), 140. <https://doi.org/10.3390/agronomy8080140>
- DIEZ DE ULZURRUN P, PANAGGIO H, DE ESTEBAN M & V. GIANELLI V (2023) Sensibilidad de poblaciones de *Amaranthus hybridus* L. del sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) a diferentes herbicidas. *Malezas*, **9**, 26-39.
- HEAP I (2025) The international herbicide-resistant weed database.. Disponible en: weedsdatabase.org
- HESS FD (2000) Light-dependent herbicides: an overview. *Weed Science*, **48**, 160-170.
- LEGUIZAMON ES *et al.* (1994) Funciones de daño y cálculo de pérdidas por malezas en el cultivo de soja. *INTA Informe Técnico, Pergamino*, **296**, 1-19.
- MASTRONARDI A, GIANELLI V, DIEZ DE ULZURRUN P (2021) Competencia de *Amaranthus hybridus* L. en cultivos de soja del sudeste bonaerense. *Malezas* **5**, 60-72
- MONTGOMERY GB, TREADWAY JA, REEVES JL & STECKEL L (2017) Effect of time of day of application of 2,4-D, dicamba, glufosinate, paraquat, and saflufenacil on horseweed (*Conyza canadensis*) control. *Weed Technology*, **31**, 550-556.
- SCURSONI JA (2022) Response of smooth pigweed (*Amaranthus hybridus*) accessions from Argentina to herbicides from multiple sites of action. *Weed Technol.* **36**, 384-389. doi: 10.1017/wet.2022
- TUESCA D & NISENSOHN L (2001) Resistencia de *Amaranthus quitensis* H.B.K. a imazetapir y clorimuron-etil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **36**, 4, 601-606.

- PEROTTI V *et al.* (2019) A novel triple amino acid substitution in the EPSPS found in a high-level glyphosate-resistant *Amaranthus hybridus* population from Argentina. *Pest Manag. Sci.*, **75**, 1242–1251. DOI 10.1002/ps.5303
- VILA-AIUB M, GUNDEL PE & CHRISTOPHER P (2015) Experimental methods for estimation of plant fitness costs associated with herbicide-resistance genes. *Weed Science* **63**, 203–216
- VITTA JL, FACCINI DE, NISENSOHN LA (2000) Control of *Amaranthus quitensis* in soybean crops in Argentina: an alternative to reduce herbicide use. *Crop. Prot.* **19**, 511–513

Dr. Clarence Swanton

Professor Emeritus
Department of Plant Agriculture
University of Guelph



Mi equipo de investigación se ha enfocado en las respuestas moleculares, fisiológicas y bioquímicas de plántulas de cultivos como maíz y soja frente a malezas vecinas bajo competencia independiente de los recursos. ¿Cómo es posible que el potencial de rendimiento de un cultivo se vea alterado por la competencia temprana entre plántulas de cultivo y de malezas cuando los recursos como luz, agua, nutrientes y espacio son más que adecuados para el crecimiento de las plántulas de cultivo? Esta investigación ha llevado al descubrimiento de nuevos mecanismos de competencia vegetal. Mecanismos que se activan inicialmente mediante la **comunicación entre plantas**, es decir, la capacidad de una plántula de cultivo para detectar y responder a la presencia de plántulas de malezas vecinas. Las plántulas de cultivo pueden detectar la presencia de malezas vecinas a través de cambios en las señales lumínicas, específicamente en la relación rojo/rojo lejano.

¿Cómo contribuye su investigación sobre comunicación vegetal y oxígeno singlete a comprender los mecanismos de competencia entre plantas y sus impactos fisiológicos?

La producción excesiva de especies reactivas de oxígeno (ROS) puede generar estrés oxidativo y muerte celular, mientras que niveles bajos y regulados de ROS son esenciales para las vías de señalización. Este equilibrio entre la generación y eliminación de ROS es mantenido por el sistema de defensa antioxidante. Estudios recientes que investigaron los efectos de la calidad de la luz sobre la fotoinhibición inducida por frío revelaron una compleja interacción entre hormonas vegetales, producción de ROS y respuestas antioxidantes, destacando un mecanismo que mejora la fotoprotección bajo diferentes condiciones de luz. Nuestros hallazgos más recientes muestran un aumento en la producción de oxígeno singlete en las hojas bajo baja relación rojo/rojo lejano (R:FR), lo que ofrece una nueva perspectiva sobre cómo la calidad de la luz influye en la regulación de ROS en las plantas. Aunque el mecanismo que subyace a la acumulación de oxígeno singlete bajo baja R:FR aún no está claro, la sobreexpresión de genes sensibles a oxígeno singlete, particularmente aquellos involucrados en la supresión de la hormona defen-

siva ácido jasmónico, sugiere un cambio fisiológico que desvía la respuesta defensiva hacia la respuesta de evitar la sombra.

My research team has focussed on molecular, physiological and biochemical responses of crop seedlings such as corn and soybean to neighbouring weeds under resource - independent competition. How is it possible for the yield potential of a crop plant to be altered by early weed and crop seedling competition when resources such as light, water, nutrients and space are more than adequate for crop seedling growth? This research has led to the discovery of new mechanisms of plant competition. Mechanisms that are triggered initially by plant communication i.e., the ability of a crop seedling to detect and respond to the presence of neighbouring weed seedlings. Crop seedlings can detect the presence of neighbouring weeds through changes in light signals, specifically the Red to Far Red rate.

How does your research on plant communication and singlet oxygen contribute to understanding the mechanisms of plant competition and their physiological impacts?

Excessive production of reactive oxygen species (ROS) can lead to oxidative stress and cell death, whereas low, tightly regulated ROS levels are essential for signaling pathways. This balance between ROS generation and scavenging is maintained by the antioxidant defence system. Recent studies investigating the effects of light quality on cold-induced photoinhibition have uncovered a complex interplay between plant hormones, ROS production, and antioxidant responses highlighting a mechanism that enhances photoprotection under varying light conditions. Our recent findings show increased leaf production of singlet oxygen under low red to far-red (R:FR) light, offering new insight into how light quality influences ROS regulation in plants. Although the mechanism underlying singlet oxygen accumulation under low R:FR light remains unclear, the upregulation of singlet oxygen-responsive genes, particularly those involved in suppressing the defence hormone jasmonic acid, suggests a physiological shift away from defence responses and toward shade avoidance.

¿Por qué las malezas tienen un impacto significativo en el rendimiento de los cultivos al inicio de la temporada, y por qué el agregado de más recursos no previene totalmente esta pérdida de rendimiento?

Los mecanismos que explican la pérdida de rendimiento debido a la competencia temprana con malezas siguen siendo poco claros. En trabajos anteriores, identificamos la fotosíntesis reducida en soja como una consecuencia persistente de la presión de malezas, ofreciendo una explicación clave para la disminución del rendimiento. Más recientemente, encontramos que la baja R:FR, generada tanto en competencia interespecífica como intraespecífica, conduce a la acumulación de nitratos en las hojas de maíz y soja, incluso en condiciones con nutrientes suficientes, mientras que los niveles de amonio permanecen sin cambios en comparación con plantas control. Esta acumulación parece deberse principalmente a una reducción en la actividad de la enzima glutamato sintasa dependiente de ferredoxina (GOGAT), ya que otras enzimas involucradas en la asimilación de nitrato no se ven afectadas. Estos resultados indican que la acumulación de nitratos bajo baja R:FR es una característica distintiva de la respuesta de evitar la sombra. Dado que los niveles de nitrato en la parte aérea pueden influir en cómo se asigna la biomasa entre raíces y brotes, el aumento observado de nitratos en las hojas puede actuar como una señal que contribuye a las menores relaciones raíz/brote típicamente observadas en cultivos que enfrentan competencia temprana de malezas, cuando las plántulas son especialmente sensibles a las señales de baja R:FR. Además, bajo estas condiciones de competencia, la adición de nutrientes como nitrato puede agravar aún más esta acumulación.

Why do weeds have a significant impact on crop yield early in the season, and why might the addition of more resources not fully prevent this yield loss?

The mechanisms underlying yield loss due to early-season weed competition remain largely unclear. In previous work, we identified impaired photosynthesis in soybean as a lasting consequence of weed pressure, offering a key explanation for yield reduction. More recently, we found that low red to far-red (R:FR) light, generated during both inter-specific and intra-specific competition, leads to nitrate accumulation in the leaves of maize and soybean, even

under nutrient-sufficient conditions, while ammonium levels remain unchanged compared to control plants. This accumulation appears to result primarily from reduced activity of the ferredoxindependent glutamate synthase (GOGAT) enzyme, as other enzymes involved in nitrate assimilation are not affected. These results indicate that nitrate buildup under low R:FR light is a hallmark of the shade avoidance response. Given that nitrate levels in the shoot can influence how biomass is allocated between roots and shoots, the observed increase in leaf nitrate may act as a signal contributing to the reduced root-to-shoot ratios typically seen in crops facing early weed competition, when seedlings are especially sensitive to low R:FR cues. Moreover, under such competitive conditions, the addition of nutrients like nitrate may further exacerbate this accumulation.

¿Cómo puede el estudio de genes como ST2b (un gen vegetal que codifica una enzima sulfotransferasa) y los efectos tempranos de las malezas en el desarrollo de los cultivos guiar mejoras en la tolerancia a malezas?

Las condiciones de baja R:FR activan vías hormonales que promueven el crecimiento al mismo tiempo que suprimen las respuestas defensivas mediadas por ácido jasmónico (JA). Esta supresión se debe en parte a la sulfotransferasa ST2a, que inactiva el JA bioactivo catalizando su conversión a una forma inactiva. En nuestro trabajo reciente, observamos una mayor expresión tanto de ST2a como de su homólogo estrechamente relacionado, ST2b, bajo condiciones de baja R:FR. Si bien la mayor expresión de ST2b sugiere que podría tener un papel bajo estas condiciones lumínicas, predecir la función de una sulfotransferasa vegetal únicamente a partir de la similitud de secuencia sigue siendo poco fiable. Hasta la fecha, no hay evidencia de que ST2b inactive JA en respuesta a baja R:FR. No obstante, ST2b parece formar parte de la red regulatoria más amplia implicada en el síndrome temprano de evitar la sombra (SAS), aunque su función específica sigue siendo desconocida. Investigar las respuestas de plantas mutantes sin ST2b bajo competencia con malezas podría ayudar a aclarar su rol y proporcionar información valiosa sobre la complejidad de la señalización temprana del SAS.

