

Eficacia biológica del glifosato en la desecación de *Brachiaria ruziziensis* con coadyuvantes basados en compuestos naturales

Biological efficacy of glyphosate in controlling *Brachiaria ruziziensis* with adjuvants based on natural compounds

Robert Neufeld^{1*} 

¹ Cooperativa Chortitzer Ltda, Servicio Agropecuario. Loma Plata, Paraguay.

*Autor para correspondencia:

robneu93@gmail.com

Conflictos de interés:

El autor declara no tener conflicto de interés.

Financiamiento:

Fundación IDEAGRO y a la Cooperativa Chortitzer Ltda.

Periodo de publicación:

Julio-Diciembre de 2023

Historial:

Recibido: 01/08/2023;

Aceptado: 25/10/2023

Editor responsable:

Arnaldo Esquivel Fariña

Licencia:

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

RESUMEN

El uso del glifosato en la agricultura es de fundamental importancia para la conservación del suelo al evitar la utilización del arado para el control de malezas. Los coadyuvantes como surfactantes y reductores de pH pueden aumentar la eficacia del herbicida. Últimamente, entre los productores locales, se observa el uso de coadyuvantes de origen natural, resultantes de procesos de fermentación y/o condensación, en combinación con el glifosato, presuntamente posibilitando el control de malezas con dosis de glifosato reducidas. En este estudio se comparó la eficacia de dos coadyuvantes basados en compuestos naturales, el Ácido Piroleñoso (AP) y una solución producto de fermentación de hierbas, con diferentes dosis de glifosato, con un surfactante y reductor de pH comercial. Los resultados muestran la capacidad de reducción de pH de ambos coadyuvantes de origen natural, pero una tendencia de reducción de eficacia del glifosato para el AP y antagonismo con el glifosato para la solución producto de fermentación de hierbas, en comparación con el producto comercial. Según el conocimiento del autor, este es el primer reporte en la literatura científica del uso del AP como coadyuvante del glifosato.

Palabras clave: *Brachiaria ruziziensis*, Ácido Piroleñoso, coadyuvante natural

ABSTRACT

The use of glyphosate in sustainable agriculture is of fundamental importance for soil conservation by avoiding the plow. Adjuvants such as surfactants and pH reducers can increase the effectiveness of the herbicide. Lately, the use of adjuvants of natural origin, resulting from fermentation and/or condensation processes, as adjuvants for glyphosate, has been observed among local farmers, presumably making it possible to control weeds with glyphosate rates reduced by as much as 50%. In this study, the efficacy of two adjuvants based on natural compounds, Pyroligneous Acid and a herbs fermentation product solution, and their effect at different doses of glyphosate, are compared with a commercial surfactant and pH reducer. To the author's best knowledge, this is the first report in scientific literature of the use of Pyroligneous Acid as an adjuvant for glyphosate. The results show the pH reduction capacity of both adjuvants of natural origin, however a trend of reduced efficacy of glyphosate for Pyroligneous Acid and antagonism with glyphosate for the herbs fermentation product solution, compared to the commercial adjuvant, was observed.

Keywords: *Brachiaria ruziziensis*, Pyroligneous Acid, natural adjuvant

INTRODUCCIÓN

En el sistema de siembra directa el agricultor depende en gran medida del herbicida glifosato para el control de las malas hierbas y la desecación de cultivos de cobertura (Salas y Sarubbi, 2013). Esto se confirma en los datos oficiales de la Dirección Nacional de Aduanas, según los cuales Paraguay importó $16,8 \times 10^6$ Kg de glifosato en el año 2021 y $14,3 \times 10^6$ Kg en 2022, en relación al total de herbicidas 51,7 y 45,9%, respectivamente (Dirección Nacional de Aduanas, 2022).

El glifosato es un herbicida de postemergencia de amplio espectro y de acción sistémica (Chikoye, Lum y Udensi, 2010; Schönbrunn et al., 2001). La forma de aplicación de

este herbicida es foliar, a través de picos de pulverización hidráulica, un método inherentemente ineficiente, con pérdidas que ocurren desde reflejo de gotas, perdidas por escurrimiento, deriva y evaporación en vuelo (Leaper y Holloway, 2000). Sin embargo, el efecto de herbicidas, en especial el glifosato, puede ser mejorado mediante el uso de coadyuvantes (Sharma y Singh, 2000; Wang y Liu, 2007). Según el modelo de Bromilow, Chamberlain y Evans (1990) la molécula de glifosato posee excelentes características para la movilidad en floema, con consecuente comportamiento sistémico en la planta, luego de la absorción. Sin embargo, el paso por la cutícula puede ser complicado por la naturaleza lipídica de la misma, y las características hidrofílicas de la molécula del glifosato (Santier y Chamel, 1992). Según Hao et al. (2019) la

medida de la penetración del glifosato en la cutícula es una buena medida de la eficacia de un coadyuvante. Los mismos autores encontraron aumentos de penetración al reducir la tensión superficial y consecuentemente el ángulo de contacto entre gota y superficie foliar con la adición de un coadyuvante.

