https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2026.e2801867 e-ISSN: 2305-0683 ISSN: 1684-9086

ARTÍCULO CIENTÍFICO

# Eficacia de herbicidas pre-emergentes solos y en mezcla para el control de malezas en mandioca

## Efficacy of Pre-Emergent Herbicides Alone and in Combination for Weed Control in Cassava

**Amalio Mendoza González[1*], Cosme Giménez Pedroso[2], Alberto Benítez[2], Elias Achucarro[2], Francisco Barboza[3]**

[1]Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, Centro de Investigación para Agricultura Familiar, Programa de Recursos Genéticos para Agricultura Familiar. Choré, Paraguay.

[2] Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria, Centro de Investigación para Agricultura Familiar, Programa PR-L 1161. Choré, Paraguay.

[3] PRODUSUR SA. Itapúa, Paraguay.

## RESUMEN

La mandioca es esencial para la seguridad alimentaria y la industria almidonera en Paraguay. Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar la eficacia de herbicidas solos y en mezcla en preemergencia para el control de malezas. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con ocho tratamientos y tres repeticiones: los tratamientos fueron: Clomazone 50% (2,5 L ha-¹) + Sulfentrazone 50% (0,5 L ha-¹); Flumioxazina 48% (150 g ha-¹) + Piroxasulfona 85% (200 g ha-¹); Metolaclor 96% (2 L ha-¹) + Flumioxazina 48% (150 g ha-¹); Flumioxazina 48% (150 g ha-¹) + Clomazone 50% (2,5 L ha-¹); Flumioxazina 48% sola; Metolaclor solo; Piroxasulfona 85% sola; y testigo sin aplicación. El control de malezas se evaluó a los 21 días mediante escala visual porcentual (ALAM, 1974). Los datos se analizaron con ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las mezclas Clomazone + Sulfentrazone (99,53 %), Flumioxazina + Piroxasulfona (99,1 %) y Metolaclor + Flumioxazina (98,43 %) superaron el 98 % de control, catalogado como óptimo según la escala utilizada, sin diferencias significativas entre ellas. Flumioxazina sola y Piroxasulfona sola alcanzaron control "Muy bueno" (89,33 % y 88,67 %), mientras que Metolaclor solo logró control "Bueno" (78,33 %). Se concluye que las mezclas con diferentes mecanismos de acción superan a los herbicidas individuales, destacándose las combinaciones que incluyen Flumioxazina y Clomazone por su eficacia superior al 98 %.

**Palabras clave:** *Manihot esculenta*, herbicidas preemergentes, control de malezas, eficacia agronómica, mezclas de herbicidas.

## ABSTRACT

Cassava is essential for food security and the starch industry in Paraguay. This study was conducted to evaluate the efficacy of pre-emergent herbicides, alone and in combination, for weed control. A randomized complete block design was used with eight treatments and three replications: the treatments were Clomazone 50% (2.5 L ha-¹) + Sulfentrazone 50% (0.5 L ha-¹); Flumioxazin 48% (150 g ha-¹) + Pyroxasulfone 85% (200 g ha-¹); Metolachlor 96% (2 L ha-¹) + Flumioxazin 48% (150 g ha-¹); Flumioxazin 48% (150 g ha-¹) + Clomazone 50% (2.5 L ha-¹); Flumioxazin 48% alone; Metolachlor alone; Pyroxasulfone 85% alone; and an untreated control. Weed control was evaluated at 21 days using a visual percentage scale (ALAM, 1974). Data were analyzed by ANOVA and Tukey's test ($p \leq 0.05$). The Clomazone + Sulfentrazone (99.53%), Flumioxazin + Pyroxasulfone (99.1%), and Metolachlor + Flumioxazin (98.43%) mixtures exceeded 98% control, classified as optimal according to the scale used, with no significant differences among them. Flumioxazin alone and Pyroxasulfone alone achieved "very good" control (89.33% and 88.67%), while Metolachlor alone achieved "good" control (78.33%). It is concluded that mixtures with different mechanisms of action outperform individual herbicides, with combinations including Flumioxazin and Clomazone standing out for their efficacy exceeding 98%.

**Keywords:** *Manihot esculenta*, pre-emergent herbicides, weed control, agronomic efficacy, herbicide mixtures.

***Autor para correspondencia:**
amalio.mendoza@ipta.gov.py.

**Conflictos de interés:**
Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

**Contribución de autores:**
Preparación de la parcela experimental: F.B. Aplicación de los tratamientos: A.B. y C.G. Mantenimiento del experimento: A.B., E.A. y F.B. Toma de datos de campo: A.M. y C.G. Concepción y diseño del manuscrito: A.M. Análisis de datos: A.M. Redacción del manuscrito: A.M.

**Financiamiento:**
El presente trabajo fue financiado por el Programa PR L-1161 del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

**Disponibilidad de datos**
El conjunto de datos pertenece al Programa PR L-1161, Producto 11: Tecnologías de manejo de cultivos hortícolas y de renta de la agricultura familiar, del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA), y se encuentra en la base de datos del Centro de Investigación para la Agricultura Familiar.

**Historial:**
Recibido: 02-10-2025;
Aceptado: 27-05-2026;
Publicado: 17-09-2026;

**Editor responsable:**
Arnaldo Esquivel-Fariña
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

**Comentarios de revisión:** El presente artículo ha sido evaluado mediante un proceso de revisión por pares en modalidad de doble ciego. Los informes de revisión, en línea con la política de transparencia editorial, se encuentran disponibles en: https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/867/696

**Licencia:**
Artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons CC-BY 4.0

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons 

## INTRODUCCIÓN

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) es originaria de la región tropical de América del Sur, específicamente del centro-sur de Brasil y este de Bolivia (Clement, Cristo-Araújo, D'Eeckenbrugge, Alves-Pereira, & Picanço-Rodrigues, 2010). Desde su centro de origen, se dispersó por toda América tropical y luego hacia África y Asia, convirtiéndose en un cultivo fundamental para la seguridad alimentaria mundial (Amelework y Bairu, 2022). Esta especie pertenece a la familia *Euphorbiaceae* y se caracteriza por su alta capacidad de adaptación a condiciones edafoclimáticas diversas, desde suelos ácidos y de baja fertilidad hasta períodos de sequía moderada (Tironi et al., 2019).