How can studying genes like ST2b (a plant gene encoding a sulfotransferase enzyme) and early weed effects on crop development help guide improvements in weed tolerance?

Low red to far-red (R:FR) light conditions activate growth-promoting hormonal pathways while suppressing defence responses mediated by jasmonic acid (JA). This suppression is partly driven by the sulfotransferase ST2a, which inactivates bioactive JA by catalyzing its conversion to an inactive form. In our recent work, we observed increased expression of both ST2a and its closely related homolog, ST2b, under low R:FR conditions. While the elevated expression of ST2b suggests it may have a role in these light conditions, predicting the function of a plant sulfotransferase based solely on sequence similarity remains unreliable. To date, there is no evidence that ST2b inactivates JA in response to low R:FR light. Nonetheless, ST2b appears to be part of the broader regulatory network involved in the early shade avoidance syndrome (SAS), although its specific function remains unknown. Investigating the responses of ST2b knockout plants under weed competition could help clarify its role and provide valuable insight into the complexity of early SAS signaling.

¿Qué tipos de interacciones cultivo-maleza deberían ser objeto de atención o limitarse para mejorar el desempeño y el rendimiento de los cultivos?

Nuestros hallazgos sobre cómo la baja R:FR afecta la asimilación de nitratos pueden servir como un **indicador temprano de acumulación de nitratos** en cultivos principales como maíz y soja durante las etapas iniciales de la competencia. Esto sugiere que incluso en ambientes ricos en nitratos, la percepción de señales de baja R:FR provenientes de malezas vecinas podría desencadenar la acumulación de nitratos en hojas, lo que potencialmente llevaría a una limitación funcional de nitrato. Tal limitación podría afectar negativamente el metabolismo, crecimiento y desarrollo del cultivo. Esta perspectiva ofrece un ángulo novedoso sobre el concepto empírico del Período Crítico de Control de Malezas. Si bien nuestros resultados capturan una ventana de desarrollo específica, cuando las plántulas son altamente sensibles a las señales de

baja R:FR, resaltan la necesidad de más investigaciones para determinar cuánto tiempo persiste la acumulación de nitratos y qué tan rápido pueden recuperarse las plantas una vez que la competencia es eliminada en condiciones de campo.

What types of crop-weed interactions should be targeted or limited to enhance crop performance and yield?

Our findings on how low red to far-red (R:FR) light affects nitrate assimilation may serve as an early indicator of nitrate accumulation in major crops like maize and soybean during the initial stages of competition. This suggests that even in nitrate-rich environments, the perception of low R:FR signals from neighboring weeds could trigger nitrate buildup in leaves, potentially leading to functional nitrate limitation. Such a limitation could negatively affect crop metabolism, growth, and development. This perspective offers a novel angle on the empirical concept of the Critical Period for Weed Control. While our results capture a specific developmental window, when seedlings are highly responsive to low R:FR cues, they underscore the need for further research to determine how long nitrate accumulation persists and how rapidly plants can recover once competition is removed under field conditions.

Potencial sinergia de fomesafen y fertilización foliar en el control de *Tithonia tubaeformis* en poroto

Potential synergy of fomesafen and foliar fertilization in the control of *Tithonia tubaeformis* in common bean

Berruezo, L.¹; López, Spahr D.^{1,2}; Toffoli, L.¹; Harries, E.^{2,3}; Brizuela, G.¹; Plaza, S.¹; Renfijes, D.¹; González, F.¹; Mercado Cárdenas, G.^{1,2}

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, E.E.A. Salta.

²Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Naturales.

³ CONICET.

berruezo.loreana@inta.gob.ar

Citar como: Berruezo et al. (2025)

Potencial sinergia de fomesafen y fertilización foliar en el control de *Tithonia tubaeformis* en poroto en *Malezas* 14, 53-66



RESUMEN

La producción de poroto en la Argentina se concentra en el Noroeste. Últimamente, se detectaron lotes con alta infestación de *Tithonia tubaeformis* (pasto o yuyo cubano), que constituye un problema de manejo complejo. Los objetivos de este trabajo fueron evaluar la eficacia de control de *T. tubaeformis* con aplicaciones de fomesafen y analizar la respuesta del cultivo de poroto a este herbicida en mezclas con un fertilizante orgánico foliar (FOF). El ensayo tuvo un diseño factorial con tres repeticiones. Los factores fueron labranza con dos niveles (convencional LC y cero L0) y aplicaciones de fomesafen y FOF con dos niveles (dos dosis de fomesafen: 210 y 262,5 gr i.a. ha⁻¹ y una dosis de FOF, solos y combinados). Las variables analizadas fueron: porcentaje de control (% C), fitotoxidad (plantas correspondientes a cada índice fitotoxidad 1 a 9) a los 7 y 14 DDA y componentes de rendimiento a cosecha. Los tratamientos que exhibieron un mayor % C y se diferenciaron significativamente a los 7 DDA, fueron los que incluyeron la combinación de fomesafen y FOF. A los 14 DDA, el % C alcanzó el 62 % y 65 % para la dosis de 210 gr i.a. ha⁻¹. El tratamiento que incluyó la mayor dosis de fomesafen mejoró el control de *T. tubaeformis*, pero mostró un mayor porcentaje de plantas con fitotoxidad (índices de 3 a 5). La FOF asociada a la aplicación de fomesafen favoreció la recuperación temprana del cultivo frente al estrés inducido por el herbicida. Estos resultados destacan la importancia de búsqueda de alternativas para mejorar e incrementar la competitividad del cultivo frente a esta maleza en estadios fenológicos críticos.

Palabras clave: Pasto cubano, manejo de malezas, porcentaje de control, rendimiento, *Phaseolus vulgaris*.



SUMMARY

Common bean production in Argentina is concentrated in the Northwest. Recently, fields with high infestations of *Tithonia tubaeformis* (commonly known as Mexican sunflower) have been detected, which constitutes a complex management problem. The objectives of this study were to evaluate the control efficacy of *T. tubaeformis* with fomesafen applications and to analyze the response of bean crops to this herbicide when combined with a foliar organic fertilizer (FOF). The assay followed a factorial design with three replications. The factors were tillage system with two levels (conventional LC and no-till L0), and applications of fomesafen and FOF with two levels (two doses of fomesafen: 210 and 262.5 g a.i. ha⁻¹, and one dose of FOF, alone and in combination). The variables analyzed included: percentage of control (% C), crop phytotoxicity (plants corresponding to each phytotoxicity index from 1 to 9) at 7 and 14 days after application (DAA), and yield components at harvest. The treatments that showed the highest % C and were significantly different at 7 DAA were those that included the combination of fomesafen and FOF. At 14 DAA, the % C reached 62% and 65% for the 210 g a.i. ha⁻¹ dose. The treatment that included the highest fomesafen dose improved *T. tubaeformis* control but showed a higher percentage of plants with phytotoxicity symptoms (indices 3 to 5). The use of FOF associated with fomesafen application promoted early recovery of the crop from herbicide-induced stress. These results highlight the importance of exploring alternatives to improve and increase the competitiveness of the crop against this weed, especially during critical phenological stages.

Keywords: *Tithonia*, weed management, control percentage, yield, *Phaseolus vulgaris*.

INTRODUCCIÓN

El poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa el segundo lugar en la producción de legumbres a nivel nacional después de la soja. Su producción está centrada principalmente en el Noroeste Argentino (NOA). Entre las provincias productoras se destaca Salta, que aporta el 72% a la producción nacional (SAGyP & CLERA, 2023). En la campaña 2023/ 24, se sembraron 384.665 ha en esta provincia (Vale et al., 2024), siendo las variedades de porotos negros las de mayor predominancia. Últimamente, la producción de poroto en el Valle de Lerma (centro de la provincia de Salta), ha cobrado importancia en los planes de rotación de cultivos.

En las últimas campañas, se detectó una alta infestación de *Tithonia tubaeformis* (Jacq.) Cass, conocida como pasto o yuyo cubano en diversos lotes productivos del NOA. Esta especie, representa para los sistemas productivos de la región, una problemática creciente, ya que, puede incidir considerablemente en los rendimientos.

T. tubaeformis es una especie que pertenece a la familia Asteraceae. Sus poblaciones presentan gran habilidad competitiva y diferentes flujos de emergencia (por dormición primaria de las semillas) durante el período primavera-verano, lo que dificulta su manejo y le otorgan una elevada persistencia en los lotes (Huarte et al., 2023).

En el cultivo de poroto, las malezas son uno de los principales factores que afectan el rendimiento, donde las pérdidas de producción pueden alcanzar el 70% (Soltani et al., 2018). La dificultad para controlar las especies de hoja ancha se acentúa debido a la poca disponibilidad de herbicidas registrados actualmente para el cultivo (Li et al., 2017). En la Argentina, se ha registrado un número limitado de principios activos (p.a.) para el control postemergente de malezas de hoja ancha, especialmente de *T. tubaeformis*, siendo en su mayoría, de contacto. Esto destaca la importancia de integrar diferentes estrategias para el manejo de *T. tubaeformis* más allá del ciclo productivo.

Dentro de los principios activos utilizados se encuentra fomesafen, que es un inhibidor de la protoporfirinógeno oxidasa (PPO) y pertenece a la familia química dietiléteres. Provoca un bloqueo en la síntesis de clorofila y favorece a la acumulación de especies reactivas de oxígeno en las células vegetales. Se recomienda su aplicación en postemergencia temprana del cultivo evitando ocasionar fitotoxicidad, siendo relevante el estado de desarrollo de las malezas a controlar. Bailey et al. (2003), determinaron que las aplicaciones de fomesafen en estado de tercera hoja trifoliada generan el menor daño por fitotoxicidad. Consecuentemente, las aplicaciones tardías, no solo tienen menor control sobre las malezas, sino que además pueden ocasionar

síntomas severos de fitotoxicidad, disminuyendo biomasa aérea y productividad del cultivo (Sikkema *et al.*, 2006). En postemergencia, las dosis recomendadas en poroto van de 1,35 l ha⁻¹ a 0,8 l ha⁻¹, para las concentraciones comerciales de 25%, 25,5% y 26,25% (CASAPE, 2024). Este herbicida, presenta baja translocación en las plantas, por ello es necesario aplicarlo en etapas tempranas de desarrollo de la maleza y con una cobertura foliar adecuada. Por otro lado, hasta la fecha son pocos los principios activos para el manejo de esta maleza. Hay referencias de p.a. como halosulfuron metil (en vías de registro en la Argentina), bentazon o mezclas que podrían mejorar la eficiencia de control (Soltani *et al.*, 2021). Por ello, debido a la elevada competencia y rápida velocidad de crecimiento que manifiesta bajo condiciones ambientales favorables, es valiosa la búsqueda de alternativas para el manejo de *T. tubaeformis*.