Los coadyuvantes más utilizados en aplicaciones agroquímicas (Travlos, Cheimona y Bilalis, 2017) y también los más eficientes en aumentar el efecto de los agroquímicos son los surfactantes, materiales que reducen la tensión superficial del caldo de aplicación y con ello el ángulo de contacto de la gota sobre la superficie de la hoja, lo cual aumenta el efecto humectante y el contacto entre gota y superficie foliar (Wang y Liu, 2007).

El tipo de surfactante que resulta en la mayor absorción foliar de herbicidas varía en función a la especie de planta y al tipo de herbicida (Travlos et al., 2017, Wang y Liu, 2007). Por lo tanto, la actividad foliar del glifosato puede optimizarse utilizando distintos tipos de adyuvantes. Según Sharma y Singh (2000) el uso del coadyuvante organosiliconado L-77 en *Bidens frondosa*, aumenta significativamente la absorción y translocación de glifosato y logra un mayor control de la planta en comparación con otros coadyuvantes. Sin embargo, en el caso de *Panicum maximum*, el uso de L-77 no revela ninguna mejora en la absorción de glifosato e incluso ejerce un efecto antagonista, mientras el aceite de semillas metilado muestra una mayor absorción y eficacia del glifosato. También Durigan (1992) reportó importante aumento en el control de *P. máximum* con glifosato al usar aceite vegetal como coadyuvante. Por lo tanto, la elección del adyuvante debe ser específica para cada especie a fin de optimizar la actividad foliar del glifosato en estas dos especies de plantas.

Por otro lado, el efecto del pH del medio portador del glifosato ha sido enfatizado por técnicos en aplicación, empresas formuladoras y vendedoras de coadyuvantes y herbicidas, y solicitudes de patentes (Green y Beestman, 2007). Pocos son los estudios que experimentaron en condiciones de campo su efecto sobre la eficacia del glifosato, el cual no está completamente elucidado y los resultados reportados en la literatura son inconsistentes. Por un lado, los resultados de Gómez Vargas, Pitty y Miselem (2006) no muestran variación en la eficacia de glifosato al variar el pH inicial del agua portador (tratamientos de pH 4,5, 6,5 y 8,5), aparentemente por el poder acidificante de la formulación de glifosato que redujo el pH del caldo resultante a valores cercanos a 4. Sin embargo, Shilling y Haller (1989) usando valores de pH del agua portador similares, pero tamponados, obtuvieron mayor control de *Panicum repens* con pH cercano a 4.

El estado de ionización de la molécula del glifosato en solución está en función del pH del medio portador (Bromilow y Chamberlain, 2000; Fliss, Essalah, & Ben Fredj, 2021), con cuatro grupos ionizables y valores de pKa de 0,8, 2,2, 5,5 y 10,2 (Fiorilli et al., 2017; Pereira et al., 2021). A mitad de camino entre los puntos de pKa adyacentes la carga neta de la molécula es 0, -1 y -2, respectivamente (Gougler & Geiger, 1981). Según la teoría

de los ácidos débiles, este estado de ionización tiene efecto sobre la absorción foliar con un aumento de absorción con valores de pH menores, estados menos ionizados (Green & Beestman, 2007; Wang y Liu, 2007). Resultados recientes de Devkota y Johnson (2019,2020) demostraron el efecto del pH sobre la eficacia del glifosato experimentalmente, obteniendo mejor control con pH 4 comparado con pH 6.5 y 9 para varias especies de malezas dicotiledóneas. Estos autores resaltan que la especie de la maleza podría jugar un rol importante en el efecto del pH sobre la eficacia del glifosato.