En Paraguay, la mandioca es un alimento preferido, básico y ubicuo en comunidades rurales, con significados económicos, culinarios y dietarios que la vinculan con la soberanía y seguridad alimentaria (Finnis, Benítez, Candia Romero, y Aparicio Meza, 2013). En Paraguay, la mandioca forma parte de la base económica de pequeños productores y constituye una materia prima relevante para la industria del almidón, en un contexto agrario orientado crecientemente a la exportación (Weisskoff, 1992). Los rendimientos de mandioca se mantienen por debajo de su potencial productivo, y esta brecha responde a múltiples restricciones de manejo, entre ellas la baja adopción de tecnologías mejoradas y el control inadecuado de malezas (Zebalho et al., 2025).

La mandioca es especialmente sensible a la competencia de malezas en sus etapas iniciales, y varios estudios sitúan el período crítico de interferencia aproximadamente entre 60 y 90 días después de la plantación (Costa, Ritter, Peres, Silva, y Vasconcelos, 2013).

El complejo de malezas en el cultivo de mandioca está dominado por especies de hoja ancha (dicotiledóneas), con menor representación de monocotiledóneas"

(Miléo et al., 2016; Ola, O. T., Ekhator, Opabode, Akinyemiju, y Ogedengbe, 2021).

Entre las especies perennes de mayor relevancia se destacan *Commelina erecta* (Santa Lucía), *Digitaria insularis* (Kapí'i pororo) e *Ipomoea spp*. (Ysypo'i), especies que presentan alta capacidad de regeneración y competencia sostenida con el cultivo. Las especies anuales más frecuentes incluyeron *Bidens pilosa, Amaranthus sp., Euphorbia heterophylla y Cenchrus echinatus*, caracterizadas por su rápido ciclo de crecimiento y alta producción de semillas (Duarte, Silva y Deuber, 2007; Lópes, Soares, Chidichima y Dias-Arieira, 2020). Esta diversidad de grupos funcionales demanda estrategias de manejo integrado que combinen herbicidas preemergentes con diferentes mecanismos de acción para asegurar un control eficaz sobre todo el espectro de malezas (Takano, Ovejero, Belchior, Maymone, y Dayan, 2021).

El manejo de malezas en el cultivo de mandioca ha sido tradicionalmente una actividad dependiente del trabajo manual. Prácticas como el deshierbe con azada, machete o hoz constituyen el método predominante en diversas regiones productoras, tal como se documenta en Nigeria, donde se realiza entre dos y tres veces por ciclo (Ekeleme et al., 2020), en la Amazonia (Fontes, Oliveira, y Morais, 2021) y en África central (Muke, Nabahungu, Kinché, Vanlauwe, y Boeckx, 2024). No obstante, esta modalidad de control presenta limitaciones significativas, entre las que destaca su alta demanda de mano de obra y tiempo, lo que la convierte en una tarea ardua y de alto costo operativo (Quee et al., 2016; Ekeleme et al., 2020; Muke et al., 2024). Frente a este contexto, el control químico de malezas emerge como una opción operativamente más eficiente, caracterizada por ser más rápido, menos dependiente de mano de obra y ofrecer un control más efectivo, lo que se traduce en mayor rendimiento operacional y, en muchos casos, en menores costos totales (Ekeleme et al., 2021; Fontes et al., 2021).

Los herbicidas preemergentes constituyen una herramienta eficaz para el control temprano de malezas en mandioca, ya que reducen la interferencia durante las primeras semanas del cultivo, etapa en la que la especie presenta desarrollo inicial lento y alta susceptibilidad a la competencia. Según el herbicida y las condiciones de campo, el control residual puede mantenerse entre aproximadamente 4 y 8 semanas, por lo que suele ser necesario complementarlo con otras prácticas para sostener el cultivo libre de malezas durante el período crítico (Santiago, Cavalcante, Braz, y Procópio, 2018; Ekeleme et al., 2020; Da Silva et al., 2025).

Estos herbicidas actúan a través de diferentes mecanismos de acción: Flumioxazin y sulfentrazone pertenecen al grupo de inhibidores de la PPO, generalmente más activos sobre malezas de hoja ancha, mientras que pyroxasulfone y S-metolachlor son inhibidores de la síntesis de ácidos grasos de cadena muy larga (VLCFA), aplicados principalmente en preemergencia para el control de gramíneas anuales y algunas latifoliadas. Clomazone actúa como inhibidor de la biosíntesis de carotenoides y aporta un espectro de control complementario según la especie objetivo. La combinación de herbicidas con diferentes mecanismos de acción puede ampliar el espectro de control y contribuir al manejo de la resistencia, aunque su beneficio depende de que cada componente sea eficaz y de que se integre con otras prácticas de manejo (Parra Rapado et al., 2024; Jhala et al., 2024)

En Paraguay, en mandioca, la disponibilidad de herbicidas selectivos y registrados sigue siendo limitada, especialmente para algunos modos de aplicación, lo que restringe la estructuración de programas de manejo químico consistentes Machado Filho et al., 2018; Fontes et al., 2021; Ekeleme et al., 2021). En este contexto, la evaluación de nuevas moléculas y combinaciones bajo condiciones locales resulta necesaria, porque la eficacia y la selectividad dependen de la comunidad de malezas, la variedad de mandioca, el ambiente y el sistema de implantación (Santiago et al., 2018; Fontes et al., 2021 y Pinto Ruiz, Medina, Tarragó, y Burgos, 2024).

Este estudio contribuye a llenar este vacío de información mediante la evaluación comparativa de diferentes principios activos y sus combinaciones aplicados en preemergencia para el control de malezas en mandioca bajo condiciones de campo en zonas productoras de Paraguay.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante la zafra 2024-2025 en la localidad de Vacay 33, Bella Vista, departamento de Itapúa (26°50'14"S; 55°40'43"W).

La preparación del suelo consistió en una labranza convencional con rastra pesada 30 días antes de la plantación seguida de nivelación previa a la fecha de plantación. La plantación se realizó en el 20 de agosto del 2024 con estacas de mandioca de 5 a 6 yemas, perteneciente a accesión MPy 577, disponible el banco de germoplasma del Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria utilizando un espaciamiento de 1,0 m entre hileras y 0,7 m entre plantas, equivalente a 14.000 plantas·ha-¹.

Se implementó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con ocho tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental consistió en parcelas de 2 m × 2 m (4 m²), separadas por calles de 0,5 m para evitar deriva de herbicidas. Dentro de cada unidad experimental se demarcaron tres subparcelas de evaluación de 1 m × 0,5 m (0,5 m² c/u), totalizando 1,5 m² de área útil por repetición ubicada en el medio de la parcela.

