



## Control químico de plántulas y brotes de *Sorghum halepense* (L.) Pers. provenientes de semillas y rizomas

Sandra Torres<sup>1</sup>, Alejandro Dávila<sup>2</sup>, Aida Ortiz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela

<sup>2</sup>Ingeniero agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua, Venezuela

### RESUMEN

La paja Johnson [*Sorghum halepense* (L.) Pers.], es una de las malezas más problemáticas en la agricultura, debido a su reproducción asexual por rizomas y su alta competitividad, alcanzando alturas de 1,8 a 2,5 metros. Este crecimiento puede afectar drásticamente el rendimiento de cultivos como el maíz. El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de diferentes herbicidas preemergentes y postemergentes para controlar plántulas y brotes de la accesión SH490P de *S. halepense* provenientes de semillas y rizomas. Se realizaron cuatro experimentos con un diseño completamente aleatorizado de diez repeticiones, aplicando herbicidas: pendimetalin (preemergente, 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup>), isoxaflutole (preemergente, 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup>), glifosato (postemergente, no selectivo, 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup>) y nicosulfuron (postemergente, selectivo, 30 g i.a. ha<sup>-1</sup>). La efectividad se midió en porcentaje de control (%) y biomasa aérea fresca (g), usando una escala de clasificación internacional. Los resultados mostraron que glifosato, pendimetalin e isoxaflutole lograron un control significativo de accesiones de semillas ( $P < 0,01$ ). Sin embargo, el glifosato fue el único herbicida eficaz contra accesiones originadas de rizomas. En contraste, nicosulfuron no mostró eficacia en el control de la maleza, sin importar su origen. Este estudio aporta información valiosa para el manejo integrado de *S. halepense* en cultivos agrícolas.

**Palabras clave:** glifosato, isoxaflutole, nicosulfuron, paja Jonhson, pendimetalin

Rev. Fac. Agron. (UCV) Vol. 50(2): 89-103 (2024)

ORCID: 0000-0002-8576-6325  
0000-0003-4855-9770

Depósito Legal: PI200502AR2252

ISSN: 0041-8285

e-ISSN 1856-5573

Autor de correspondencia: Aida Ortiz

E-mail: aidaortzd@gmail.com; Telf: +58 04145886599

Recepción: 22-09-2024

Aceptado: 14-01-2025.

Publicado: enero 2025

Esta Revista se publica bajo el auspicio del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV

## Chemical control of seedlings and shoots of *Sorghum halepense* (L.) Pers. from seeds and rhizomes

### ABSTRACT

*Sorghum halepense* (L.) Pers. is a highly problematic agricultural weed due to its asexual reproduction via rhizomes and its ability to grow 1.8 to 2.5 meters tall, significantly impacting crop yields, particularly corn. This research aimed to assess the efficacy of various pre-emergence and post-emergence herbicides in controlling seedlings and sprouts of the SH490P accession of *S. halepense* from both seeds and rhizomes. Four experiments were conducted in a completely randomized design with ten replicates, using the following herbicides: Pendimethalin (pre-emergence, 1920 g a.i. ha<sup>-1</sup>), isoxaflutole (pre-emergence, 52.25 g a.i. ha<sup>-1</sup>), glyphosate (post-emergence, non-selective, 2040 g a.i. ha<sup>-1</sup>), and nicosulfuron (post-emergence, selective, 30 g a.i. ha<sup>-1</sup>). Effectiveness was assessed based on control percentage (%) and fresh aboveground biomass (g), according to an international classification scale. Results indicated that glyphosate, pendimethalin, and isoxaflutole provided significant control of seed accessions ( $P < 0.01$ ), with glyphosate being the only herbicide effective against rhizome-derived accessions. In contrast, nicosulfuron was ineffective against weeds, irrespective of their source. This study offers important insights for the integrated management of *S. halepense* in agriculture.

**Key words:** Glyphosate, isoxaflutole, Johnsongrass, nicosulfuron, pendimethalin

### INTRODUCCIÓN

El poliploide *Sorghum halepense* (L.) Pers., conocido como paja Johnson, ha pasado de ser un forraje potencial para convertirse en una de las malezas agrícolas más problemáticas del mundo (Paterson *et al.*, 2020, Dweikat, 2005). Originaria de Eurasia, esta planta invasora desplaza la flora nativa y se expande rápidamente por reproducción vegetativa y semillas (Klein y Smith, 2021).

La paja Johnson florece alrededor de 46 días después de la emergencia y puede producir hasta 80.000 semillas por planta en una sola temporada (Ryder *et al.*, 2018). Sus semillas presentan latencia y pueden permanecer viables hasta 25 años (Egley y Chandler, 1978). Esta latencia se debe a factores físicos y químicos, como la presencia de taninos que reducen la permeabilidad al agua (Bennett, 1973) y la producción de ácido abscísico que inhibe la germinación (Steinbach *et al.*, 1997). Además, las tasas de germinación son más altas en la superficie del suelo en comparación con profundidades mayores (Toth y Lehoczky, 2006).

La planta produce rizomas subterráneos que permiten su reproducción vegetativa, representando entre el 31% y 37% de su biomasa total (Benech-Arnold *et al.*, 1992). Estos rizomas pueden alcanzar más de 60 cm de longitud y representar hasta el 70% del peso seco total de la planta (Paterson *et al.*, 2020), lo que las hace más competitivas y difíciles de controlar que aquellas que emergen de semillas (Mitskas *et al.*, 2003).