Recientemente, pesticidas botánicos, ecológicamente amigables han sido promovidos ampliamente, aunque hasta el día cuestiones como su estabilidad y eficacia mantienen baja su aceptación y uso sostenido (Iqbal, Hazra, Purkait, Agrawal, y Kumar, 2022). Estos autores exitosamente formularon nanoemulsiones de aceite de neem, considerado un insecticida botánico, con bioadyuvantes incluyendo *Cymbopogon citratus* y *Prosopis juliflora*. Los resultados indicaron la estabilidad de la Azadirachtina en la formulación y una reducida tensión superficial y ángulo de contacto resultando en mejor adhesión y efecto humectante de la formulación.

Coadyuvantes de origen biológico también han recibido atención últimamente (Iqbal et al., 2022; Marcinkowska et al., 2018). Localmente, el Ácido Piroleñoso (AP) obtenido a partir de la condensación de los productos volátiles de la producción de carbón vegetal, ha recibido especial atención y hay reportes anecdóticos de reducciones hasta 50% en la dosis de glifosato necesaria para un control eficaz en combinación con este producto (Pankratz, 2022).

Actualmente existe una falta de información acerca de la coadyuvancia de productos basados en compuestos naturales utilizados por agricultores en Paraguay, en la desecación de malezas con glifosato. Por ello, se investigó el efecto de dos coadyuvantes basados en compuestos naturales sobre la eficacia biológica del glifosato en la desecación de *Brachiaria ruziziensis*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en dos etapas, primero un experimento de desecación de *B. ruziziensis* a campo y, segundo, un experimento en laboratorio para determinar el efecto acidificante de los productos utilizados en el experimento a campo.

Experimento de desecación de *B. ruziziensis* a campo

El experimento fue realizado el 14 de noviembre del 2022 en una parcela de pastura *B. ruziziensis* perteneciente a la Estación Experimental Isla Po'í, ubicada en el distrito Loma Plata del departamento Boquerón, Paraguay. El cultivo antecesor durante la campaña 2021/22 fue Maíz (*Zea mays*) en asociación con la pastura *B. ruziziensis*, la cual permaneció en la parcela luego de la cosecha del maíz. El suelo de la parcela fue de textura arenosa y de baja fertilidad. Los principales parámetros meteorológicos fueron medidos durante la aplicación con un Higro Termo-Anemómetro portátil AKSO modelo AK821. La dirección

del viento fue del norte, con temperatura de $31,5^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, velocidad del viento entre 10 y 15 km h^{-1} y una humedad relativa de $35\% \pm 3\%$.

El glifosato utilizado tenía una concentración de 66,2 % sal potásica (54% p/v de equivalente ácido de glifosato). Las dosis de glifosato se expresaron como la cantidad de i.a. ha^{-1} (sal potásica del glifosato). Se comparó dos coadyuvantes de origen natural y un coadyuvante sintético.

El primer coadyuvante de origen natural fue el Ácido piroleñoso (AP) obtenido de un vendedor local. El AP es un líquido con alta concentración de ácido acético, además de ácido fórmico y otros de bajo peso molecular obtenido a través de la pirolisis lenta de biomasa vegetal y la condensación de los productos volátiles (Manals Cutiño, Penedo Medina, Giralt Ortega, Beltrán Guilarte, y Sánchez del Campo, 2009).

El segundo coadyuvante de origen natural fue una solución producto de fermentación de hierbas (FB) obtenido de la empresa Microvita S.A. La FB es descrito como un probiótico con alta concentración de bacterias ácido-lácticas e hierbas fermentadas promovido localmente como apto de acompañar a todo tipo de aplicaciones de fitosanitarios vía pulverización.

El coadyuvante sintético (AT) fue incluido como producto de referencia en la comparación por su amplia aceptación entre los productores locales, siendo uno de los coadyuvantes más vendidos en la región según los datos de comercialización de la Cooperativa Chortitzer Ltda. (G. Coppens, comunicación personal, seis de octubre, 2023). Las funciones de este producto mencionadas en la etiqueta son dispersante, anti-espumante, secuestrante, reductor de pH, emulsionante, antivolatilizante, anti deriva y estimulante.

Además, el caldo de pulverización para cada tratamiento contenía un por ciento de aceite vegetal desgomado, y 200 ml ha^{-1} de un humectante siliconado (EMP) con el objetivo de generar condiciones similares de tensión superficial y adherencia para todos los tratamientos considerando que la hipótesis fue que el efecto acidificante de los coadyuvantes influye la eficacia del glifosato. Para todos los coadyuvantes las dosis recomendadas por los fabricantes fueron respetadas.