Los tratamientos herbicidas evaluados se presentan en la Tabla 1. La parcela testigo absoluto no recibió aplicación de herbicidas, sirviendo para determinar la densidad de población de malezas y utilizadas en comparaciones en la evaluación visual.

Las aplicaciones se realizaron en preemergencia del cultivo y malezas (al finalizar la plantación de las ramas semillas), utilizando pulverizador de $CO_2$ presurizado equipado con boquillas AXI 11002, espaciadas a 0,5 m y calibrado a presión de trabajo de 3,0 kgf·cm-², con volumen de aplicación equivalente a 200 L·ha-¹.

**Tabla 1.** Descripción de los tratamientos herbicidas evaluados en preemergencia en el cultivo de mandioca. Paraguay, 2025.

| Tratamientos | Principios activos y Combinaciones |
|---|---|
| 1 | Clomazone 50% (2,5 L $ha^{-1}$) + Sulfentrazone 50% (0,5 L $ha^{-1}$) |
| 2 | Flumioxazina 48% (150 g $ha^{-1}$+ Piroxasulfona 85%(200 g $ha^{-1}$) |
| 3 | Metalaclor 96% (2 L $ha^{-1}$) + Flumioxazina 48% (150 g $ha^{-1}$ |
| 4 | Flumioxazina 48% (150 g $ha^{-1}$) + Clamozone 50% (2,5 L $ha^{-1}$) |
| 5 | Flumioxazina 48% (150 g $ha^{-1}$) |
| 6 | Metalaclor (2 L $ha^{-1}$) |
| 7 | Piroxasulfona 85% (200 g $ha^{-1}$) |
| 8 | Testigo (sin tratamiento) |

**Tabla 2.** Escala de evaluación visual de control de malezas (ALAM, 1974).

| | Escala de Evaluación visual de control de malezas | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nota** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| **Eficacia (%)** | 0-40 | 41-60 | 61-70 | 71-80 | 81-90 | 91-100 |
| **Denominación** | Pobre | Regular | Suficiente | Bueno | Muy bueno | Optimo |

La evaluación de eficacia de control se realizó a los 21 días después de la aplicación (DDA), mediante metodología visual estandarizada por la Asociación Latinoamericana de Malezas (ALAM, 1974), utilizando la escala porcentual descrita en la Tabla 2, donde 0% representa ausencia de control y 100% control total de las plantas dañinas.

Los datos de porcentaje de control fueron sometidos a transformación arcoseno de la raíz cuadrada (arcsen $\sqrt{p}$) para cumplir con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) por el test F de Fisher ($p \leq 0,05$), y en caso de significancia, se aplicó la prueba de comparación múltiples de medias de Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando el software InfoStat versión 2020p (Di Rienzo et al., 2020). Los análisis gráficos se realizaron con Microsoft Office Excel 2023.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la parcela en estudio se registran diversas especies vegetales con predominancia de dicotiledóneas (60%) sobre monocotiledóneas (40%) (Tabla 3), aunque la abundancia y cobertura de las gramíneas (especialmente *Digitaria* y *Cenchrus*) suele ser mayor, haciéndolas más significativas desde el punto de vista de la competencia con los cultivos.

La composición florística observada en el muestreo es consistente con comunidades arvenses típicas de sistemas

agrícolas estivales disturbados, donde suelen predominar especies de *Poaceae, Asteraceae, Amaranthaceae y Euphorbiaceae*. En este contexto, la alta frecuencia de *Bidens pilosa, Digitaria spp., Amaranthus spp., Euphorbia heterophylla y Richardia brasiliensis* coincide con relevamientos previos de malezas en agroecosistemas regionales, lo que respalda la representatividad del muestreo y su valor para describir la flora arvense asociada a cultivos de verano (Castro, Lima, Tomquelski, Andrade y Martins, 2021).

La presencia destacada de *Bidens pilosa* es esperable por tratarse de una maleza cosmopolita e invasiva, ampliamente naturalizada en regiones tropicales y subtropicales, con capacidad para colonizar campos agrícolas, bordes de caminos y otros ambientes perturbados (Arthur, Naidoo, y Coopoosamy, 2012; Rojas-Sandoval et al., 2020; Kato-Noguchi y Kurniadie, 2024). Su éxito ecológico se asocia con alta producción de semillas, rápida dispersión, viabilidad prolongada y amplia plasticidad ambiental, rasgos que favorecen su persistencia en sistemas productivos bajo disturbio recurrente (Santos y Curry, 2011).

El análisis de la eficacia de los tratamientos herbicidas reveló diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$) por el test de Fisher, permitiendo agruparlos en tres categorías claramente definidas (Tabla 4).

Los tratamientos *clomazone + sulfentrazone, flumioxazin + pyroxasulfone y S-metolachlor + flumioxazin* se ubicaron entre los de mejor desempeño, sin diferencias estadísticas entre sí y con niveles de control superiores al 98% sobre las principales especies presentes. Este comportamiento es coherente con la literatura sobre herbicidas preemergentes, que muestra que las mezclas suelen ampliar el espectro de control y aumentar la confiabilidad del manejo inicial respecto a ingredientes activos aislados (Silva et al., 2023; Munaro et al., 2025)

La ventaja agronómica de estas combinaciones radica en que integran modos de acción complementarios, lo que permite mejorar el control simultáneo de gramíneas y latifoliadas y reducir el riesgo de fallas tempranas de control (Salomão et al., 2021; Silva et al., 2023)

En soja, combinaciones como sulfentrazone + clomazone, flumioxazin + pyroxasulfone y S-metolachlor + flumioxazin controlaron eficazmente *Euphorbia heterophylla, Digitaria insularis, Commelina benghalensis y Bidens pilosa* sin fitotoxicidad significativa (Munaro et al., 2025).

Los tratamientos con flumioxazin + clomazone, así como los herbicidas individuales flumioxazin y pyroxasulfone, mostraron altos niveles de control de 88,67% y 89,33%, respectivamente, aunque inferiores a las combinaciones de mejor desempeño. Este resultado indica que la mezcla de herbicidas no garantiza por sí sola una mayor eficacia, sino que su éxito depende de la complementariedad entre mecanismos de acción, del espectro de control de cada ingrediente activo y de su persistencia en el suelo (Silva et al., 2023; Carvalho, Ferrari Schedenffeldt, Pereira, & Monquero, 2025).

En particular, flumioxazin ha mostrado alta eficacia sobre malezas de hoja ancha y baja biomasa residual en distintos sistemas, mientras que pyroxasulfone se destaca por su contribución al control de gramíneas y por su buen desempeño cuando integra mezclas de amplio espectro (Kousta, Katsis, Tsekoura, A., y Chachalis, 2024; Silva et al., 2021; Albrecht et al., 2025).