Es una práctica común aplicar mezclas en donde se adicione más de un producto fitosanitario, como pueden ser los fertilizantes foliares. Las interacciones que pueden originarse entre ellos pueden ser sinérgicas, aditivas o antagónicas, cuando se las compara con aplicaciones independientes (Alvarenga *et al.*, 2018). Algunos estudios en el cultivo de soja describieron la asociación de herbicidas y fertilizantes foliares y/o biofertilizantes, analizando la interacción del glifosato por ejemplo en aplicaciones conjuntas (Forte *et al.*, 2019; Andrade *et al.*, 2020). El aumento en su efectividad está dado por estímulos fisiológicos, ya que, aumentan la absorción en el tejido foliar y/o modifican el pH de la solución. En la zona productiva de Salta, no hay registros de la eficiencia de control de *T. tubaeformis* frente a aplicaciones de fomesafen en interacción con fertilizantes foliares, lo que destaca la importancia de este trabajo.

Actualmente, los estudios sobre la asociación de herbicidas y fertilización orgánica son escasos y están enfocados en mejorar la recuperación del cultivo, optimizar su productividad e incrementar el control en este caso de *T. tubaeformis*. El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia de las aplicaciones de fomesafen solo y en combinación con un fertilizante foliar para el control de *T. tubaeformis* y la respuesta del cultivo, en dos sistemas de labranza del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones generales del ensayo

El ensayo se llevó a cabo en un lote ubicado en el campo experimental de INTA E.E.A. Salta, donde el cultivo antecesor fue maíz. El suelo corresponde a la consociación Cerrillos y presenta a una profundidad de 0-20 cm las siguientes características: arcilla 20%, limo 36%, arena 44%, textura franca, con contenido de MO de 2,19%, pH de 6,4, 0,12 % de nitrógeno, 0,8 % de potasio y 24 ppm de fósforo.

El lote fue dividido en dos en función de la labor realizada: labranza convencional (LC) y labranza cero (L0). Al momento de la emergencia del poroto, se instalaron las parcelas experimentales en cada sitio de LC y L0, en una superficie total de 1400 m². El experimento tuvo un diseño factorial con tres repeticiones. Los factores fueron: i) manejo del suelo (MS) con dos niveles: LC y L0 y ii) tratamientos (T) de fomesafen y fertilizante con seis niveles: dos dosis de fomesafen combinados con una dosis de fertilizante y sus respectivos testigos. Los productos utilizados fueron fomesafen SL 26,25 (Fomesa Delta Agro) y el fertilizante orgánico foliar (FOF, Fertiplus®, composición: aminoácidos totales: 2; ácidos fúlvicos húmicos: 50,9%; N total: 6,8%; P₂O₅: 2,2%; K₂O: 2%; MgO, CaO, SO₂). Cada unidad experimental estuvo constituida por seis hileras de 15 m de largo (48 m²) con un espaciamiento de 52 cm, donde se aplicaron los tratamientos que se observan en el Cuadro 1.

En la parcela de LC, se realizaron dos pasadas de rastra de doble acción y en la de L0, se efectuó un barbecho químico, aplicando treinta días antes de la siembra una mezcla de 2,4 D 30 ME (1 l ha⁻¹) y glifosato 66,2 SL (2 l ha⁻¹), obteniendo una cobertura de residuos superior al 30%. Se realizó la siembra de poroto negro cultivar NAG 12, a una densidad de 15 semillas m⁻¹, con una sembradora de siembra directa Agrometal neumática. En preemergencia del cultivo, se efectuó la aplicación en ambas parcelas de S-metolaclo 96 EC (800 mL ha⁻¹) + imazetapir 10 SL (500 mL ha⁻¹).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en aplicaciones de post-emergencia en poroto negro (NAG 12), dosis de ingrediente activo (i.a.), dosis de producto comercial Fomesa Delta Agro (p.c.), dosis de FOF, Fertiplus ®.

Tratamientos	Fomesafen Dosis i.a (g ha ⁻¹)	Fomesafen Dosis de p.c. (mL ha ⁻¹)	Fertilizante orgánico foliar (mLha ⁻¹)
T1	-	-	500
T2	210	800	-
T3	262,5	1000	-
T4	210	800	500
T5	262,5	1000	500
T6	-	-	-

El ensayo incluyó a un testigo absoluto (T6) sin ningún control sobre la maleza, que se mantuvo en esa condición hasta cosecha, mientras que T1, tuvo la aplicación de fertilizante foliar y desmalezado manual. Las aplicaciones (T1 a T5) se realizaron a los 35 dds (días después de la siembra), cuando el cultivo alcanzó el estadio fenológico comprendido en V3. La misma se realizó con mochila a explosión, a presión y velocidad constantes, proporcionando un volumen de aplicación de 100 L ha⁻¹. Se utilizó una barra con dos boquillas espaciadas 50 cm entre sí, llevadas a una altura de 50 cm del suelo. Las pastillas utilizadas fueron de abanico plano (110°, Teejet), cumpliéndose con las normas correspondientes de seguridad para manipulación y aplicación de fitosanitarios. Las condiciones ambientales al momento de la aplicación fueron: temperatura media 24 °C, humedad relativa 60% y velocidad del viento de 10 km h⁻¹. Los datos de temperaturas y precipitaciones mensuales y diarias durante el ensayo se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Registro meteorológico de temperaturas y precipitaciones durante el período del ensayo. Se muestran datos diarios de temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones. Datos aportados por el Área de Meteorología grupo Recursos Naturales, E.E.A. Salta.

Evaluaciones y análisis estadístico

A los 7 y 14 días después de la aplicación de los tratamientos (DDA), se evaluó el nivel de infestación de *T. tubaeformis*. Para ello, se contabilizaron las plantas contenidas en un cuadrado de 0,5 x 0,5 m, realizando tres repeticiones en cada uno de los tratamientos. Las variables evaluadas fueron: % de control (% C) de los tratamientos a los 7 y 14 DDA y, al mismo tiempo, fitotoxicidad en el cultivo. La fitotoxicidad se evaluó mediante una estimación visual de los síntomas, a través de la escala del Consejo Europeo de Investigación sobre Malezas (por sus siglas en inglés EWRC, Püntener, 1981), que va del 1 al 9 (Cuadro 2). Para cada tratamiento, se evaluaron las dos hileras centrales dejando 1 m de borde, contabilizando 80 plantas en total, a partir de estas se calculó el porcentaje de plantas por tratamiento, correspondientes a cada índice de fitotoxicidad. Al finalizar el cultivo, se determinaron distintas variables con relación a componentes de rendimiento en los dos sistemas de labranza. La cosecha, la trilla y la limpieza de semillas se efectuaron en forma manual. Las variables medidas fueron: número de plantas m⁻², número de

vainas m^{-2} , número de vainas planta^{-1} , peso de 1000 semillas y rendimiento (kg ha^{-1}). Para homogeneizar la varianza, se transformaron los datos a arcoseno de raíz cuadrada o a raíz cuadrada según correspondiera. Los datos se analizaron mediante ANOVA y las medias se separaron mediante una prueba de comparación múltiple DGC ($p > 0,05$), a través del programa InfoStat versión 2020. Mientras que, la ocurrencia de fitotoxicidad donde la variable fue porcentaje de plantas correspondientes a cada índice se sometió a la Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Di Rienzo *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Índices de fitotoxicidad en el cultivo en función de los síntomas manifestados según la escala de evaluación europea, método EWRC (European Weed Research Council).

Índice	Fitotoxicidad causada por el herbicida sobre el cultivo	Fitotoxicidad (%)
1	Sin efecto	0-0,9
2	Síntomas muy leves	1-3,4
3	Síntomas leves, con efectos reversibles	3,5-6,9
4	Síntomas moderados	7-12,4
5	Fuerte o marcado síntomas	12,5-19,9
6	Síntomas severos	20-29,9
7	Síntomas muy severos	30-49,9
8	Síntomas extremadamente severos	50-99,9
9	Muerte de las plantas	100

La aplicación de fertilizante foliar con fomesafen es una práctica eficaz para favorecer la recuperación temprana del cultivo de poroto frente al estrés inducido por el herbicida

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de control de *Tithonia tubaeformis*

Al evaluar el % C, se encontraron diferencias significativas a los 7 DDA entre los tratamientos ($p < 0,0001$) y manejo de suelo ($p = 0,0005$), no así para la interacción tratamientos*manejo de suelo. Mientras que, los 14 DDA, se encontraron diferencias altamente significativas sólo entre los tratamientos $p < 0,0001$ (Cuadro 3). Los tratamientos que tuvieron un mayor % C a los 7 DDA y se diferenciaron significativamente fueron T4 y T5, en el sistema de LC. Mientras que, a los 14 DDA, solo se diferenció significativamente T2 del resto de los tratamientos, mostrando el menor % para ambos manejos del suelo.

Cuadro 3. Control (%) de *Tithonia tubaeformis* a los 7 y 14 DDA en los distintos tratamientos de aplicaciones post-emergentes (T) y manejo del suelo (MS). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

MS	T	% C 7 DDA		% C 14 DDA	
LC	T2	74	b	65	a
LC	T3	84	b	71	b
LC	T4	94	c	78	b
LC	T5	95	c	79	b
L0	T2	62	a	62	a
L0	T3	78	b	72	b
L0	T4	81	b	76	b
L0	T5	86	b	76	b
CV		10,02		5,1	

Con respecto al MS, el % C en LC fue mayor que en L0, pero solo se encontraron diferencias a los 7 DDA (Figura 2). Se estima que esto puede ser atribuido, a la mayor uniformidad y similar estadio fenológico de la maleza en LC, considerando a su vez, que la aplicación de preemergencia tuvo un efecto mayor sobre suelo sin residuos de cosecha. A los 14 DDA, el % C para T3 (la mayor dosis evaluada) en ambos sistemas de labranza fue de 71 % y 72 %, respectivamente.