Se diseñó un experimento con seis tratamientos (Tabla 1). Estos fueron diseñados para representar la dosis de

glifosato recomendada en la etiqueta del producto, además una subdosis (50% de la recomendada) para determinar mejor la coadyuvancia del AP (Leaper y Holloway, 2000). Para facilitar la aplicación de los productos con una pulverizadora montada al enganche de tres puntos de un tractor, se utilizó un diseño experimental en franjas de manera que cada franja representaba un tratamiento. Cada franja medía 18 m de ancho y mínimamente 250 m de largo. Dentro de cada franja se tomó seis muestras, las cuales consistían en la parte aérea de la pastura que caía dentro de un m^2 y las mismas fueron tomadas como repeticiones. Los puntos de muestreo fueron distribuidos sobre la franja y tomadas con cierto control local a criterio del investigador con el objetivo de representar el estado de la pastura observado a campo.

La cantidad de caldo aplicado fue de 80 L ha^{-1} . Para la preparación de este, se utilizó agua de lluvia almacenada en un tamar luego de ser tratada con Sulfato de Aluminio para lograr la floculación y sedimentación del material en suspensión que produce turbidez (Zand y Hoveidi, 2015), un procedimiento adoptado comúnmente por productores locales. Esta agua acondicionada tenía una conductividad eléctrica de $1,44 \mu\text{S cm}^{-1}$ y un pH de 7,8 antes de la preparación del caldo.

El contenido de agua (CA, la masa seca en relación con la masa fresca) de la *B. ruzizensis* fue utilizada como parámetro indicador de mortandad de la misma (Hunsche, Scherhag, Schmitz-Eiberger, y Noga, 2007). La evaluación del efecto de los tratamientos sobre la mortandad de la *B. ruzizensis* fue realizada 21 días posterior a la aplicación mediante seis muestras por tratamiento. Luego de determinar su peso las muestras fueron secadas en estufa a 65°C hasta masa constante (Shuaibu, Fasae, Adeleye, Wheto, y Oluwatosin, 2018). El CA de cada muestra fue determinado por la pérdida de peso durante el secado en relación con el peso inicial (Tabla 1A y Tabla 2A).

El segundo experimento fue realizado entre noviembre y diciembre del 2022 en el laboratorio Lab-DEPROVE, en la ciudad de Loma Plata, para determinar el efecto acidificante de los coadyuvantes y productos utilizados en el experimento de desecación a campo.

El experimento fue diseñado para determinar el efecto acidificante de los coadyuvantes y productos utilizados en el experimento de desecación a campo. Para ello, seis tratamientos (Tabla 2) fueron analizados en tres

Tabla 1. Tratamientos del experimento a campo con sus respectivas dosis y el pH del caldo de aplicación resultante. AT (coadyuvante sintético), AP (Ácido Piroleñoso), FB (solución producto de fermentación de hierbas).

Tratamiento	Glifosato (i.a. kg ha^{-1})	Descripción		pH del caldo resultante
			Coadyuvante (dosis)	
1	0,83		AT ($0,056 \text{ L ha}^{-1}$)	4,2
2	0,83		AP (4 L ha^{-1})	4,5
3	1,66		AP (4 L ha^{-1})	4,3
4	1,66		AT ($0,056 \text{ L ha}^{-1}$)	4,3
5	1,66		AP (4 L ha^{-1}) + FB (4 L ha^{-1})	4,2
6	1,66		FB (4 L ha^{-1})	4,3

Tabla 2. Tratamientos del experimento de determinación del efecto acidificante de los productos utilizados. AP (Ácido Piroleñoso), FB (solución producto de fermentación de hierbas), AT (coadyuvante sintético), EMP (humectante siliconado).

Tratamiento	Producto	Dosis (ml L ⁻¹)	Función indicada
1	AP	50	No indicada
2	FB	50	Probiótico
3	AT	0,7	Reductor de pH / antiespumante
4	EMP	2,5	Humectante siliconado
5	Glifosato	31,3	Herbicida
6	Glifosato	15,6	Herbicida

Tabla 1A. Datos crudos de las muestras (repeticiones) tomadas en las franjas de aplicación de los tratamientos.