Las pérdidas de rendimiento en cultivos como el maíz debido a la interferencia de la paja Johnson pueden alcanzar hasta el 80% (Mitskas *et al.*, 2003). Estas pérdidas están relacionadas con la mayor producción de rizomas en áreas agrícolas, en comparación con entornos no agrícolas (Klein y Smith, 2021). Además, la paja Johnson actúa como refugio para insectos y enfermedades, y su consumo durante sequías puede ser tóxico para el ganado (Henderson, 2001).

El uso de herbicidas para controlar la paja Johnson ha aumentado en las últimas décadas, lo que ha llevado al desarrollo de poblaciones resistentes (Klein y Smith, 2021). En Venezuela, se han encontrado accesiones resistentes a herbicidas específicos, lo que complica aún más su manejo (Ortiz *et al.*, 2014).

Para controlar esta maleza, se sugiere rotación de cultivos y coberturas para reducir semillas y rizomas en áreas moderadamente infestadas (Uremis *et al.*, 2009). El corte repetido de las plantas también puede prevenir la producción de nuevas semillas y rizomas (Uva *et al.*, 1997). Sin embargo, se recomienda un enfoque integrado que combine varios métodos para un manejo efectivo, mecánico, cultural y químico utilizando herbicidas preemergentes para plántulas y postemergentes para plantas provenientes de rizomas (Scarabel *et al.*, 2014). Por otro lado, los herbicidas postemergentes, especialmente los inhibidores de ACCasa y ALS, son eficaces tanto en plántulas como en plantas originadas de rizomas (Kaloumenos y Eleftherohorinos, 2009). Recientes estudios han demostrado que combinaciones de glifosato con otros herbicidas logran un control casi total de la paja Johnson en áreas no cultivadas (Bararpour *et al.*, 2023).

Este estudio tiene como objetivo evaluar la eficacia de diferentes herbicidas en el control de plántulas y brotes de la accesión SH490P de *Sorghum halepense* provenientes de semillas y rizomas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el invernadero del Laboratorio de Malezas del Instituto de Agronomía, ubicado en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, en Maracay, Estado Aragua. Las condiciones del invernadero incluyeron temperatura promedio de 35°C, duración del día de 12 horas, humedad relativa del 80% y radiación fotosintéticamente activa (PAR) 1600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

El material vegetal utilizado consistió en semillas sexuales y rizomas de la accesión SH490P de *S. halepense* recolectado en una finca del sector Las Marías, Municipio Turén, Estado Portuguesa, con coordenadas geográficas 9.3522°N, -69.1431°O. Las semillas, al alcanzar la madurez fisiológica, se recolectaron y colocaron en bolsas de papel. Los rizomas con más de dos yemas se extrajeron del suelo al excavar alrededor de las plantas de paja Johnson y se colocaron en una cava con hielo para su transporte al laboratorio.

La latencia de las semillas se rompió siguiendo el protocolo siguiente: se procedió primero a limpiar las semillas de impurezas mediante tamizado y luego se escarificaron manualmente con pinzas, eliminando las glumas y dejando las semillas completamente desnudas. A continuación, las semillas se colocaron en matraces de 250 ml con una solución de  $\text{KNO}_3$  al 0,26%, y se les adaptó un sistema de aireación con bombas de oxigenación de acuarios. Este tratamiento se mantuvo durante 48 horas, hasta que las semillas mostraron la plúmula. En ese momento, las semillas se transfirieron a cápsulas Petri para promover la mayor germinación posible (Ortiz *et al.*, 2014).

Una vez que las plántulas emergieron de las semillas, se trasplantaron a potes con suelo previamente humedecido para facilitar la implantación. Se utilizó suelo tomado del campo experimental del Campo del Instituto de Agronomía (serie Maracay, Fluventic Haplustolls, franco grueso isohipertérmico, formación Las Mercedes). Se colocaron tres semillas pregerminadas en la superficie del suelo y dos rizomas (cada uno con dos a tres yemas) por potes (25 cm de diámetro y 20 cm de alto con capacidad de 5 kilogramos de suelo).

Se realizaron cuatro ensayos de control químico bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con 10 repeticiones. Los ensayos utilizaron dos herbicidas preemergentes pendimetalin e isoxaflutole y dos postemergentes glifosato y nicosulfuron. Las dosis de herbicidas empleadas en estos experimentos se detallan en el Cuadro 1. Los herbicidas preemergentes se aplicaron 24 horas después del trasplante, mientras que los herbicidas postemergentes se aplicaron cuando las plántulas y los brotes de rizoma de la paja Johnson tenían de tres a cuatro hojas.

Los pots se colocaron en mesones adaptados para experimentos en invernadero y se regaron cada dos días.

**Cuadro 1.** Nombre técnico, concentración, dosis de los herbicidas y surfactante aplicados para el control de *S. halepense* provenientes de semillas y rizomas

Nombre técnico	Concentración	Dosis comercial	Dosis g i.a. ha <sup>-1</sup>	Surfactante
<b>Herbicida Preemergente<sup>Ω</sup></b>				
Pendimetalin <sup>1</sup>	400 g L <sup>-1</sup>	4 L ha <sup>-1</sup>	1920,00	
Isoxaflutole <sup>2</sup>	75%	70 ml ha <sup>-1</sup>	52.25	
<b>Herbicida Postemergente<sup>π</sup></b>				
Nicosulfuron <sup>3</sup>	750 g Kg <sup>-1</sup>	40 g ha <sup>-1</sup>	30,00	Exit® (2000 )
Glifosato <sup>4</sup>	680 g Kg <sup>-1</sup>	3 L ha <sup>-1</sup>	2040,00	Sistema TRANSORB®

<sup>1</sup>Afecta el ensamblaje de microtúbulos.