Por otro lado, metolachlor presentó la menor eficacia entre los tratamientos evaluados, lo que refleja las limitaciones de depender de un solo modo de acción y de un herbicida

**Tabla 3.** Prevalencia de principales malezas encontradas en la parcela experimental (testigo). Paraguay, 2025.

| Clase | Orden | Familia | Género | Especie | Nombre común |
|---|---|---|---|---|---|
| Dicotiledónea | Malpighiales | Euphorbiaceae | Euphorbia | heterophylla | Lecherita |
| Dicotiledónea | Solanales | Convolvulaceae | Ipomoea | spp. | Ysypo´i |
| Monocotiledónea | Poales | Poaceae | Digitaria | sanguinalis | Cebadilla |
| Dicotiledónea | Asterales | Asteraceae | Bidens | pilosa | Kapi´una |
| Monocotiledónea | Poales | Poaceae | Digitaria | insularis | Kapi´i Pororo |
| Monocotiledónea | Commelinales | Commelinaceae | Commelina | erecta | Santa Lucia |
| Dicotiledónea | Caryophyllales | Amaranthaceae | Amaranthus | sp. | Amaranto |
| Monocotiledónea | Poales | Poaceae | Trichloris | crinita | Pasto crespo |
| Monocotiledónea | Poales | Poaceae | Cenchrus | echinatus | Kapi´ati |
| Dicotiledónea | Caryophyllales | Portulacaceae | Portulaca | sp. | Verdolaga |
| Dicotiledónea | Malpighiales | Euphorbiaceae | Euphorbia | serpens | Tupasy Kamby |
| Dicotiledónea | Brassicales | Brassicaceae | Raphanus | sativus | Nabo |
| Dicotiledónea | Asterales | Asteraceae | Acanthospermum | australe | Tape kue |
| Dicotiledónea | Gentianales | Rubiaceae | Richardia | brasiliensis | Ypé rupa |
| Dicotiledónea | Malvales | Malvaceae | Sida | spp. | Typycha Hü |

**Tabla 4.** Resultados de análisis de varianza y test de Tukey para el porcentaje de control de malezas. Paraguay. 2025.

| Principios de herbicidas | Promedio de control de malezas (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Transformado | Real | TT* | Escala |
| Clomazone 50% + Sulfentrazone 50% | 85,36 | 99,53 | A | Óptimo |
| Flumioxazina 48% + Piroxasulfona 85% | 84,85 | 99,10 | A | Óptimo |
| Metalaclor 96% + Flumioxazina 48% | 83,74 | 98,43 | A | Óptimo |
| Flumioxazina 48% + Clamozone 50% | 72,66 | 91,00 | B | Óptimo |
| Flumioxazina 48% | 70,47 | 89,33 | BC | Muy bueno |
| Piroxasulfona 85% | 70,99 | 88,67 | C | Muy bueno |
| Metalaclor | 62,30 | 78,33 | D | Bueno |
| Testigo (Sin aplicación)[1] | 0 | 0 | | |
| **CMerror** = 0,527 | **p-valor** (<0,0001) | | | |

*TT: Test de Tukey: Medias seguidas con las mismas letras no difiere entre sí por el test de Tukey al 5% de probabilidad de error.
[1]: Para el análisis de varianza no fue incluido el testigo absoluto.

cuyo desempeño puede verse afectado por condiciones edáficas y degradación microbiana (Hejazirad et al., 2024).

En contraste, la asociación S-metolachlor + flumioxazin refuerza que las mezclas bien diseñadas pueden ampliar el espectro de control y ofrecer un manejo preemergente más confiable que los tratamientos simples, especialmente cuando combinan ingredientes activos eficaces y residuales aislados (Salomão et al., 2021; Silva et al., 2023 y 2023 Munaro et al., 2025).

El porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Clomazone 50% + Sulfentrazone 50% sobre las 15 especies de malezas encontradas demostró una eficacia excelente (99,53%) en la mayoría de las especies, incluyendo Cebadilla *(Digitaria sanguinalis), Kapi´una (Bidens pilosa), Kapi´*i *pororo (Digitaria insularis), Santa Lucia (Commelina erecta), Amaranto (Amaranthus sp.), Pasto crespo (Trichloris crinita), Kapi´ati (Cenchrus echinatus), Verdolaga (Portulaca sp.), Tupasy Kamby (Euphorbia serpens Kunth), Nabo (Raphanus sativus), Tape kue (Acanthospermum australe), Ypé rupa (Richardia brasiliensis) y Typycha Hu (Sida spp.)* (Figura 1A). Sin embargo, *Lecherita (Euphorbia heterophylla), Ysypo´i (Ipomoea spp.)* se observaron un control inferior, lo que indica que estos biotipos pueden presentar tolerancia natural o escapes al modo de acción de esta mezcla específica.

Este resultado es consistente con estudios recientes en soja y otros cultivos, donde las asociaciones con sulfentrazone y clomazone mejoraron el control simultáneo de gramíneas y latifoliadas, además de ampliar la confiabilidad del manejo inicial (De Castro et al., 2024; Munaro et al., 2025; Albrecht et al., 2025).

La alta eficacia observada sobre *Digitaria insularis, Bidens pilosa., Cenchrus echinatus, Commelina y Amaranthus* también concuerda con antecedentes que describen buen control de estas especies con programas residuales basados en sulfentrazone o en mezclas que incluyen clomazone (Ovejero et al., 2013; Gazola et al., 2021).

El uso de *Flumioxazina* 48% + *Piroxasulfona* demuestra un nivel de control alto sobre el espectro de malezas listadas. Según los datos, el producto alcanzó un control del 100% en la gran mayoría de las especies evaluadas, la única excepción a este control se observaron en dos especies: *"Lecherita" (Euphorbia heterophylla) y "Kapí'una" (Bidens pilosa)*, que registraron un control elevado pero ligeramente inferior, del 96% y 90% respectivamente (Figura 1B).

La mezcla flumioxazina + piroxasulfona mostró un control residual alto y de amplio espectro, coincidiendo con ensayos en soja donde esta combinación fue la única entre las mejores en todas las evaluaciones, eficaz sobre *Digitaria insularis, Ipomoea spp., Urochloa plantaginea y Amaranthus hybridus* (Albrecht et al., 2025). Este desempeño es biológicamente consistente: flumioxazina (inhibidor PPO) actúa con acción rápida y residual en suelo, mientras que piroxasulfona (inhibidor de VLCFA) ha mostrado muy buen desempeño preemergente y, frente a otros herbicidas del mismo grupo, el mejor control numérico y rendimientos similares al testigo libre de malezas (Green y Owen, 2011; Soltani, Soltani, Brown, y Sikkema, 2019).