Los bajos niveles de control de *T. tubaeformis* observados en ambos momentos de lectura en el caso de T2, ponen en evidencia la complejidad de control de la maleza, en especial cuando se basa en un único herbicida de contacto cuya eficacia se limita solo a estadios tempranos. En este estudio, se observó un incremento del % C en los tratamientos de mezcla de fomesafen y el FOF (T4 y T5) a los 7 y 14 DDA. Estos, alcanzaron diferencias estadísticamente significativas con respecto a la dosis habitualmente usada de 210 g i.a. ha⁻¹. En laboratorio (previa aplicación), se realizó un análisis de compatibilidad de la mezcla, obteniendo resultados aceptables para su aplicación, además se logró bajar el pH en una unidad (6,5 a 5,5). Los resultados de este trabajo sugieren la posibilidad de un efecto sinérgico entre el fomesafen y el fertilizante foliar para el control de *T. tubaeformis*. En las Figuras 3 y 4 se puede observar el efecto de los tratamientos en individuos de *T. tubaeformis* para los dos momentos de evaluación.

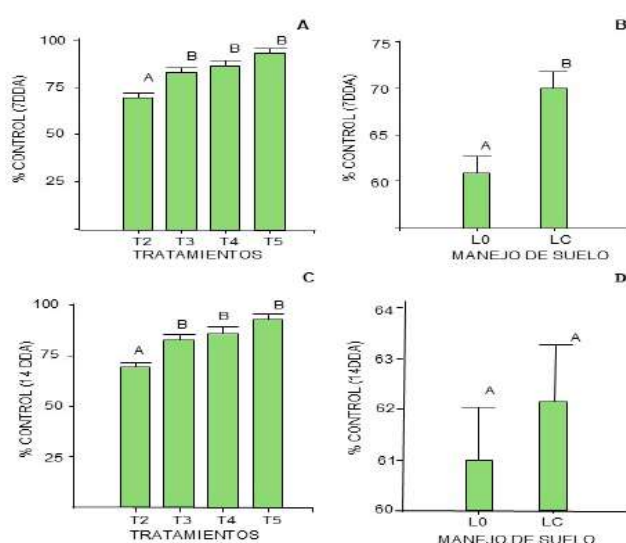


Figura 2. Control de *Tithonia tubaeformis* en los distintos tratamientos de aplicación post emergente. Valores promedios de porcentajes de control (% C) para las aplicaciones a los 7 DDA y 14 DDA, donde (A-C) tratamientos y (B-D) manejo de suelo (MS). Las letras iguales indican diferencias no significativas ($p > 0,05$) y las barras indican la desviación estándar.



Figura 3. Imágenes representativas del ensayo a campo a los 7 DDA en sistema de labranza convencional.

Fitotoxicidad del cultivo frente a las aplicaciones de fomesafen y su efecto en combinación con un fertilizante orgánico foliar

Los síntomas de fitotoxicidad observados en el ensayo estuvieron comprendidos entre los índices 1 y 6. Se encontraron diferencias altamente significativas en el porcentaje de plantas con síntomas de fitotoxicidad solo para los tratamientos con aplicaciones postemergentes ($p < 0,0001$). El porcentaje de plantas correspondiente entre los índices 1 (sin efecto) al 5 (síntomas marcados), tuvieron diferencias significativas a los 7 DDA. Mientras que, para el índice 6 (síntomas severos) no hubo diferencias, registrando los porcentajes más bajos. A los 14 DDA, los tratamientos que mantuvieron mayores porcentajes de plantas en índice 1 (sin síntomas) fueron T2 y T4. Mientras que, para el índice 3 (síntomas leves), los tratamientos se mantuvieron sin diferencias y para los índices 4 y 5, se encontraron diferencias significativas de T3, con respecto al resto de los tratamientos (Cuadro 4).



Figura 4. Imágenes representativas del ensayo a campo a los 14 DDA en sistema de labranza cero (panel superior) y labranza convencional (panel inferior).

Los síntomas de fitotoxicidad observados en el ensayo fueron epinastia, manchas, necrosis de nervaduras, deformación, quemado y arrugado de folíolos. La Figura 5, muestra los síntomas de fitotoxicidad en orden creciente observados en las plantas de poroto desde el índice 1 al 6. De igual manera, los síntomas típicos descritos para poroto común por efecto de fomesafen incluyen bronceado, quemado, arrugado de las láminas foliares y retraso del crecimiento (Gallon *et al.*, 2017). La tolerancia del cultivo de poroto a los p.a. inhibidores de PPO, puede variar de acuerdo con el cultivar y la dosis utilizada (Soltani *et al.*, 2010; Diesel *et al.*, 2014). En estudios pre-

vios, las aplicaciones de fomesafen a dosis de 250 y 280 g i.a. ha⁻¹ generaron efectos fitotóxicos en el cultivo (Brusamarello *et al.*, 2021). En concordancia, T3 y T5 que incluyeron la mayor dosis evaluada en el ensayo, tuvieron un mayor porcentaje de plantas con fitotoxidad. No obstante, a los 14 DDA, T3 presentó un 32,5 % de plantas comprendido entre los índices 4 y 6, mientras que, T5 presentó solo un 16 % de plantas en estos índices. Finalmente, los tratamientos que incluyeron al FOF, manifestaron una disminución en el porcentaje de plantas correspondientes a índices altos a los 14 DDA, favoreciendo la rápida recuperación del cultivo.

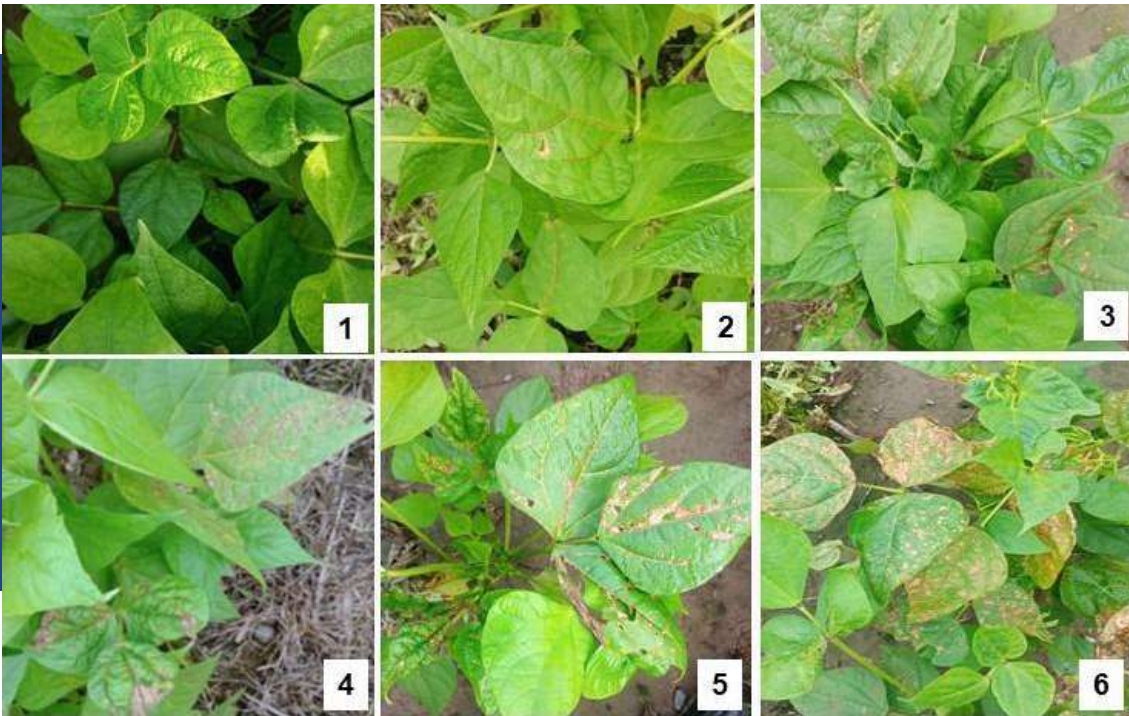


Figura 5. Imágenes de los síntomas de fitotoxidad observados en las plantas de poroto negro (NAG12), en orden creciente desde el índice 1 al 6.

Cuadro 4. Porcentaje de plantas de poroto negro (cultivar NAG12) con síntomas de fitotoxidad clasificados por índices según la escala de evaluación europea, método EWRC, a los 7 DDA y 14 DDA. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Tratamientos		índice 1		índice 2		índice 3		índice 4		índice 5		índice 6
% plantas												
7 DDA												
T1	100	b	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
T2	87	b	3	b	9	b	1	a	0	a	0	a
T3	61	a	1	a	6	bc	20	b	10	b	2	a
T4	70	a	4	b	13	c	11	b	2	ab	0	a
T5	67	a	4	b	11	c	14	b	4	b	0	a
14 DDA												
T1	100	c	0	a	0	a	0	a	0	a	0	a
T2	82	b	2	ab	11	b	5	b	0	a	0	a
T3	65	a	1	ab	8	b	15	c	10	b	1	a
T4	83	b	1	ab	7	b	8	b	1	a	0	a
T5	75	ab	4	b	8	b	11	b	2	a	0	a

Análisis de los componentes del rendimiento en función de los tratamientos con aplicación postemergente y el sistema de labranza del suelo

En función de las condiciones ambientales registradas durante la campaña, se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos, manejo de suelo e interacción para el número de plantas m^{-2} y número de vainas planta $^{-1}$. Los resultados para el número de vainas m^{-2} y $kg\ ha^{-1}$, mostraron diferencias significativas solo entre los tratamientos ($p < 0,0001$) (Figura 6). Los tratamientos que incluyeron a FOF tuvieron mayor número de vainas planta $^{-1}$ promedio (Figura 6B), siendo el componente más importante del rendimiento, y el más afectado por el estrés (Geleta *et al.*, 2024). Con relación al manejo de suelo, se observaron diferencias significativas para el número de plantas m^{-2} y número de vainas planta $^{-1}$ (Figura 7).