<sup>2</sup>Inhibe la enzima 4-hidroxifenil-piruvato-dioxigenasa (4-HPPD).

<sup>3</sup>Inhibe la enzima acetolactato sintasa (ALS) que cataliza la formación de los aminoácidos de cadena ramificada.

<sup>4</sup>EPSPS: Inhibe la enzima 5-enolpiruvil-shinquimato-3-fosfato sintasa (EPSS) que cataliza la formación de los aminoácidos aromáticos.

<sup>Ω</sup>Los herbicidas preemergente se asperjaron 24 horas después del trasplante.

<sup>π</sup>Los herbicidas postemergentes se aplicaron cuando las plántulas y brotes de *S. halepense* tuvieron de 3 a 4 hojas

## VARIABLES EVALUADAS

**1. Porcentaje de control:** Evaluación visual realizada a los 21 días después de la aplicación de los herbicidas, utilizando la escala de clasificación internacional propuesta por Chaila (1986), tal como se detalla en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.** Escala visual de evaluación del porcentaje de control de la maleza

Valor	Control de la maleza (%)	Descripción del efecto sobre la maleza
1	99,00-100,00	Muerte
2	96,50-99,00	Muy buen control
3	93,00-96,50	Buen control
4	87,50-93,00	Control suficiente
5	80,00-87,50	Control suficiente
6	70,00-80,00	Control medio
7	50,00-70,00	Control regular
8	1,00-50,00	Control muy pobre
9	0,00-1,00	Sin efecto

Fuente: Chaila, 1986

2. **Biomasa aérea fresca (g):** A los 21 días después de la aplicación de los tratamientos herbicidas detallados en el Cuadro 1, se cortó la parte aérea de las plantas al ras del suelo. La biomasa se pesó inmediatamente con una balanza digital y se expresó en gramos.

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, que mostró que los datos de los herbicidas pendimetalin e isoxaflutole no seguían una distribución normal. Por lo tanto, se usó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0,05$ ), que reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. En contraste, los datos de nicosulfuron presentaron una distribución normal, lo que permitió realizar un análisis de varianza (ANOVA) sin detectar diferencias significativas. En el caso del glifosato, el control fue del 100%, sin evidencia de crecimiento de la maleza, por lo que no se llevó a cabo un análisis estadístico. Se utilizó el software Statistix 8.0 para los análisis estadísticos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### HERBICIDAS PREEMERGENTES

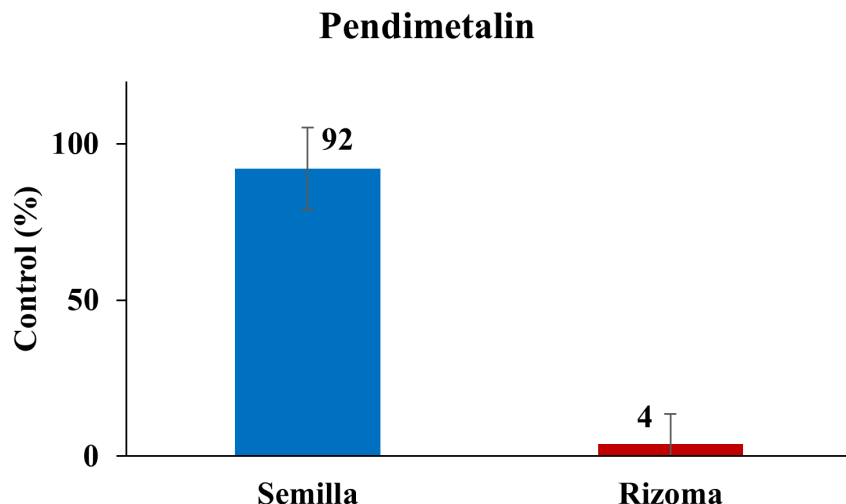
#### PENDIMETALIN

En el Cuadro 3 se observa que de acuerdo a la prueba de Kruskal-Wallis, hubo diferencias altamente significativas en las variables biomasa aérea y porcentaje de control cuando el herbicida fue aplicado en preemergencia de la maleza.

**Cuadro 3.** Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis: Rangos de medias, razón F y probabilidad para la biomasa aérea (g) y el control visual (%) de *S. halepense* tras la aplicación del herbicida pendimetalin en preemergencia de la maleza

	Pendimetalin					
	Rango de media	Control Visual (%)		Biomasa (g)		
		F	P	Rango de media	F	P
Plántulas originadas de semillas	5,5	95,7	0,0001	15,5	65,7	0,0001
Plántulas originadas de rizoma	15,5			5,5		

Según la clasificación internacional de Chaila (1986), la aplicación de 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin controló eficazmente las malezas de *S. halepense* originadas de semillas, pero tuvo un control deficiente sobre las plantas que brotaron de rizomas ( $P < 0,01$ ) (Figura 1).