La formulación herbicida basada en *Metalaclor* + *Flumioxazina* demostró un control elevado y consistente sobre un amplio espectro de malezas, con menores eficiencia sobre especies como el pasto crespo *Trichloris crinita* y *Bidens pilosa* (90%), y del 96% sobre la lecherita *Euphorbia heterophylla* (Figura 1C).

Por ello, un control cercano al 90% sobre *Bidens pilosa* es agronómicamente valioso, dada su alta producción de semillas, emergencia escalonada y dificultad de control, y porque flumioxazina fue el herbicida más eficiente para su manejo, por encima de S-metolacloro (Brighenti, 2019). La formulación S-metolacloro + flumioxazina también mostró control elevado y consistente sobre un amplio espectro, aunque con menor eficacia relativa sobre algunas especies.

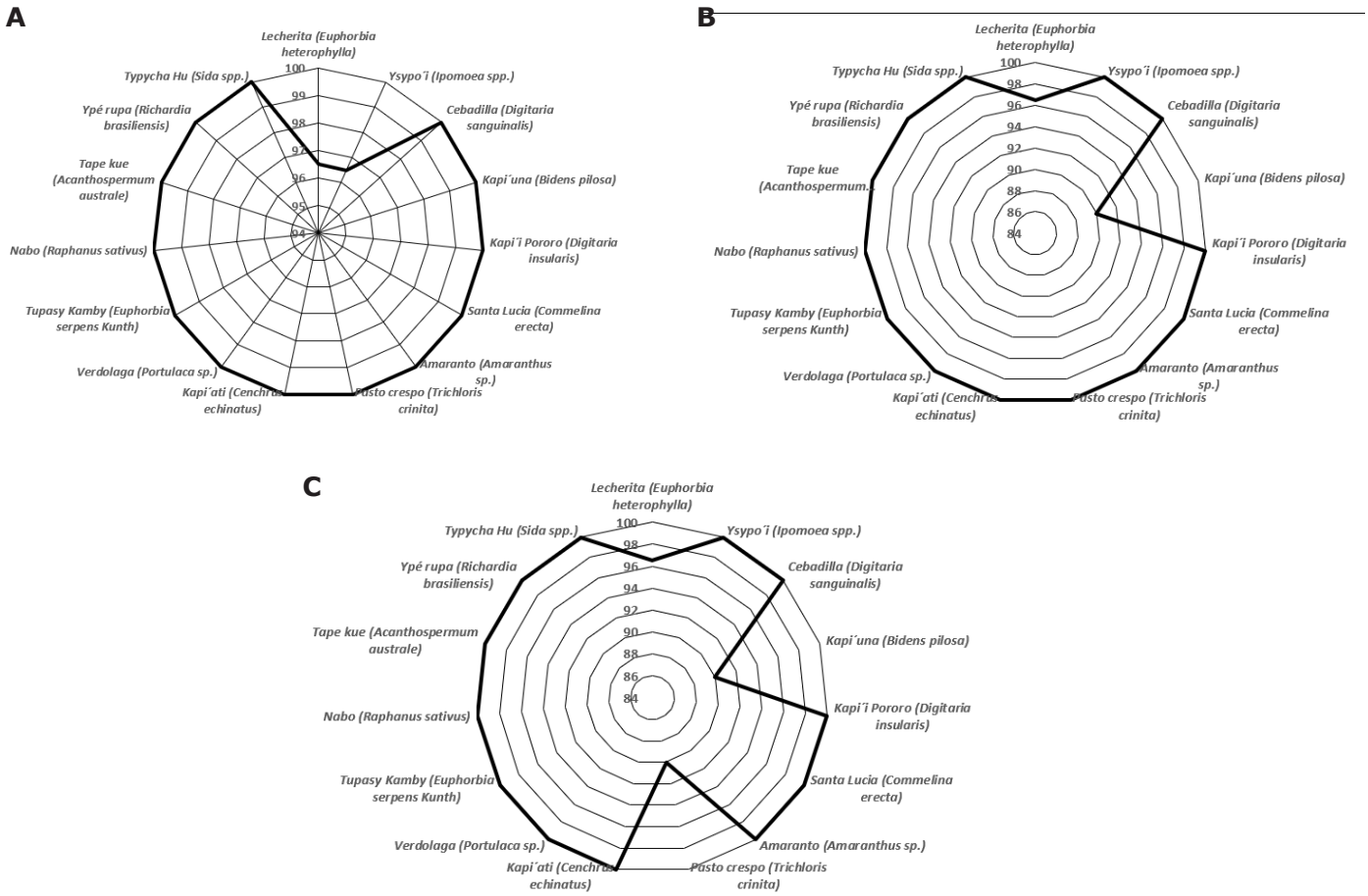



**Figura 1. A.** Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Clomazone 50% + Sulfentrazone 50% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025. **B**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Flumioxazina 48% + Piroxasullfona 85% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025. **C**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Metalaclor 96% + Flumioxazina 48% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025.

La formulación combinada de *Flumioxazina* y *Clomazone* presenta un perfil de control más variable y moderado en comparación con mezclas anteriores, observándose una eficacia reducida sobre especies clave, especialmente sobre la Cebadilla (*Digitaria sanguinalis*) con apenas un 40% de eficacia, y para Santa Lucía (*Commelina erecta*) con un 60% (Figura 2A).

Especies como la Lecherita (*Euphorbia heterophylla*) y *Bidens pilosa* muestran un control del 80% (Figura 2A).

La aplicación individual de *Flumioxazina* al 48% presenta un espectro de control significativamente más limitado y variable en comparación con sus formulaciones en mezcla (Figura 2B). Este patrón de control selectivo concuerda plenamente con De Carvallo et al. (2025) y Munaro et al. (2025) señalando como opciones viables para especies complejas.

La aplicación de S-metolaclor mostró limitaciones frente a varias especies, especialmente dicotiledóneas, lo que coincide con estudios donde este herbicida rindió mejor sobre gramíneas que sobre hojas anchas (Da Silva et al., 2024; Albrecht et al., 2025). En combinaciones con S-metolacloro fueron útiles para el control de monocotiledóneas, pero *Euphorbia heterophylla* siguió siendo una excepción relevante en manejo integrado (Da Silva et al., 2024).