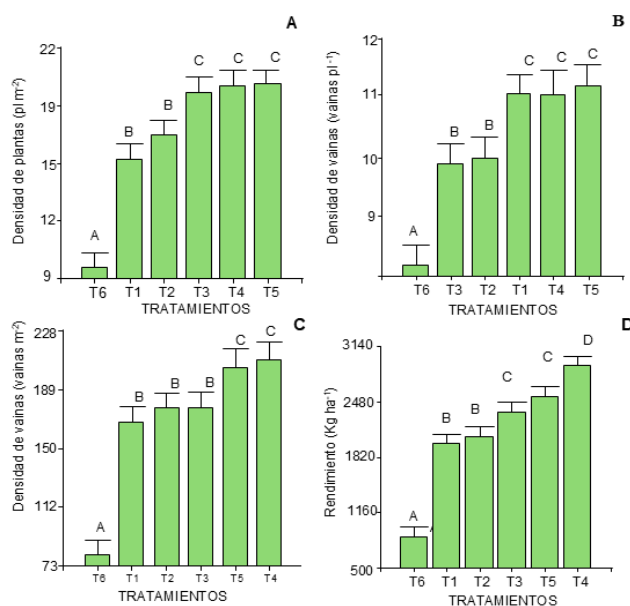


Figura 6. A) Densidad de plantas por m^{-2} ($pl\ m^{-2}$); B) Densidad de vainas por planta $^{-1}$ ($vainas\ pl^{-1}$); C) Densidad de vainas por m^{-2} ($vainas\ m^{-2}$); D) Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$). Se muestran los valores promedios obtenidos en el momento de cosecha para cada uno de los tratamientos y sus desviaciones estándares. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

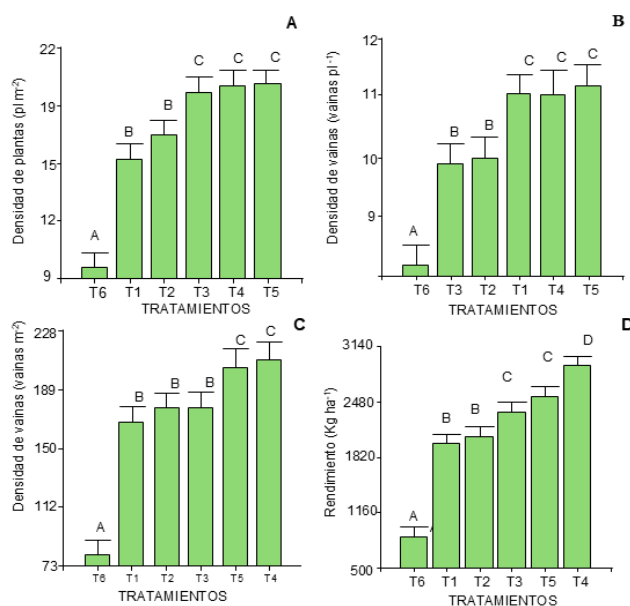


Figura 7. A) Densidad de plantas por m^{-2} ($pl\ m^{-2}$); B) Densidad de vainas por planta $^{-1}$ ($vainas\ pl^{-1}$); C) Densidad de vainas por m^{-2} ($vainas\ m^{-2}$); D) Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$). Se muestran los valores promedios obtenidos en el momento de cosecha según el manejo del suelo y sus desviaciones estándares. Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).



En otros estudios no encontraron diferencias significativas en el número de vainas m^{-2} entre los tratamientos que recibieron la aplicación de fomesafen y su correspondiente testigo (Vargas Jara, 2010; Mancuso *et al.*, 2016). No obstante, en este ensayo se detectaron diferencias significativas para esta variable, presentando una marcada diferencia T6 con el resto de los tratamientos (Cuadro 5). Por otro lado, es importante considerar que, T1 llegó a cosecha con un número bajo de plantas m^{-2} , sin embargo, no se diferenció de los tratamientos que incluyeron fomesafen y FOF. En otras zonas del NOA, el cultivar NAG 12 obtuvo valores promedio de 2.282 Kg ha^{-1} (Mamaní *et al.*, 2013), valores similares a los alcanzados por T2, en este ensayo. Al comparar, T2 y T4 se observó un incremento del número de vainas $planta^{-1}$ y $kg ha^{-1}$ en este último. En otros cultivos como soja, también se ha observado un incremento en la productividad al incorporar la fertilización foliar y efectuar el control de malezas de manera conjunta en comparación con la aplicación del herbicida solo (de Alencar *et al.*, 2022, Magliano *et al.*, 2023). La respuesta del poroto frente a las aplicaciones de fertilizantes foliares varía según los cultivares, disponibilidad hídrica, tipos de suelo y prácticas agronómicas (Aslani & Sourí, 2018). Por lo tanto, es necesario continuar con más evaluaciones referidas a la interacción de los genotipos comerciales de poroto, dosis y tipo de fertilizante en función del ambiente.

En relación con la competencia del cultivo frente a *T. tubaeformis*, se pudo confirmar a través de T6, la magnitud de la interacción. En este trabajo se observó que, en el caso de no realizar algún tipo de control en el periodo de mayor vulnerabilidad del cultivo, la competencia es muy severa. García *et al.* (2000) informaron pérdidas similares para el cultivo de poroto en la región en lotes de alta presión de *T. tubaeformis*. Bajo las condiciones dadas en el ensayo, en T6 se observó una reducción del rendimiento entre el 63% y 50% (en comparación con el promedio alcanzado por T2) en LC y L0, respectivamente. Por lo tanto, en lotes de poroto con alta presión de *T. tubaeformis*, las pérdidas podrían superar a las registradas en este estudio o incluso ser totales, debido a las dificultades que genera la maleza durante la cosecha. Sobre la base de lo expuesto en el presente trabajo, resulta fundamental continuar con las evaluaciones sobre la eficacia de los principios activos y posibles mezclas que mejoren los porcentajes de control en postemergencia, considerando la necesidad de integrar diversas estrategias para el manejo *T. tubaeformis*.

Cuadro 5. Efectos de los tratamientos de aplicaciones postemergentes (T) y manejo del suelo (MS) sobre los valores medios de las variables número de plantas m⁻², número de vainas m⁻², número de vainas plantas⁻¹, rendimiento en kg ha⁻¹ y peso de mil semillas. En las columnas, los valores medios con la misma letra no difieren significativamente, mientras que las cifras con letras diferentes difieren significativamente según el test DGC ($p < 0,05$). * Significativo al 5 % de nivel de probabilidad, ** significativo al 1 % de nivel de probabilidad, NS = no significativo.

MS	T	Densidad de plantas (pl m ⁻²)		Densidad de vainas (vainas m ⁻²)		Densidad de vainas (vainas pl ⁻¹)		Rendimiento (kg ha ⁻¹)		Peso de mil semillas (g)	
LC	T1	14	a	165	b	12,34	c	2084,6	b	233,03	a
LC	T2	17	b	186	c	10,7	b	2299,5	b	236,37	a
LC	T3	12	a	151	b	10,6	b	1934,9	b	240,53	a
LC	T4	17	b	197	c	12,1	c	2791,8	c	229,77	a
LC	T5	16	b	200	c	13,2	c	2407	b	232,57	a
LC	T6	9	a	80	a	7,01	a	847,4	a	215	a
L0	T1	17	b	159	b	9,41	b	1880,3	b	232,03	a
L0	T2	18	b	166	b	9,24	b	1851,6	b	248,4	b
L0	T3	26	c	203	c	7,3	a	2796,1	c	253,27	b
L0	T4	23	c	223	c	9,8	b	3046,3	c	257,2	b
L0	T5	24	c	211	c	8,9	b	2703,5	c	233,33	a
L0	T6	8	a	81	a	8,1	a	909	a	216,67	a
CV		20,7		25,1		29,5		22,7		5,35	
Nivel de significancia		**		*		**		*		NS	
DGC (0,05)		3,49		41,7		1,5		471,02		8,5	

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la aplicación conjunta del fertilizante foliar con el herbicida constituye una práctica eficaz para favorecer la recuperación temprana del cultivo frente al estrés inducido por fomesafen. Esta estrategia, representa una alternativa promisorio para mejorar la competitividad del cultivo frente a *T. tubaeformis*. Se continúa con evaluaciones de esta práctica por otro periodo más y en otros cultivares de poroto.

AGRADECIMIENTOS

2023-PE-L01-1056 - 2023-PE-L01-I064 - Empresa MOCHEC - Asociación Cooperadora de la EEA Salta.