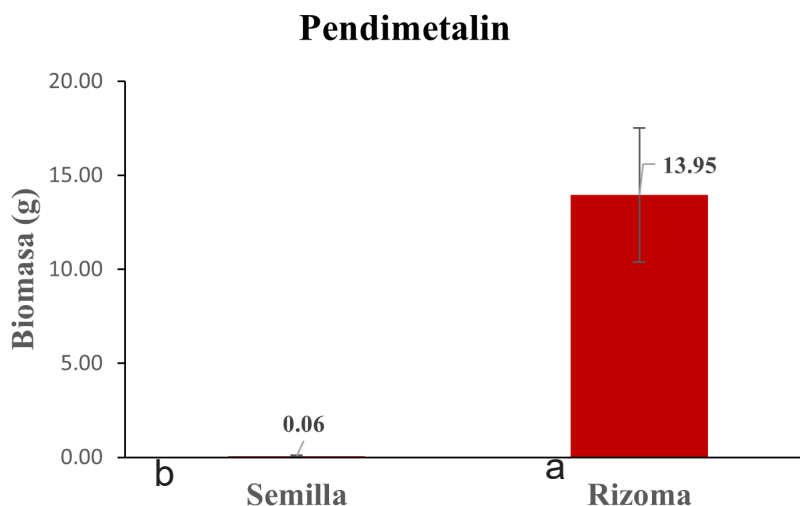
**Figura 1.** Porcentaje de control en la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días tras aplicar 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin, antes de la emergencia de plántulas de semillas y brotes de rizomas. Las barras indican el error estándar (n=10) y las letras diferentes sugieren diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación de pares de Kruskal-Wallis.

La fotografía en la Figura 2 muestra el crecimiento de plantas originadas de rizomas, mientras que en el tratamiento de semillas sexuales no se observó emergencia. Esto sugiere que la dosis de 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin no es efectiva para controlar *S. halepense* proveniente de rizomas.



**Figura 2.** Registro fotográfico de la aplicación de 1920 g i. a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin, antes de la emergencia de plántulas de semillas (izquierda) y brotes de rizoma (derecha) en la accesión SH452P de *S. halepense*, 21 días después de la aplicación.

En la Figura 3 se observa que la aplicación de 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin antes de la emergencia de plántulas originadas de semillas resultó en la ausencia de producción de biomasa. En contraste, los brotes de rizomas generaron un peso fresco aéreo de 13,95 g. Esto indica que la aplicación de este herbicida preemergente solo controla a la paja Johnson que proviene de semillas sexuales.



**Figura 3.** Biomasa aérea fresca (g) de la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación de 1920 g i. a. ha<sup>-1</sup> de pendimetalin antes de la emergencia de plántulas originadas de semillas y en brotes de rizomas. Las barras representan el error estándar (n=10). Las letras diferentes en las barras indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación de pares de Kruskal-Wallis.

En estudios similares se ha reportado que el pendimetalin controla *S. halepense* originado de semillas sexuales, tal como se observó en Venezuela al aplicar 1920 g i.a. ha<sup>-1</sup> a las accesiones SH206PR, SH209PR y SH194AS (Ortiz *et al.*, 2014). El pendimetalin se adhiere fuertemente al suelo, principalmente a los compuestos orgánicos del mismo, y solo permanece en la capa superficial superior del suelo (Makkar *et al.*, 2020). Pendimetalin tiene un pKa no ionizable y un Log KOW de 5,20 (Vighi *et al.*, 2017; Shaner *et al.*, 2014), lo que puede afectar la absorción y el transporte del herbicida en los brotes del rizoma, reduciendo así el control de la paja Johnson originada a partir de rizomas.

## ISOXAFLUTOLE

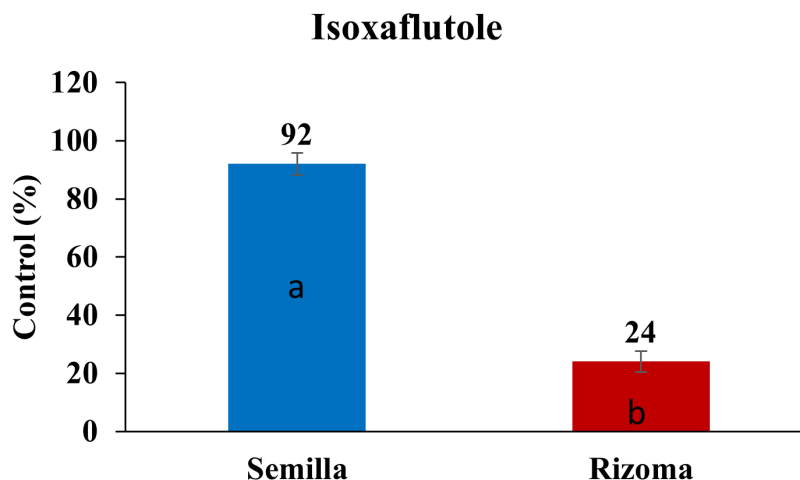
La prueba de Kruskal-Wallis ha mostrado diferencias significativas en las variables de biomasa aérea y control visual de *S. halepense* originadas de semilla y rizoma tras el tratamiento con el herbicida isoxaflutole (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis: Rangos de medias, valores de Chi-cuadrado y probabilidad para la biomasa aérea (g) y el control visual (%) de *S. halepense* tras la aplicación del herbicida isoxaflutole.

	Isoxaflutole					
	Rango de media	Control Visual (%)		Rango de media	Biomasa (g)	
		F	P		F	P
Plántulas originadas de semillas	15,5	71,4	0.0001	5,5	109	0.0001
Plántulas originadas de rizoma	5,5			15,5		



En la Figura 4 se muestra que, de acuerdo con la escala de clasificación internacional propuesta por Chaila (1986), la dosis de 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole logró un control muy bueno de la maleza paja Johnson originada de semillas. Sin embargo, el control de las plantas provenientes de rizomas fue muy pobre.