1. Tratamiento	2. Repetición	3. Tara (g)	4. Peso humedo + tara (g)	5. Peso humedo (g)	6. Peso seco + tara (g)	7. Peso seco (g)	8. Agua (g)	9. (g g ⁻¹)	CA
1	1	78,0	190,2	112,2	174,3	96,3	15,9	0,14	
1	2	75,2	335,9	260,7	251,3	176,1	84,6	0,32	
1	3	75,6	386,5	310,9	233,5	157,9	153,0	0,49	
1	4	75,3	263,7	188,4	237,5	162,2	26,2	0,14	
1	5	69,3	216,1	146,8	183,9	114,6	32,2	0,22	
1	6	79,0	282,0	203,0	208,7	129,7	73,3	0,36	
2	1	78,6	246,4	167,8	211,3	132,7	35,1	0,21	
2	2	76,8	308,5	231,7	263,0	186,2	45,5	0,20	
2	3	71,7	306,1	234,4	246,3	174,6	59,8	0,26	
2	4	81,0	220,0	139,0	187,8	106,8	32,2	0,23	
2	5	69,9	345,2	275,3	292,3	222,4	52,9	0,19	
2	6	75,2	322,3	247,1	230,5	155,3	91,8	0,37	
3	1	81,4	419,0	337,6	349,5	268,1	69,5	0,21	
3	2	81,8	454,6	372,8	389,4	307,6	65,2	0,17	
3	3	75,9	247,1	171,2	232,5	156,6	14,6	0,09	
3	4	78,1	366,9	288,8	311,3	233,2	55,6	0,19	
3	5	71,9	241,5	169,6	223,2	151,3	18,3	0,11	
3	6	72,8	234,7	161,9	214,8	142,0	19,9	0,12	
4	1	74,1	412,2	338,1	347,7	273,6	64,5	0,19	
4	2	90,1	415,0	324,9	382,5	292,4	32,5	0,10	
4	3	77,5	315,3	237,8	300,3	222,8	15,0	0,06	
4	4	67,8	177,9	110,1	168,6	100,8	9,3	0,08	
4	5	75,2	487,1	411,9	446,0	370,8	41,1	0,10	
4	6	76,8	392,5	315,7	375,3	298,5	17,2	0,05	
5	1	68,3	505,0	436,7	387,3	319,0	117,7	0,27	
5	2	72,8	327,5	254,7	294,5	221,7	33,0	0,13	
5	3	74,3	297,6	223,3	241,6	167,3	56,0	0,25	
5	4	71,5	247,3	175,8	228,0	156,5	19,3	0,11	
5	5	72,4	273,4	201,0	234,1	161,7	39,3	0,20	
5	6	75,2	303,9	228,7	270,9	195,7	33,0	0,14	
6	1	73,0	492,9	419,9	264,4	191,4	228,5	0,54	
6	2	74,7	425,7	351,0	264,0	189,3	161,7	0,46	
6	3	83,9	421,3	337,4	270,2	186,3	151,1	0,45	
6	4	78,8	301,4	222,6	227,3	148,5	74,1	0,33	
6	5	74,0	568,6	494,6	357,6	283,6	211,0	0,43	
6	6	69,0	390,5	321,5	224,0	155,0	166,5	0,52	

Para obtener el CA de la muestra se realizó los siguientes cálculos para cada repetición (los números representan las columnas de la Tabla 1A):

$$5 = 4 - 3$$

$$7 = 6 - 3$$

$$8 = 5 - 7$$

$$9 = 8 / 5$$

repeticiones. Las concentraciones de cada producto fueron las mismas utilizadas en el experimento a campo y también se utilizó agua de la misma calidad. Los coadyuvantes fueron añadidos al agua en agitación midiendo el pH de la

solución resultante.

Para ambos experimentos se realizó el análisis de la varianza con el software InfoStat. Para determinar los

tratamientos diferentes estadísticamente se utilizó la comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia del cinco por ciento.

Tabla 2A. Datos crudos y medias de pH, con la desviación estándar (DE) y coeficiente de variación (CV) para cada tratamiento. Además, se indica la concentración y el producto utilizado para cada tratamiento.