Equipo de investigación

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARENGA DR, TEIXEIRA MFF., DE FREITAS FCL, PAIVA MCG, CARVALHO MRN & GONÇALVES VA (2018). Interações entre herbicidas no manejo do milho RR® voluntário. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, **17(1)**, 122-134. doi: [10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p122-134](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v17n1p122-134)
- ANDRADE CL, SILVA AG, BRAZ GB, OLIVEIRA RS. & SIMON GA (2020). Performance of soybeans with the application of glyphosate formulations in biostimulant association. *Revista Caatinga*, **33(2)**, 371-383. doi: [10.1590/1983-21252020v33n210rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n210rc)
- ASLANI M & SOURI MK (2018). Growth and quality of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under foliar application of organic-chelate fertilizers. *Open Agriculture*, **3(1)**, 146-154. doi: [10.1515/opag-2018-0015](https://doi.org/10.1515/opag-2018-0015)
- BAILEY W, WILSON H & HINES T (2003). Weed control and snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) response to reduced rates of fomesafen. *Weed Technology*, **17(2)**, 269-275. doi: [10.1614/0890-037X\(2003\)017\[0269:WCASBP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2003)017[0269:WCASBP]2.0.CO;2)
- BRUSAMARELLO AP et al. (2021). Tolerance of Brazilian bean cultivars to protoporphyrinogen oxidase inhibiting-herbicides. *Journal of Plant Protection Research*, **61(2)**, 117-126. doi: [10.24425/jppr.2021.137018](https://doi.org/10.24425/jppr.2021.137018)
- CÁMARA DE SANIDAD AGROPECUARIA Y FERTILIZANTES (CASAFE). (2024). *Guía de productos fitosanitarios*. Recuperado de <https://guiaonline.casafe.org/>
- DE ALENCAR E et al. (2022). Selectivity of post-emergence herbicides and foliar fertilizer in soybean crops. *Revista de Ciências Agroverterinárias*, **21(4)**, 452-460. doi: [10.5965/223811712142022384](https://doi.org/10.5965/223811712142022384)
- DI RIENZO J, CASANOVES F, BALZARINI M, GONZÁLEZ L, TABLADA M & ROBLEDO C (2020). *InfoStat (versión 2020)*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- DIESEL F, TREZZI M, OLIVEIRA P, XAVIER E, PAZUCH D & PAGNONCELLI F (2014). Tolerance of dry bean cultivars to saflufenacil. *Ciência e Agrotecnologia*, **38(4)**, 352-360. doi: [10.1590/S1413-70542014000400005](https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000400005)
- FORTE CT et al. (2019). Effects of glyphosate and foliar fertilizers on the glyphosate resistant (GR) soybean. *Australian Journal of Crop Science*, **13(8)**, 1251-1257. doi: [10.3316/informit.755367726187095](https://doi.org/10.3316/informit.755367726187095)
- GALON L et al. (2017). Associação de herbicidas para o controle de plantas daninhas em feijão do tipo preto. *Revista Brasileira de Herbicidas*, **16(4)**, 268-278. doi: [10.7824/rbh.v16i4.559](https://doi.org/10.7824/rbh.v16i4.559)
- GARCÍA A, CHAILA S, GONZÁLEZ NAVARRO H, DE LA VEGA M & RAIMONDO, J (2000). Competencia específica de *Tithonia tubaeformis* en cultivos de soja y poroto negro. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, **30**, 19-29.
- GELETA R, RORO AG & TERFA MT (2024). Phenotypic and yield responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties to different soil moisture levels. *BMC Plant Biology*, **242**. doi: [10.1186/s12870-024-04599-1](https://doi.org/10.1186/s12870-024-04599-1)
- HUARTE H, BUSTOS J, VARGAS P & SÁNCHEZ A. (2023). Identificación de los requerimientos germinativos de *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) como base para el diseño de prácticas agronómicas que reduzcan su emergencia. IV Congreso Argentino de Malezas. Recuperado de <https://asacim.org.ar/wp-content/uploads/2024/05/actas2023.pdf>
- LI Z, VAN ACKER R, ROBINSON D, SOLTANI N & SIKKEMA P. (2017). Managing weeds with herbicides in white bean in Canada: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, **97(5)**, 755-766. doi: [10.1139/cjps-2017-0030](https://doi.org/10.1139/cjps-2017-0030)
- MAGLIANO M et al. (2023). Estudio del impacto de Optimat como recuperador de stress en situaciones de aplicación de fomesafen y deriva de 2,4-D en soja. IV Congreso Argentino de Malezas. Recuperado de <https://asacim.org.ar/wp-content/uploads/2024/05/actas2023.pdf>
- MAMANÍ GS, VIZGARRA O, ESPECHE E, MÉNDEZ D & PLOPER D (2013). Consideraciones generales de la campaña de poroto 2013 en el Noroeste Argentino y resultados de ensayos. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). *Avance Agroindustrial*, **34(4)**, 20-23. Recuperado de <https://www.eeaoc.org.ar/wp-content/uploads/2018/11/34-4-6.pdf>
- MANCUSO MAC, AIRES BC, NEGRISOLI E, CORRÊA MR & SORATTO RP. (2016). Seletividade e eficiência de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-caupi. *Revista Ceres*, **63**, 25-32. doi: [10.1590/0034-737X201663010004](https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010004)
- PÜNTENER W. (1981). *Manual for field trials in plant protection* (2nd ed.). Ciba-Geigy Ltd., Suiza.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESCA (SAGyP) y Cámara de Legumbres de la República Argentina (CLERA). (2023). *Plan estratégico de legumbres*. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_estrategico_legumbresfinal_web_2023.pdf
- SIKKEMA PH, ROBINSON DE, SHROPSHIRE C & SOLTANI N (2006). Responses of otebo bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to postemergence herbicides. *Weed Biology and Management*, **6(2)**, 68-73. doi: [10.1111/j.1445-6664.2006.00196.x](https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2006.00196.x)
- SOLTANI N, SHROPSHIRE C & SIKKEMA PH (2010). Sensitivity of leguminous crops to saflufenacil. *Weed Technology*, **24(2)**, 143-146. doi: [10.1614/WT-09-0291](https://doi.org/10.1614/WT-09-0291)
- SOLTANI N et al. (2018). Potential yield loss in dry bean crops due to weeds in the United States and Canada. *Weed Technology*, **32(3)**, 342-346. doi: [10.1017/wet.2017.116](https://doi.org/10.1017/wet.2017.116)
- SOLTANI N, BROWN L & SIKKEMA P (2021). Broadleaf weed controls with halosulfuron tankmixes in whitebeansn. *American Journal of Plant Sciences*, **12(7)**, 1059-1072. doi: [10.4236/ajps.2021.127074](https://doi.org/10.4236/ajps.2021.127074)

VALE L, ELENA H, NOÉ Y & FRANZONI A A. (2024). Monitoreo de cultivos del noroeste argentino a partir de sensores remotos: Campaña agrícola 2024. Recuperado de <https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/21917>

VARGAS JARA M (2010). *Efecto fitotóxico de fomesafen y bentazon en poroto verde para consumo fresco* (Tesis de grado). Universidad de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112393>

Evaluación de herbicidas alternativos al uso de paraquat como desecantes en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.)

Evaluation of alternative herbicides to paraquat use as desiccants in pea (*Pisum sativum* L.) crop

Espósito, M.A.¹; Prieto, G.²; Oreggioni, G.³; García, A. V.¹

¹EEA INTA Oliveros; Santa Fe, ²AER Arroyo Seco; Santa Fe, ³Agrofin Agrocommodities S.A
garcia.andrea@inta.gob.ar

Citar como: Espósito et al. (2025)

Evaluación de herbicidas alternativos al uso de paraquat como desecantes en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en *Malezas* 14, 67-74

RESUMEN

La arveja presenta maduración desuniforme, por lo que se aplican herbicidas desecantes antes de la cosecha. El objetivo de este trabajo fue evaluar el porcentaje de secado (%S) y los niveles de residuos en grano de distintos herbicidas propuestos como alternativas al paraquat. El ensayo se realizó bajo un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: diquat, paraquat, glifosato, glufosinato de amonio, carfentrazone, saflufenacil, fomesafen y un testigo sin aplicación. A los 5 días después de la aplicación (DDA) se determinó el %S y a los 10 DDA se cosecharon las parcelas para medir humedad (%H) y analizar residuos mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas en tándem (HPLC-MS/MS), comparando los valores con los límites máximos de residuos (LMR) establecidos por la Unión Europea. El paraquat presentó el mayor %S (92 %), diferenciándose significativamente del resto. El carfentrazone mostró el %H más alto (13,77 %), similar al testigo, diquat y glufosinato. Los menores valores de %H correspondieron a paraquat (10,83 %) y glifosato (10,6 %). Los tratamientos con residuos por debajo del LMR fueron diquat (0,063 mg kg⁻¹), glifosato (2,59 mg kg⁻¹) y saflufenacil (0,0086 mg kg⁻¹). En cambio, paraquat, glufosinato y fomesafen superaron los LMR, mientras que el carfentrazone no fue detectado. En conclusión, los resultados preliminares indican que el diquat podría constituir una alternativa viable al uso de paraquat como desecante en arveja, aunque se recomienda repetir el ensayo para confirmar estos resultados.

Palabras clave: legumbres, límite máximo de residuos, cosecha.

SUMMARY

Pea crops exhibit uneven ripening; therefore, desiccant herbicides are applied before harvest. The objective of this study was to evaluate the drying percentage (%D) and grain residue levels of different herbicides proposed as alternatives to paraquat. The experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications. Treatments included: diquat, paraquat, glyphosate, ammonium glufosinate, carfentrazone, saflufenacil, fomesafen, and an untreated control. Five days after application (DAA), %D was determined, and at 10 DAA, plots were harvested to measure moisture content (%M) and analyze residues using high-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). Results were compared with the maximum residue limits (MRLs) established by the European Union. Paraquat showed the highest %D (92 %), significantly different from the other treat-

ments. Carfentrazone exhibited the highest %M (13.77 %), similar to the control, diquat, and glufosinate. The lowest %M values were recorded for paraquat (10.83 %) and glyphosate (10.6 %). Treatments with residue levels below the MRL were diquat (0.063 mg kg⁻¹), glyphosate (2.59 mg kg⁻¹), and saflufenacil (0.0086 mg kg⁻¹). In contrast, paraquat, glufosinate, and fomesafen exceeded the MRLs, while carfentrazone was not detected. In conclusion, preliminary results indicate that diquat could represent a viable alternative to paraquat as a desiccant in pea crops, although repeating the experiment is recommended to confirm these findings.

Keywords: legumes, maximum residue limit, harvest.

INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una especie perteneciente a la familia de las Fabáceas (subfamilia: Papilionoideas), que se caracteriza por una maduración desuniforme debido a su hábito de crecimiento indeterminado, y por efecto de las condiciones climáticas en la etapa reproductiva. (Endres & Kandel, 2021). La maduración desuniforme expone a las semillas al deterioro por parte del ambiente, comprometiendo la calidad del producto cosechado. Para minimizar esto, se utilizan herbicidas clasificados como “desecantes” que se aplican previo a la cosecha, luego de que la planta alcanzó el estado de madurez fisiológica. El momento oportuno para aplicar depende de diversos factores, entre los cuales el clima juega un rol fundamental si se quiere obtener un grano de calidad. En poroto y lenteja, una aplicación demasiado anticipada puede provocar pérdidas de rendimiento e incrementar significativamente el nivel de residuos en las semillas (Mc Naughton *et al.* 2015; Ti Zhang, 2015). Por otro lado, el atraso en el momento óptimo puede afectar la integridad del grano cosechado (“bleaching”, manchado, arrugado, brotado, roído, etc.).