**Figura 4.** Porcentaje de control visual en la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días de la aplicación de 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole. Las barras representan el error estándar (n=10). Las letras diferentes en las barras indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación de pares de Kruskal-Wallis.

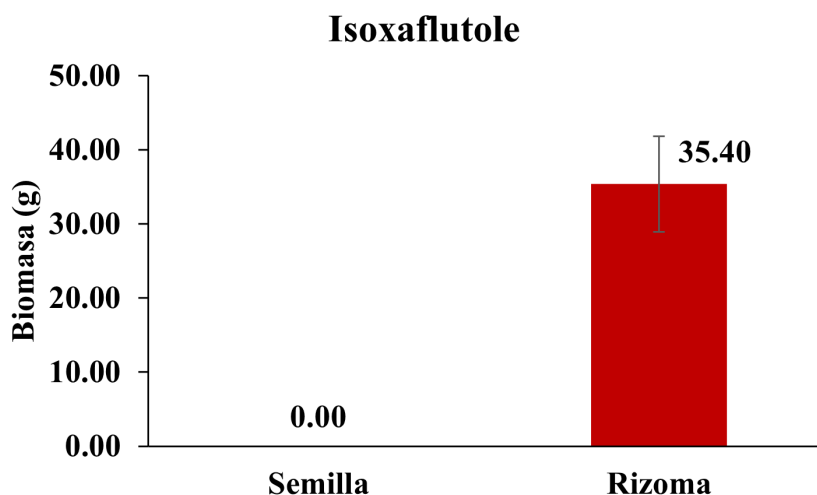
En la Figura 5 se verifica que la dosis de 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole impidió la emergencia de plantas cuando se sembraron semillas. Sin embargo, se observa un crecimiento abundante en el tratamiento de rizomas tratados en preemergencia con este herbicida.



**Figura 5.** Registro fotográfico del control con 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole antes de la emergencia de plántulas originadas de semillas (izquierda) y brotes de rizoma (derecha) en la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación.



Cuando se aplicó 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole en preemergencia, como se muestra en la Figura 6, se produjo una biomasa de 35,40 g en el tratamiento de rizomas, mientras que no se observó crecimiento en el tratamiento de semillas.



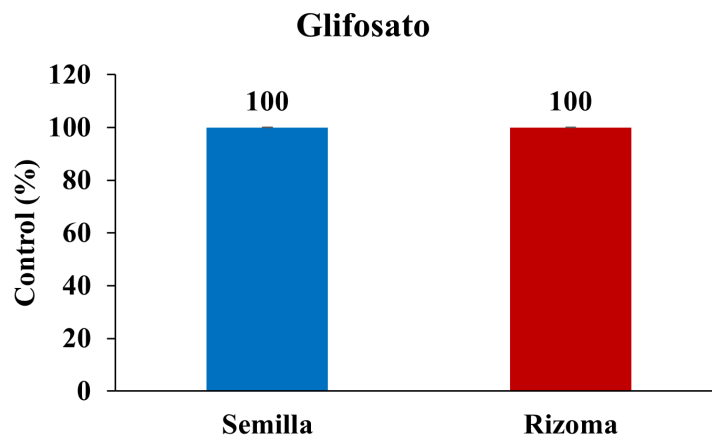
**Figura 6.** Biomasa aérea fresca (g) de la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación de 52,25 g i.a. ha<sup>-1</sup> de isoxaflutole antes de la emergencia de plántulas originadas de semillas y brotes de rizomas. Las barras representan el error estándar (n=10). Las letras diferentes en las barras indican diferencias estadísticas significativas según la prueba de comparación de pares de Kruskal-Wallis.

En experimentos realizados en campos cultivados con maíz, la aplicación de isoxaflutole no logró un control eficaz de la paja Johnson (Karkanis *et al.*, 2022). El *S. halepense* es una planta perenne que se propaga mediante rizomas subterráneos (Hedayetullah y Zaman, 2022). Los herbicidas preemergentes como el isoxaflutole, que afectan principalmente a las semillas recién germinadas, son poco absorbidos por los brotes de los rizomas, lo que permite que la planta rebrote incluso después de que el follaje aéreo haya sido afectado (Johnson *et al.*, 2003). El isoxaflutole es un proherbicida inhibidor de la enzima 4-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (HPPD) (Van-Almsick, 2012) que se aplica generalmente al suelo. Debido a su lipofiliidad ( $\log kow = 2.36$ ), puede ser absorbido por las raíces y plúmulas de las semillas en germinación. Una vez dentro de la planta, el compuesto se hidroliza en su metabolito activo, conocido como diketonitrilo (DKN), que es el principal responsable de la actividad herbicida. El DKN, una vez formado, se transloca a través del xilema y floema, permitiendo que el compuesto llegue a diversas partes de la planta (Pallett *et al.*, 2001). Sin embargo, a pesar de la movilidad del herbicida, no se logra alcanzar una eficacia significativa en el control del *S. halepense* cuando este proviene de brotes del rizoma, como evidencian los resultados obtenidos en esta investigación.

## HERBICIDAS POSTEMERGENTES

### GLIFOSATO

De acuerdo con la escala de clasificación internacional propuesta por Chaila (1986), la Figura 7 revela que la dosis de 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato logró un control muy bueno de la maleza paja Johnson, tanto para las plantas originadas de semillas como para las provenientes de rizomas.



**Figura 7.** Porcentaje de control visual en la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días de la aplicación de 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato cuando las plántulas originadas de semillas y los brotes de rizomas tuvieron de 3 a 4 hojas. Las barras representan el error estándar (n=10).