La aplicación de *Piroxasulfona* al 85% como herbicida preemergente muestra un espectro de control superior al satisfactorio sobre mayoría de las especies, exceptos sobre santa lucia, lecherita, cebadilla y kipi´una que son malezas de gran importancia por su poder competitivo (Figura 2D).

La piroxasulfona mostró alta eficacia residual, pero su desempeño depende de la flora objetivo y de las condiciones del suelo, por lo que la formulación de que funciona mejor dentro de mezclas complementarias está mejor respaldada que una afirmación general sobre dicotiledóneas o monocotiledóneas (Yamaji, Honda, Hanai, y Inoue, 2016). Piroxasulfona sola fue fuerte sobre gramíneas pero pobre sobre varias hojas anchas, mientras que en mezcla alcanzó 96,5–99,8% de control de flora diversa (Albrecht et al., 2025). Esto refuerza la importancia de la utilización de mezclas para un mejor espectro de control de las malezas.

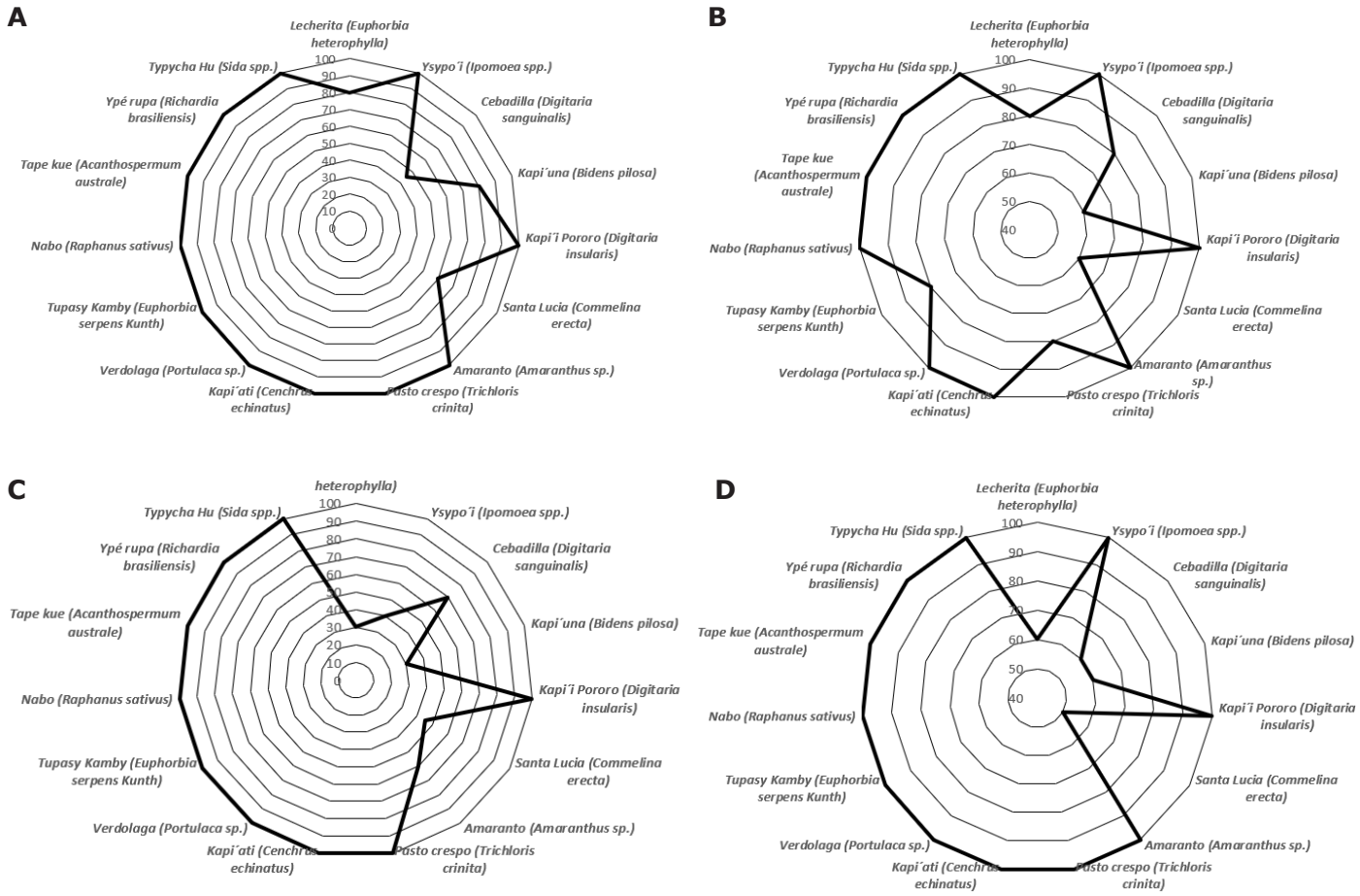



**Figura 2. A**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Flumioxazina 48% + Clomazone 50% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025. **B**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Flumioxazina 48% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025. **C**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Metalaclor 96% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025. **D**. Porcentaje de control ejercido por la mezcla herbicida Piroxasulfona 85% sobre las 15 especies de malezas encontradas. Paraguay. 2025.

## CONCLUSIÓN

Las mezclas de herbicidas preemergentes constituyen la estrategia más efectiva y consistente para el manejo del complejo de malezas presente en el cultivo de mandioca. Entre las combinaciones evaluadas, las más recomendables son Clomazone + Sulfentrazone, Flumioxazina + Piroxasulfona y Metalaclor + Flumioxazina, por su amplio espectro de acción sobre las principales especies problemáticas identificadas, abarcando tanto dicotiledóneas como monocotiledóneas, y por su superioridad frente a las aplicaciones individuales.

Estas mezclas se posicionan como una tecnología eficiente y recomendable para el control sostenible de malezas en el cultivo de mandioca, en el marco de un manejo integrado que contribuya a retardar la aparición de biotipos resistentes.