El secado químico es una práctica que trae aparejada algunos beneficios, como uniformar la maduración de la arveja y controlar algunas especies de malezas que emergieron durante el ciclo del cultivo y que pueden interferir con la cosecha. Actualmente, en la Argentina, los herbicidas desecantes que se encuentran registrados para el cultivo de arveja son: saflufenacil, diquat y paraquat (SENASA, 2025), siendo este último uno de los más utilizados debido a su rápida acción. Sin embargo, con frecuencia se suele encontrar residuos de este herbicida en los granos cosechados, en ocasiones por encima del Límite Máximo de Residuos (LMR), que es el nivel más alto de residuos de plaguicidas que se tolera legalmente en alimentos de consumo humano o animal cuando se aplican correctamente. Este valor difiere según el cultivo, los pesticidas utilizados y el país donde se comercialicen los productos agrícolas (Normativa internacional de la Unión Europea). Sumado a esto, existen restricciones en determinados mercados debido a sus efectos sobre la salud humana y el ambiente (Fuchs *et al.*, 2023). En este contexto, resulta esencial hallar alternativas para el secado del cultivo de arveja en caso de que se extienda la prohibición de paraquat como ya sucedió en China, Corea del Sur, la Unión Europea y el Reino Unido (Albrecht *et al.*, 2022).

Por lo expuesto, el objetivo de este trabajo es evaluar el porcentaje de secado y los niveles de residuos en grano tras la aplicación de distintos herbicidas propuestos como desecantes alternativos al paraquat sobre el cultivo de arveja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Estación Experimental INTA Oliveros, sobre un lote con arveja Viper, sembrado el 24 de junio de 2024, a una densidad de 90 plantas por m². El barbecho se realizó con 700 cc ha⁻¹ de imazetapir (Fidemax 10% concentrado soluble) y 500 cc ha⁻¹ de metribuzin (Sencorex 48% suspensión concentrada). Previo a la siembra, la semilla fue curada con 1 cc kg⁻¹ de semilla de fludioxonil y metalaxil (Maxim RFC) e inoculada con la cepa de *Rhizobium leguminosarum* biovar viceae (Rilegum Top a razón de 4 cc kg⁻¹ de semilla). Durante el ciclo del cultivo se pulverizó contra pulgones con lambdacialotrina (Knowdus MLY).

El diseño experimental utilizado fue en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones. Se realizaron siete tratamientos de herbicidas más un control sin aplicación (Cuadro 1). El tamaño de las parcelas fue de 10 m de largo por 3 m de ancho. Los tratamientos se aplicaron

cuando el cultivo se encontraba en estado de senescencia (estado fenológico 301 según la escala de Knott 1987). Para esto, se utilizó una mochila de presión constante con fuente de CO₂ que erogó un caudal de 149 litros ha⁻¹, con boquillas de abanico plano 11015 a una presión de 4 bares, obteniendo un total de 95 impactos cm⁻² (medidos en la regulación). Las condiciones ambientales fueron: 34°C de temperatura, 48% de humedad relativa y la velocidad del viento fue de 3,9 Km h⁻¹.

A los 5 días después de la aplicación (DDA), se registró el porcentaje de secado de los distintos herbicidas utilizados como desecantes en cada parcela. Este porcentaje se estimó visualmente en comparación con el testigo sin aplicación, utilizando una escala de 0 a 100 %, donde 0 indica ausencia de efecto y 100 % corresponde al máximo nivel de secado observado.

Luego, a los 10 DDA, se realizó la cosecha con máquina experimental y en ese momento, se determinó la humedad del grano con un humidímetro portátil utilizando una muestra al azar de cada parcela cosechada. El análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias (LSD de Fisher), se realizó con Software InfoStat versión 2020.

Luego de 38 días DDA, se determinaron los niveles de residuos de herbicidas a través de Cromatografía Líquida de Alta Resolución - Espectrometría de Masas en tándem (HPLC MSMS) en las 24 muestras de granos cosechados. Posteriormente, los datos obtenidos fueron comparados con los LMR propuestos por la normativa internacional de la Unión Europea (Cuadro 4).

Cuadro 1: Detalle de los tratamientos realizados.

	Tratamientos	Marca comercial	Dosis de producto comercial (cc o gr ha ⁻¹)	Dosis de ingrediente activo (gr i.a. ha ⁻¹)
1	Diquat	Reglone	2000	800
2	Paraquat	AFA	2000	540
3	Glifosato	AFA Fideplus 66,2	2000	1324
4	Glufosinato de amonio	Lifeline	2000	560
5	Carfentrazone	Affinity	75	30
6	Saflufenacil	Heat	50	35
7	Fomesafen	Fidemax fomesafen 25	1000	262,5
8	Testigo		0	0

Las temperaturas mínimas y máximas junto con las precipitaciones durante el período junio-octubre de 2024 se registraron utilizando la estación meteorológica del INTA Oliveros (Figura 1). Durante la primera quincena de julio, ocurrieron varias heladas consecutivas, lo que provocó el retraso en la emergencia de la arveja, hacia finales del mes. Luego, en agosto, también se registraron heladas que necrosaron gran parte de las plantas emergidas (en ese momento el cultivo se encontraba en el estado 106 (Knott, 1987). Esto provocó que broten nuevas ramificaciones causando una madurez desuniforme.

A la siembra, el perfil del suelo se encontraba con una lámina promedio de agua útil de 259,1 mm a los 2 metros de profundidad que se determinó con el método gravimétrico y que correspondía a 86,6% de la capacidad de campo del suelo. Sin embargo, durante el periodo vegetativo se registraron 45 mm, de los cuales, el 78%, fue durante el mes de agosto (Figura 1).

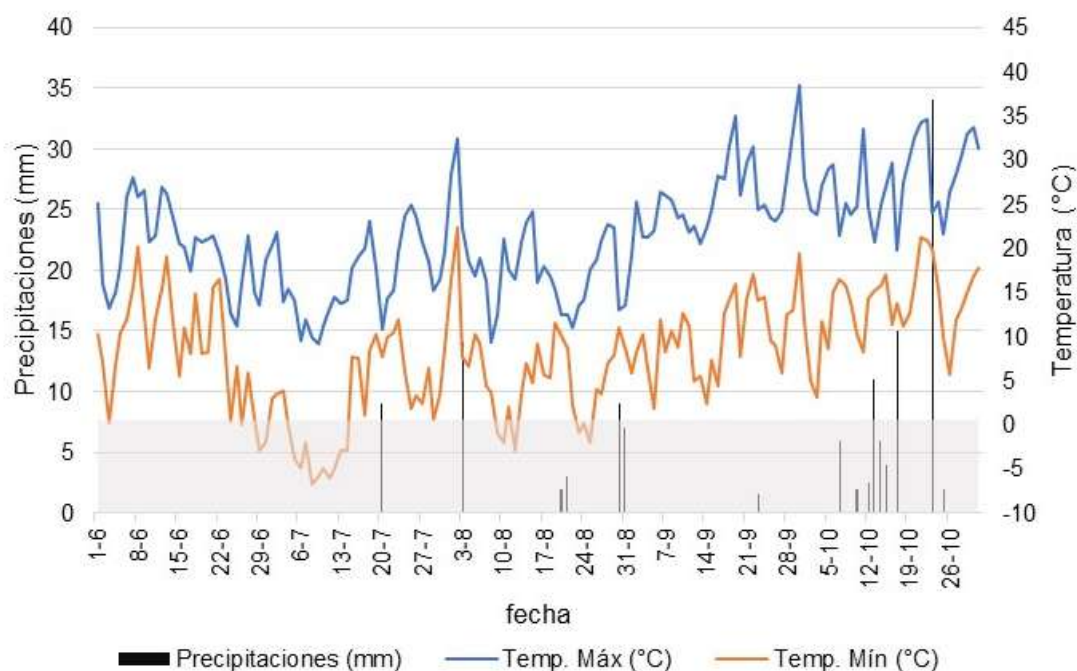


Figura 1. Temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones registradas por la estación meteorológica del INTA Oliveros durante el período de junio a octubre de 2024. En sombreado, se destacan las ocurrencias de las heladas meteorológicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de secado

El tratamiento de paraquat tuvo el mayor porcentaje de secado a los 5 DDA y se diferenció significativamente del resto de los tratamientos (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con los observados en los ensayos de los años 2021 y 2023 (datos no publicados), donde dicho tratamiento obtuvo el mayor valor (96 % y 80 %, respectivamente). En segundo lugar, se posicionó el diquat (72 %) diferenciándose del testigo y del resto de los tratamientos. El saflufenacil (60 %), glufosinato de amonio (60 %), glifosato (57 %), carfentrazone (57 %) y fomesafen (47 %) no mostraron diferencias estadísticas entre ellos y presentaron mayor porcentaje de secado respecto al control. Esto podría explicarse por las diferencias en el tiempo que transcurre entre la absorción, transporte y posterior aparición de los síntomas de los principios activos utilizados. En el caso del diquat y sobre todo el paraquat, se absorben rápidamente por las hojas y ante la presencia de luz, los síntomas son visibles a las pocas horas después de su aplicación, llegando a su máxima actividad necrótica a los tres días aproximadamente (Faccini, D. 2004). El resto de los herbicidas utilizados, como por ejemplo el glifosato su acción es más lenta y los síntomas son visibles a los 3 a 8 días después de la aplicación (Tuesca *et al.*, 2004). Mientras que el glufosinato de amonio la aparición de los síntomas se manifiesta de 2 a 5 días y su acción depende de la alta luminosidad del ambiente (Faccini *et al.*, 2017). En el caso de carfentrazone, fomesafen y saflufenacil, los síntomas se manifiestan a las pocas horas, pero la necrosis y la muerte ocurren después de varias semanas (Figuras 2, 3, 4 y 5).

Se podría inferir de forma preliminar
que el diquat sería una de las
alternativas al uso de paraquat

Cuadro 2. Porcentaje promedio de secado (%) y error estándar de cada tratamiento a los 5 DDA

Tratamientos	Promedio de secado (%) y nivel de significancia		Error estándar
Paraquat	92	A	1,67
Diquat	72	B	1,67
Saflufenacil	60	C	0
Glufosinato de amonio	60	C	5,77
Glifosato (66,2%)	57	CD	3,33
Carfentrazone	57	CD	6,67
Fomesafen	47	D	6,67
Testigo	0	E	0

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Test LSD Fisher ($p > 0,05$).