La fotografía en la Figura 8 muestra la total ausencia de crecimiento de *S. halepense*, tanto de semillas como de rizomas, evidenciando el notable control logrado con 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato, lo que resalta la excepcional eficacia del herbicida contra esta maleza.



**Figura 8.** Registro fotográfico del control con 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato aplicado cuando las plántulas originadas de semillas (izquierda) y brotes de rizoma (derecha) tuvieron de 3 a 4 hojas de la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación.

No se detectó biomasa aérea fresca significativa al aplicar 2040 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato, tanto en plántulas originadas de semillas sexuales como en vegetativas (rizomas) tal como se observa en la Figura 8. Este resultado evidencia la notable eficacia de este herbicida en el control de *S. halepense* en Venezuela.

Se reportó que el control de paja Johnson con glifosato y sus combinaciones en mezcla de tanque logró una efectividad del 97 al 100% (Ortiz *et al.*, 20014). No obstante, tres semanas después de cortar el área de prueba, se observó rebrote en todas las aplicaciones de otros herbicidas (Cletodim, quizalofop, fluazifop, cyhalofop, fenoxaprop, pinoxaden y glufosinato), excepto con glifosato. Estos herbicidas solo lograron controlar la biomasa aérea sin afectar los rizomas subterráneos (Fleming *et al.*, 2024). El glifosato fue el único que controló tanto los brotes como los rizomas de la paja Johnson (Bararpour *et al.*, 2023). En Venezuela, las accesiones de *S. halepense* (SH206P y SH209P) resistentes a nicosulfuron también fueron controladas con glifosato (Ortiz *et al.*, 2014), lo que es consistente con los resultados obtenidos en este estudio.

El glifosato es un herbicida hidrofílico y ácido débil, altamente polar, con un  $\log K_{ow} < 0$ . Posee tres grupos ácidos y un grupo amino básico, lo que lo convierte en un zwitterion a pH neutro. Esta complejidad estructural dificulta la explicación de su comportamiento de transporte basándose únicamente en principios fisicoquímicos. Aunque la absorción foliar de un compuesto tan polar es lenta, una vez dentro de la planta, el glifosato se transporta de manera eficiente a través del floema. Cabe destacar que la absorción del glifosato en las células es inhibida de forma competitiva por el fosfato, lo que sugiere que podría atravesar las membranas utilizando transportadores de fósforo (Bromilow *et al.*, 1990). Los rizomas de 20 cm de longitud en plantas de 50 cm de altura actúan como sumideros más fuertes que los rizomas más cortos en plantas pequeñas (Lolas y Coble, 1980). Se determinó que una dosis de 1027 g i.a ha<sup>-1</sup> fue suficiente para controlar los rizomas de *S. halepense* (Bararpour *et al.*, 2023).

## NICOSULFURON

No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados en la variable biomasa aérea de *S. halepense* originada de semilla y rizoma después de la aplicación de nicosulfuron (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Resultados de la prueba del análisis de varianza: Fuente, grados de libertad (DF), suma de cuadrados (SS), razón F (F) y Prob > F (P) de la biomasa aérea (g) de *S. halepense* tras la aplicación del herbicida nicosulfuron.

Nicosulfuron - Biomasa (g)					
Fuente	DF	SS	MS	F	P
Trat	1	216,4	216,35	0,21	0,6498
Error	18	18265	1014,72		
Total	19	18481,4			

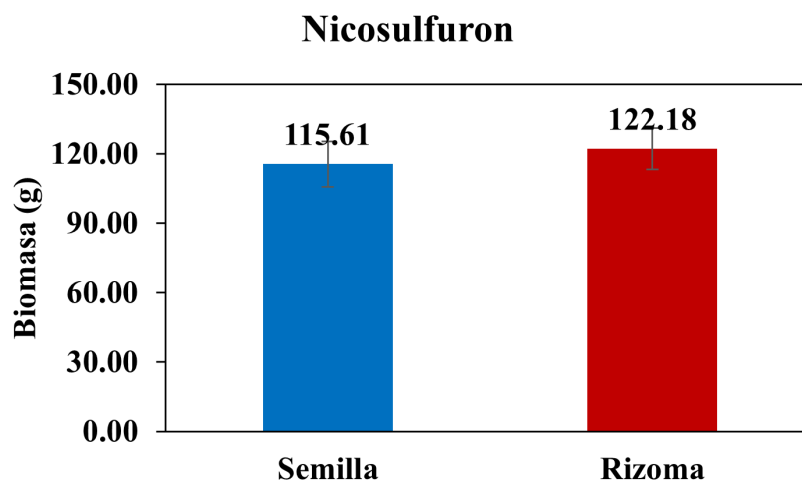
No se observó ningún efecto sobre la accesión SH490P de *S. halepense* con la aplicación de 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> de nicosulfuron, tanto en plántulas derivadas de semillas sexuales como en vegetativas (rizomas), según la escala de clasificación internacional de Chaila (1986).

La Figura 9 muestra la densa biomasa de *Sorghum halepense* 21 días después de aplicar 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> de nicosulfuron en tratamientos con semillas sexuales y rizomas, lo que indica que el herbicida no controló la accesión SH490P.



**Figura 9.** Registro fotográfico del control con 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> de nicosulfuron aplicado cuando las plántulas originadas de semillas (izquierda) y brotes de rizoma (derecha) tuvieron de 2 a 4 hojas de la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación.