## AGRADECIMIENTOS

Para la empresa PRODUSUR SA (Productores Unidos del Sur SA) por la parcela experimental y principios activos de los herbicidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albrecht, L., Albrecht, A., Moreira Silva, A. F. M., Buss Tupich, F. L. B., Alves Ferrari, D. H. A., Larini, W. F., Benincá, L. H. G., & de Oliveira, V. H. (2025). Broad spectrum effectiveness of pyroxasulfone + flumioxazin for weed control in pre-emergence of soybean. *Revista Agrogeoambiental, 17*, e20251962. https://doi.org/10.18406/2316-1817v17nunico20251962

Amelework, A. B., & Bairu, M. W. (2022). Advances in Genetic Analysis and Breeding of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz): A Review, *Plants 11*(12), 1617. https://doi.org/10.3390/plants11121617

Arthur, G. D., Naidoo K. K., & Coopoosamy, R. M. (2012). Bidens pilosa L.: agricultural and pharmaceutical importance. *Journal of Medicinal Plants Research, 6*(17), 3282-3287. https://www.researchgate.net/publication/267725734_Bidens_pilosa_L_Agricultural_and_pharmaceutical_importance

Brighenti, A. M. (2019). Bidens pilosa L. (Asteraceae) control in sunflower with residual herbicides. *Comunicata Scientiae, 10*(2), 293–300. https://doi.org/10.14295/cs.v10i2.2942

Carvalho, D. D. de, Ferrari Schedenffeldt, B. F., Pereira,

G. R., & Monquero, P. A.(2025). Effectiveness of flumioxazin alone and in combination with other herbicides for controlling different weed emergence patterns and species. *Journal of Environmental Science and Health, Part B. 60*(4), 161 – 169. https://doi.org/10.1080/03601234.2025.2475651

Castro, M. A., Lima, S. F., Tomquelski, G. V., Andrade, M. G. O., & Martins, J. (2021). Crop management and its effects on weed occurrences. *Bioscience Journal*, 37, e37012. https://doi.org/10.14393/BJ-v37n0a2021-48271

Castro, R. A. de, Castro, S. G. Q. de, Castro, S. A. Q. de, Piassa, A., Soares, G. O. N., Tropaldi, L., & Christoffoleti, P. J. (2024). Optimizing herbicide selection for pre-emergence control of itchgrass and cypressvine morningglory in sugarcane. *Journal of Environmental Science and Health, Part B, 59*(6), 350–360. https://doi.org/10.1080/03601234.2024.2352321

Clement, C. R., Cristo-Araújo, M. D., D'Eeckenbrugge, G. C., Alves-Pereira, A., & Picanço-Rodrigues, D. (2010) Origen y domesticación de cultivos nativos de la Amazonía. *Diversidad 2*(1),72–106. https://doi.org/10.3390/d2010072

Costa, N. V., Ritter, L., Peres, E. J. L., Silva, P.V., & Vasconcelos, E. S. (2013). Weed interference periods in the 'fécula branca' cassava. *Planta Daninha, 31*(3), 533-542. https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000300005

da Silva, M. M., Almeida, E. I. B., Sousa, A. M., Ponte, I. S., Ribeiro, B. da S. B., Sousa, D. L. de, Sousa, A. C. de, Sousa, W. da S., Oliveira, L. B. T. de, & Souza, J. B. C. (2024). Pre-emergence herbicides effects in no-till soybean system with *Panicum maximum* 'BRS Tamani'. *Australian Journal of Crop Science, 18*(1), 21–28. https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.01.p4018

Duarte, A. P., Silva, A. C., & Deuber, R. (2007). Plantas infestantes em lavouras de milho safrinha, sob diferentes manejos, no Médio Paranapanema. *Planta Daninha, 25*(2), 285–291. https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000200007

Ekeleme, F., Dixon, A., Atser, G., Hauser, S., Chikoye, D., Olorunmaiye, P., Olojede, A., Korie, S., y Weller, S. (2020). Screening preemergence herbicides for weed control in cassava. *Weed Technol., 34*(5), 735–747. https://doi.org/10.1017/wet.2020.26

Ekeleme, F., Dixon, A., Atser, G., Hauser, S., Chikoye, D., Korie, S., Olojede, A., Agada, M., & Olorunmaiye, P. M. (2021). Increasing cassava root yield on farmers' fields in Nigeria through appropriate weed management. *Crop Protection, 150*, 105810. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105810

Finnis, E., Benítez, C., Candia Romero, E. F., & Aparicio Meza, M. J. (2013). Agricultural and dietary meanings of mandioca in rural Paraguay. *Food and Foodways, 21*(3), 163–185. https://doi.org/10.1080/07409710.2013.792197

Fontes, J. R. A., Oliveira, I. J., & Morais, R. R. (2021). Selectivity and efficiency of herbicides in cassava on the floodplain of the Solimões river. *Revista Agro@mbiente On-line, 15*, 1–15. https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v15i0.6393

Gazola, T., Gomes, D. M., Belapart, D., Dias, M. F., Carbonari, C. A., & Velini, E. D. (2021). Selectivity and residual weed control of pre-emergent herbicides in soybean crop. *Revista Ceres, 68*(3), 219-229. https://doi.org/10.1590/0034-737X202168030008

Green, J. M., & Owen, M. D. K. (2011). Herbicide-resistant crops: Utilities and limitations for herbicide-resistant weed management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59*(11), 5819–5829. https://doi.org/10.1021/jf101286h

Hejazirad, S. P., de Abreu, C. M., Carneiro, G. H. F., Gomes, C. R., Spinola Filho, P. R. de C., da Costa, M. R., & Santos, J. B. dos. (2024). The impact of metolachlor applications and phytoremediation processes on soil microorganisms: Insights from functional metagenomics analysis. *Journal of Xenobiotics, 14*(3), 970–988. https://doi.org/10.3390/jox14030054

Jhala, A. J., Singh, M., Shergill, L., Singh, R., Jugulam, M., Riechers, D. E., Ganie, Z. A., Selby, T. P., Werle, R., & Norsworthy, J. K. (2024). Very long chain fatty acid–inhibiting herbicides: Current uses, site of action, herbicide-resistant weeds, and future. *Weed Technology, 38*, e1. https://doi.org/10.1017/wet.2023.90

Kato-Noguchi, H., & Kurniadie, D. (2024). The invasive mechanisms of the noxious alien plant species. *Bidens pilosa*. *Plants, 13*(3), 356. https://doi.org/10.3390/plants13030356

Kousta, A., Katsis, C., Tsekoura, A., & Chachalis, D. (2024). Effectiveness and selectivity of pre- and post-emergence herbicides for weed control in grain legumes. *Plants, 13*(2), 211. https://doi.org/10.3390/plants13020211

Lópes, A. P. M., Soares, M. R. C., Chidichima, L. P. S., & Dias-Arieira, C. R. (2020). Weed hosts of *Meloidogyne* spp. and the effect of aqueous weed extracts on egg hatching. *Weed Research, 60*(2), 142–149. https://doi.org/10.1111/wre.12399