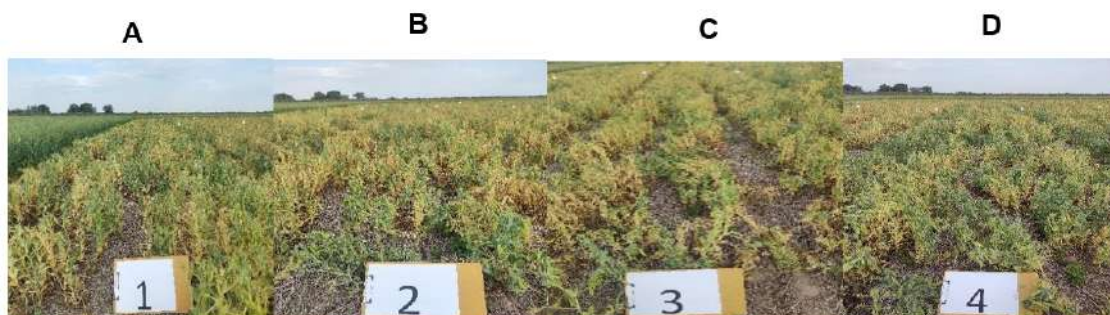
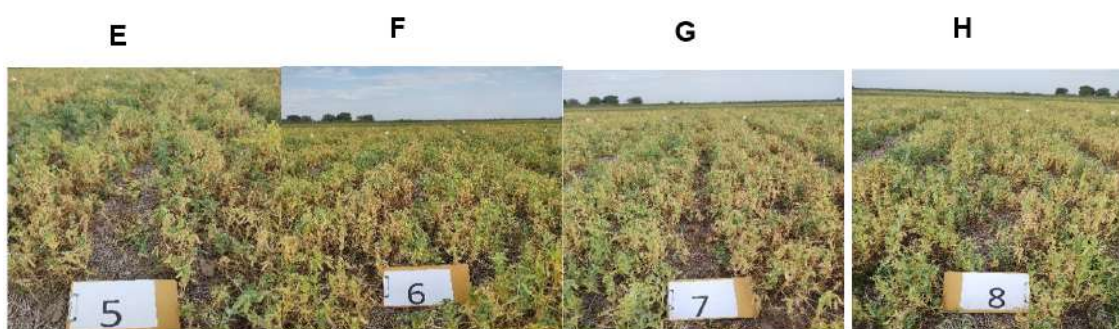
**Figura 2.** Estado de las parcelas de los tratamientos al momento de la aplicación. A) diquat, B) paraquat, C) glifosato, D) glufosinato de amonio.**Figura 3.** Estado de las parcelas de los tratamientos al momento de la aplicación. E) carfentrazone, F) saflufenacil, G) fomesafen, H) testigo sin aplicar.



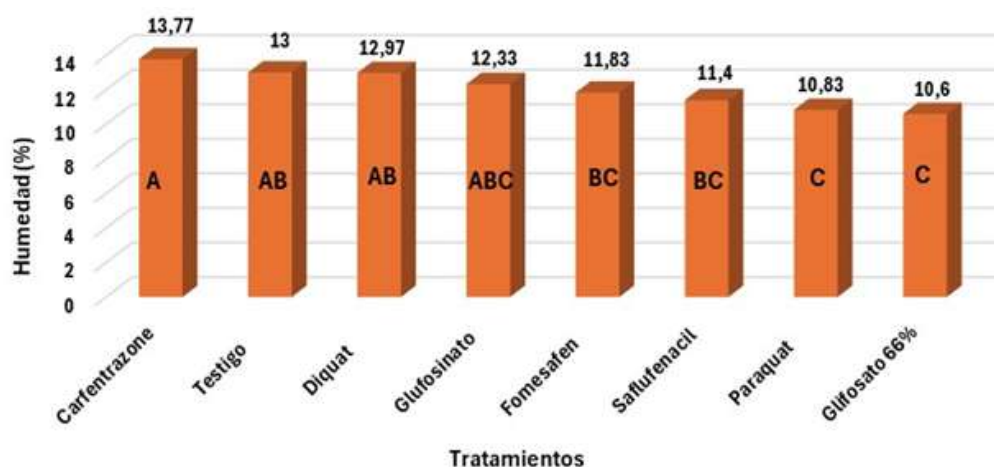
Figura 4. Detalle de los tratamientos a los 5 DDA. A) diquat, B) paraquat, C) glifosato, D) glufosinato de amonio.



Figura 5. Detalle de los tratamientos a los 5 DDA. E) carfentrazone, F) saflufenacil, G) fomesafen. H) testigo sin aplicar.

Humedad en grano

El tratamiento con mayor porcentaje de humedad al momento de la cosecha fue el carfentrazone, sin diferenciarse del testigo, diquat y glufosinato de amonio (Figura 6). Contrariamente, los tratamientos con paraquat y glifosato presentaron menor porcentaje de humedad a la cosecha, sin diferencias estadísticas con los tratamientos glufosinato de amonio, fomesafen y saflufenacil.



*Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Test LSD Fisher ($p > 0,05$).

Figura 6. Porcentaje de humedad a cosecha de los tratamientos.

Residuos en grano

Los residuos de herbicidas desecantes en las semillas variaron según el tratamiento, registrándose valores por debajo de los LMR en algunos casos y superiores en otros. Las semillas del tratamiento con diquat exhibieron valores promedios de residuos de $0,063 \text{ mg kg}^{-1}$, indicando valores de residuos inferiores al LMR fijado por la normativa de $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (Normativa Internacional Europea) (Cuadro 3). De manera similar sucedió con glifosato, donde se encontraron valores promedio de $2,59 \text{ mg kg}^{-1}$ y el LMR es de 10 mg kg^{-1} , y en saflufenacil, donde el promedio fue de $0,0086 \text{ mg kg}^{-1}$ y el LMR de $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$. En cambio, en el caso del paraquat las muestras exhibieron $0,781 \text{ mg kg}^{-1}$ en promedio y el LMR es de $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ es decir, que las mismas presentaron 39 veces más residuos que el límite permitido. De manera similar ocurrió con el glufosinato de amonio, las muestras exhibieron en promedio $2,897 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que demuestra un nivel de residuos 10 veces más que el LMR ($0,3 \text{ mg kg}^{-1}$). Mientras que el tratamiento con fomesafen, las muestras tuvieron $0,076 \text{ mg kg}^{-1}$ en promedio, evidenciando un valor de 8 veces más alto que el límite permitido ($0,01 \text{ mg kg}^{-1}$). En el tratamiento de carfentrazone no se detectaron residuos en las muestras remitidas al laboratorio.

Cuadro 3. Residuos de herbicidas (mg kg^{-1} grano) para cada tratamiento, comparación con los Límites Máximos de Residuos (LMR) de las normativas de la Unión Europea y relación entre ambos valores.

Tratamientos	Residuos (mg Kg^{-1})	Límite normativo (mg Kg^{-1})	Relación muestra/límite
1 Diquat	0,063	0,3	0,21
2 Paraquat	0,781	0,02	39
3 Glifosato 66%	2,59	10	0,26
4 Glufosinato de amonio	2,897	0,3	10
5 Carfentrazone	ND	0,05	
6 Saflufenacil	0,0086	0,1	0,09
7 Fomesafen	0,076	0,01	8
9 Testigo	0		

ND: No detectable

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó este experimento, el paraquat fue el herbicida de mayor porcentaje de secado, seguido por diquat. Por otro lado, obtuvo un menor porcentaje de humedad a cosecha mientras que el resto de los herbicidas utilizados alcanzaron valores más altos.

Con respecto a los residuos en grano, el paraquat, glufosinato de amonio y fomesafen tuvieron valores promedio por encima del LMR de la normativa de la Unión Europea, mientras que el diquat, glifosato y saflufenacil registraron valores por debajo del LMR. Cabe destacar que el carfentrazone no fue detectado en las muestras. Los resultados alcanzados en este experimento difieren de los obtenidos en la campaña pasada, donde sólo se registraron residuos de paraquat (datos no publicados). Esto podría deberse a que en esta campaña (a diferencia de la anterior) se realizó la aplicación de los tratamientos en parcelas con un mayor porcentaje de plantas verdes.

En base a los resultados obtenidos, se podría inferir de forma preliminar que el diquat sería una de las alternativas al uso de paraquat, sin embargo, se necesita repetir el experimento para corroborar estos resultados.



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la empresa Agrofin Agrocommodities S.A que, a través del convenio de colaboración técnica, nos permite realizar los análisis de residuos en granos.

BIBLIOGRAFÍA

- ENDEL G & KANDEL H (2021) Field Pea Production. NDSU Extension. A1166. Recuperado de: <https://www.ndsu.edu/agriculture/sites/default/files/2021-12/a1166.pdf>
- FACCINI D (2004) Inhibidores de la síntesis de la clorofila. En J. Vitta (Ed). Herbicidas: Características y Fundamentos de su Actividad. pp 39-42, UNR Ediciones.
- FUCHS JS, MIGLIORANZA KSB, WOLANSKY MJ, BRODEUR J, BUTINOFF M *et al.* (2023) Paraquat: Efectos sobre la biota e impactos en la salud humana; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas;173.
- KNOTT CM (1987) A key for stage development of the pea (*Pisum sativum*). *Ann. Appl. Biol.* **111**, 233-244.
- KRISTEN E *et al.* (2015) Effect of five desiccants applied alone and in combination with glyphosate in dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Canadian Journal of Plant Science* **95**, 6. <https://doi.org/10.4141/cjps-2015-098>
- COMISION EUROPEA, NIVELES MAXIMOS DE RESIDUOS, EU Pesticides Database (v3.3) <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/mrls>
- SENASA, 2025. <https://aps2.senasa.gov.ar/vademecum/app/publico/formulados>
- ZHANG T, JOHNSON EN, WILLENBORG CJ (2016) Evaluation of harvest-aid herbicides as desiccants in lentil production. *Weed Technology* **30**(3), 629-638. doi:10.1614/WT-D-16-00007.1
- TUESCA D & NISENSOHN L (2004) Inhibidores de la síntesis de aminoácidos. En J. Vitta (Ed). Herbicidas: Características y Fundamentos de su Actividad, pp 51-62, UNR Ediciones.