Los resultados de la biomasa aérea fresca para *S. halepense* provenientes de semillas sexuales (115,6 g) y rizomas (122,18 g), presentados en la Figura 10, indican que una dosis de 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> de nicosulfuron no fue efectiva en el control de la maleza.



**Figura 10.** Biomasa aérea fresca (g) de la accesión SH452P de *S. halepense* a los 21 días después de la aplicación de 30 g i.a. ha<sup>-1</sup> de nicosulfuron cuando las plántulas originadas de semillas y brotes de rizomas tuvieron de 3 a 4 hojas. Las barras representan el error estándar (n=10).

En Venezuela se han observado accesiones de *S. halepense* resistentes a nicosulfuron (Ortiz et al., 2014), hallazgo que coincide con los resultados de este estudio.

Los herbicidas de la familia sulfonilureas, descubiertos en la década de 1970 del grupo 2 cuyo mecanismo de acción es la inhibición de la enzima acetolactato sintasa (ALS), han sido fundamentales en el control de malezas durante décadas. Sin embargo, con el paso del tiempo, su eficacia ha disminuido debido al creciente problema de resistencia en diversas especies, lo que plantea un desafío para su uso continuado en la agricultura moderna.

El nicosulfuron, con un pKa de 4,3, disminuye su solubilidad cuando el pH de la mezcla de pulverización está por debajo de este valor, formando gránulos secos, mientras que por encima aumenta su solubilidad. Aunque su formulación sólida facilita el manejo y reduce la inflamabilidad, es necesario solubilizar las partículas en la mezcla para maximizar su eficacia herbicida. Estudios han demostrado que reguladores de pH, como fosfato de potasio tribásico, carbonato de sodio y trietanolamina, alcalinizan la mezcla en volúmenes bajos, mejorando su actividad (Green y Cahill, 2003). El nicosulfuron es estable en medios neutros y alcalinos, pero se descompone rápidamente en condiciones ácidas (Bunting et al., 2004). El uso de surfactantes no iónicos potencia su eficacia en el control de malezas (Brankov et al., 2023).

Es fundamental implementar un plan de manejo integrado en fincas productoras de maíz que presenten fallas de control *S. halepense* a nicosulfuron, como la que se evidenció en esta investigación. Este plan debe incluir la rotación de cultivos y prácticas culturales como la falsa siembra para reducir la población de malezas. El uso de herbicidas es clave, alternando productos con diferentes mecanismos de acción. Herbicidas preemergentes como isoxaflutole y pendimetalin son efectivos para controlar las semillas de *S. halepense*, pero no los rizomas subterráneos, por lo que deben combinarse con aplicaciones de glifosato en presembrado, especialmente en sistemas de siembra directa o mínima labranza. Un monitoreo constante permitirá ajustar las estrategias de control y prevenir la aparición de nuevos focos de resistencia.

## CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación concluyen que los herbicidas preemergentes, como pendimetalin e isoxaflutole, son efectivos solo en el control de plántulas de *S. halepense* a partir de semillas, sin afectar los brotes de rizomas. En cambio, el glifosato, un herbicida no selectivo y sistémico, controla tanto las plántulas como los rizomas, siendo una opción clave para el manejo de esta maleza antes de la siembra del maíz. Por otro lado, el nicosulfuron, aunque selectivo y sistémico, no controla ni las plántulas ni los brotes de rizomas, lo que refleja una pérdida significativa de efectividad en esta estrategia de manejo en las zonas productoras de maíz del país.

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Asociación Nacional de Cultivadores Agrícolas (ANCA) por su valioso financiamiento y al equipo técnico por su invaluable apoyo en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bararpour, T.; N. Korres; J. Argenta; T. Tseng. 2023. Evaluation of Herbicides for the Control of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) and Johnsongrass (*Sorghum halepense* L.) Under Non-Crop Conditions. *Journal of Agricultural Science* 15(3): 1-9.
- Benech-Arnold R.; M. Fenner; P. Edwards. 1992. Mineral allocation to reproduction in *Sorghum bicolor* and *Sorghum halepense* in relation to parental nutrient supply. *Oecologia* 92: 138–144.
- Bennett, H. 1973. Johnsongrass, carpet grass and other grasses for the humid south. In: Heath ME, Metcalfe DS, Barnes RF (eds) Forages. Iowa State University Press, Ames. pp 286–293.
- Brankov, M., M. Simić; L. Ulber; M. Tolimir; D. Chachalis; V. Dragičević. 2023. Effects of nozzle type and adjuvant selection on common lambsquarters (*Chenopodium album*) and johnsongrass (*Sorghum halepense*) control using nicosulfuron in corn. *Weed Technology* 37(2): 156-164.
- Bromilow, R.; K. Chamberlain; A. Evans. 1990. Physicochemical aspects of phloem translocation of herbicides. *Weed Science* 38(3): 305-314.
- Bunting J.; C. Sprague; D. Riechers. 2004. Proper adjuvant selection for foramsulfuron activity. *Crop Protect* 23: 361–366.
- Chaila, S. 1986. Métodos de evaluación de malezas para estudios de población y control. *Revista de la Asociación Argentina para el control de Malezas. ASAM* 14(2): 79-83.
- Dweikat, I. 2005. A diploid, interspecific, fertile hybrid from cultivated sorghum. *Sorghum bicolor*, and the common Johnsongrass weed *Sorghum halepense*. *Mol. Breed.* 16: 93–10.
- Egley, G.; J. Chandler. 1978. Germination and viability of weed seeds after 25 years in a 50-year buried seed study. *Weed Sci* 26: 230–239.
- Fleming, J.; J. Norsworthy; M. Bagavathiannan; T. Barber. 2024. Influence of fluazifop timing and rate on johnsongrass (*Sorghum halepense*) control in ACCase-resistant grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Weed Technology* 38(e2): 1–7.