Machado Filho, G. C., Mota, M. A., Montelo, A. B., Farias, D. I. O. A. de, Nascimento, I. R. do, & Santos, M. M. dos. (2018). Herbicide selectivity to cassava crop in post-emergence application. *Communications in Plant Sciences, 8*, 112–115. https://thecpsjournal.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/11/cps2018015.pdf

Miléo, L. J., Silva, J. F., Albertino, S. M. F., Leite, B. N., Menezes, D. S., & Santos, A. F. (2016). Phytosociology of weeds in cultivation of two varieties of cassava. *Planta Daninha, 34*(2), 267–276. https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340200008

Muke, A., Nabahungu, L., Kinché, K., Vanlauwe, B., &

Boeckx, P. (2024). Weeding force saving to improve profitability of cassava-legumes cropping systems in eastern Democratic Republic of the Congo. *Crop Protection, 187*, e106958. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106958

Munaro, F. C., Silva, P. V. da, Borges, R. P. P. N., Medeiros, E. S. de, Schedenffeldt, B. F., Monquero, P. A., Ortiz, M. F., Westra, E. P., Salmazo, P. A. V., Mauad, M., & Dias, R. de C. (2025). Combination of pre-emergence herbicides for weed control in soybean. *International Journal of Agriculture and Biology, 34*, e340211. https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2359

Ola, O. T., Ekhator, F., Opabode, J. T., Akinyemiju, O. A., & Ogedengbe, O. O. (2021). Evaluation of two contrasting cassava canopy structures on weed flora composition in a rainforest zone of Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research, 12*(12), 45–52. https://doi.org/10.7176/JNSR/12-12-05

Ovejero, R., Soares, D. J., Oliveira, W. S., Fonseca, L. B., Berger, G. U., Soteres, J. K., & Christoffoleti, P. J. (2013). Residual herbicides in weed management for glyphosate-resistant soybean in Brazil. *Planta Daninha, 31*(4), 947–959. https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400021

Parra Rapado, L., Kölpin, F. U. G., Zeyer, S., Anders, U., Priccard, L., Porri, A., & Asher, S. (2025). Complementary activity of trifludimoxazin and saflufenacil when used in combination for postemergence and residual weed control. *Weed Science, 73*, e14. https://doi.org/10.1017/wsc.2024.92

Pinto Ruiz, G. A., Medina, R. D., Tarragó, J., & Burgos, Á. (2024). Selectivity of pre-emergent herbicides in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and its relationship with the stem cutting planting system. *Crop Protection, 187*, e106985. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106985

Quee, D. D., Sarkodie-Addo, J., Duku, S., Samura, A., Conteh, A., Bebeley, J., & Sesay, J. V. (2016). Economic evaluation of weed control and herbicide residues on cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Ghana. *The Journal of Agricultural Science, 8*(7), 47–53. https://doi.org/10.5539/jas.v8n7p47

Rojas-Sandoval, J. (2020). *Bidens pilosa* (blackjack). *CABI Compendium*. https://doi.org/10.1079/isc.9148.20203483381

Salomão, H. M., Trezzi, M., Viecelli, M., Pagnoncelli Junior, F. de B., Patel, F., Damo, L., & Frizzon, G. (2021). Weed management with pre-emergent herbicides in soybean crops. *Communications in Plant Sciences, 11*, 60–66. https://doi.org/10.26814/cps2021008

Santiago, A. D., Cavalcante, M. H. B., Braz, G. B. P., & Procópio, S. O. (2018). Efficacy and selectivity of herbicides applied in cassava pre-emergence. *Revista Caatinga, 31*(3), 640–650. https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n312rc

Santos, J., & Cury, J. P. (2011). Picão-preto: Uma planta daninha especial em solos tropicais. *Planta Daninha, 29*, 1159–1171. https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000500024

Silva, T. S., Arneson, N. J., DeWerff, R. P., Smith, D. H., Silva, D. V., & Werle, R. (2023). Preemergence herbicide premixes reduce the risk of soil residual weed control failure in corn. *Weed Technology, 37*(4), 410–421. https://doi.org/10.1017/wet.2023.45

Silva, A. G. C. da, Monteiro, A. L., Souza, M. de F., Bandeira, J. N., Coêlho, E. dos S., Diniz, B. P. S., Barros Júnior, A. P., & Silva, D. V. (2025). Selectivity and efficacy of herbicides applied in pre-emergence in cassava crop. *IEEE Access, 13*, 7614–7622. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3526699

Silva, M. de S. da, Furtado, J. A. L., Castro, J. Q., Santos, I. L. dos, Almeida, E. I. B., Oliveira, L. B. T. de, Sousa, W. da S., & Araújo, R. C. de A. (2021). Weed control and selectivity of different pre-emergence active ingredients in a soybean crop. *Agronomía Colombiana, 39*(3), 392–404. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n3.96334

Soltani, N., Brown, L., & Sikkema, P. (2019). Weed control in corn and soybean with Group 15 (VLCFA inhibitor) herbicides applied preemergence. *International Journal of Agronomy, 2019*, 8159671. https://doi.org/10.1155/2019/8159671

Takano, H. K., Ovejero, R. F. L., Belchior, G. G., Maymone, G. P. L., & Dayan, F. E. (2021). ACCase-inhibiting herbicides: Mechanism of action, resistance evolution and stewardship. *Scientia Agricola, 78*(1), e20190102. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0102

Tironi, L. F., Zanon, A. J., Alves, A. F., Freitas, C. P. O., Santos, A. T. L., Cardoso, P. S., Tonel, G. P., Rodrigues, L. B., Tagliapietra, B. L., Silva, M. N., & Streck, N. A. (2019). *Eco-fisiologia da mandioca visando altas produtividades*. Editora GR.

Weisskoff, R. (1992). The Paraguayan agro-export model of development. *World Development, 20*(10), 1531–1540. https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90072-4

Yamaji, Y., Honda, H., Hanai, R., & Inoue, J. (2016). Soil and environmental factors affecting the efficacy of pyroxasulfone for weed control. *Journal of Pesticide Science, 41*(1), 1–5. https://doi.org/10.1584/jpestics.D15-047

Zebalho, C. S., Pilecco, I. B., Streck, N. A., Cardoso, P. de S., Freitas, C. P. de O. de, Vieira, E. A., Soares, M. F., Tagliapietra, B. L., Ferigolo, A. A., Swarowsky, A., Follmann, D. N. de, Souza, J. V. S. de, & Zanon, A. J. (2025). Assessing management factors limiting yield and starch content of cassava in the western Brazilian Cerrado. *Agronomy Journal, 117*, e21722. https://doi.org/10.1002/agj2.21722