- Green, J.; W. Cahill. 2003. Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. *Weed Technology* 17(2): 338-345.
- Henderson, L. 2001. Alien weeds and invasive plants. Plant Protection Research Institute Handbook No. 12. Paarl Printers, Cape Town, South Africa. 304 p.
- Johnson, W.; J. Li; J. Wait. 2003. Johnsongrass control, total nonstructural carbohydrates in rhizomes, and regrowth after application of herbicides used in herbicide-resistant corn (*Zea mays*). *Weed Technology*, 17(1): 36-41.
- Hedayetullah, M; P. Zaman. 2022. Johnson grass (Aleppo grass). *Forage Crops of the World*, 2-volume set: Volume I: Major Forage Crops; Volume II: Minor Forage Crops, 81. 383 p.
- Kaloumenos, N.; I. Eleftherohorinos. 2009. Identification of a johnsongrass (*Sorghum halepense*) biotype resistant to ACCase inhibiting herbicides in northern Greece. *Weed Technol.* 23: 470–476.
- Karkanis, A.; D. Nakopoulos; C. Palamioti; K. Giannoulis; T. Palamiotis; G. Igoumenos; S. Souipas; V. Liava; N. Danalatos. 2022. Effects of post-emergence herbicides and period of Johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.] control on growth and yield of sunflower crops. *Agronomy* 12(3): 581.
- Klein, P.; C. Smith. 2021. Invasive Johnsongrass, a threat to native grasslands and agriculture. *Biologia* 76: 413-420.
- Lolas, C.; H. Coble. 1980. Translocation of <sup>14</sup>C–glyphosate in johnsongrass (*Sorghum halepense* L. Pers.) as affected by growth stage and rhizome length. *Weed Research* 20(5): 267-270.
- Makkar A; P. Kaur; P. Kaur; M. Bhullar. 2020. Dissipation of pendimethalin in soil under direct seeded and transplanted rice field. *Bull Environmental Contam. Toxicol.* 104: 293-300.
- Mitskas, M.; C. Tsohis; I. Eleftherohorinos; C. Damalas. 2003. Interference between corn and Johnsongrass (*Sorghum halepense*) from seed or rhizomes. *Weed Science* 51: 540-545.
- Ortiz, A.; L. Martínez; Y. Quintana; P. Pérez; A. Fischer. 2014. Resistencia de la paja Johnson *Sorghum halepense* (L.) Pers. A los herbicidas nicosulfuron y foramsulfuron+ iodosulfuron en Venezuela. *Bioagro* 26(2): 71-78.
- Pallett, K., S. Cramp; J. Little; P. Veerasekaran; A. Crudace; A. Slater. 2001. Isoxaflutole: the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science* 57(2): 133-142.
- Paterson, A.; W. Kong; R. Johnston; P. Nabukalu; G. Wu; W. Poehlman; V. Goff; K. Isaacs; T. Lee; H. Guo H.; D., Zhang; U. Sezen; M. Kennedy; D. Bauer; F. Feltus; E. Weltzien; H. Rattunde; J. Barney; K. Barry; T. Cox; M. Scanlon. 2020. The evolution of an invasive plant, *Sorghum halepense* L. (Johnsongrass). *Frontiers in Genetics* 11: 317.
- Ryder, N.; K. Dorn; M. Huitsing; M. Adams, J. Ploegstra; L. DeHaan; S. Larson; N. Tintle. 2018. Transcriptome assembly and annotation of johnsongrass (*Sorghum halepense*) rhizomes identify candidate rhizome-specific genes. *Plant Direct* 2(6); e00065.
- Scarabel, L.; S. Panozzo; W. Savoia; M. Sattin. 2014. Target-site ACCase-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) selected in summer dicot crops. *Weed Technology* 28(2): 307-315.

- Shaner, D. 2014. *Herbicide Handbook*. 10th edn, Lawrence, KS: Weed Science Society of America. 335 p.
- Steinbach, H.; R. Benech-Arnold; R. Sánchez. 1997. Hormonal Regulation of Dormancy in Developing Sorghum Seeds. *Plant Physiol* 11(3): 149-154.
- Toth V; E. Lehoczky. 2006. Investigations on the germination depth of Johnson grass (*Sorghum halepense* [L.] Pers). *Commun Agric Appl Biol Sci* 71: 803–808.
- Uremis, I.; M. Arslan; A. Uludag; M. Sangun. 2009. Allelopathic potentials of residues of 6 brassica species on johnsongrass [*Sorghum halepense* (L.) Pers.]. *Afr J Biotechnol*. 8: 3497–3501
- Uva, R.; J. Neal; J. DiTomaso. 1997. *Weeds of the Northeast*. Comstock Publishing Associates, Cornell University Press, Ithaca. 397 p.
- Van-Almsick, A. 2012. Hydroxyphenylpyruvate dioxygenase (HPPD) inhibitors: heterocycles. *Modern crop protection compounds* 3: 286-302.
- Vighi M; M. Matthies; K. Solomon. 2017. Critical assessment of pendimethalin in terms of persistence, bioaccumulation, toxicity, and potential for long-range transport. *J Toxicol Environm Health (Part B)* 20(1): 1-21.