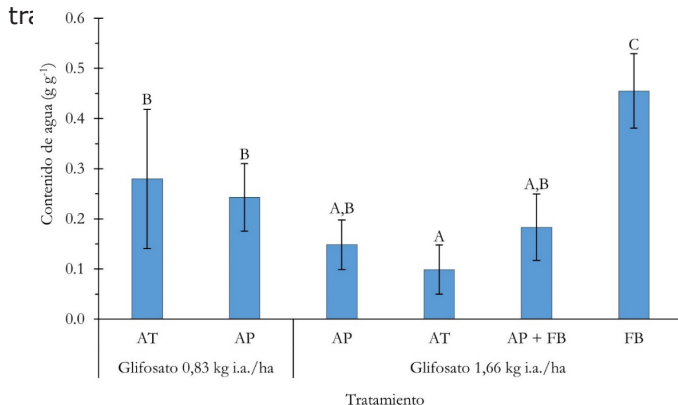
Tratamiento	Producto	Dosis	Repetición			Media	DE	CV
			1	2	3			
1	AP	50 ml l ⁻¹	4,22	4,22	4,22	4,22	0,00	0,00
2	FB	50 ml l ⁻¹	4,20	4,11	4,11	4,14	0,05	1,26
3	AT	0,7 ml l ⁻¹	5,96	5,91	5,85	5,91	0,06	0,93
4	EMP	2,5 ml l ⁻¹	5,91	6,03	6,06	6,00	0,08	1,32
5	Glifosato	15,6 ml l ⁻¹	4,76	4,77	4,80	4,78	0,02	0,44
6	Glifosato	31,3 ml l ⁻¹	4,65	4,64	4,64	4,64	0,01	0,12

En la Tabla 2A se presentan los datos crudos del experimento de determinación del efecto acidificante de los productos utilizados en el experimento de desecación a campo.

RESULTADOS

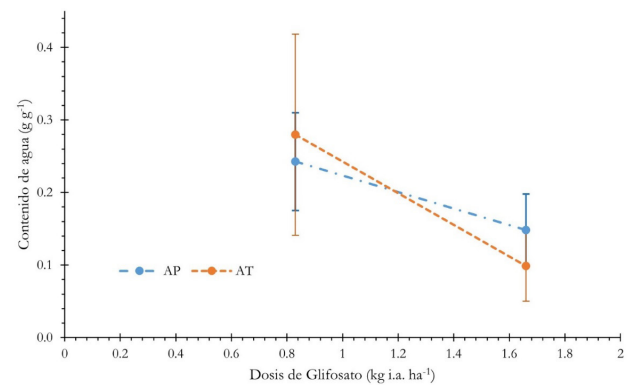
Experimento de desecación de *B. ruzizensis* a campo

Los resultados de desecación de la *B. ruzizensis* fueron medidos a través del CA de la parte aérea de la pastura y mostraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1). Los datos crudos se presentan en Tabla 1A. La mejor desecación de la pastura se obtuvo con la dosis mayor de glifosato en combinación con el coadyuvante AT alcanzando un CA de 0.1. La combinación de la misma dosis de glifosato con AP y AP más FB no difirió significativamente con el tratamiento AT, pero se observó una tendencia de menor eficacia (mayor CA). Sin embargo, utilizando únicamente FB como coadyuvante con la misma dosis de glifosato, la eficacia en la desecación fue significativamente menor a todos los demás tratamientos, incluso a los dos



Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$). Barras de error ± 1 DE.

Figura 1. Contenido de agua de la parte aérea de la pastura *B. ruzizensis* luego de tres semanas de la aplicación de los tratamientos, AT (coadyuvante sintético), AP (Ácido Piroleñoso), FB (solución producto de fermentación de hierbas).

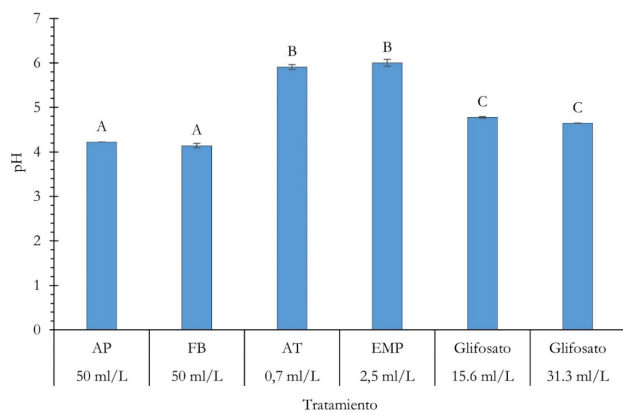


Barras de error ± 1 DE.

Figura 2. Contenido de agua de la pastura *B. ruzizensis* en función de la dosis de glifosato y coadyuvante empleado luego de tres semanas de la aplicación de los tratamientos. AP (Ácido Piroleñoso) y AT (coadyuvante sintético).

Efecto acidificante de coadyuvantes y glifosato

Los productos utilizados como coadyuvantes y el glifosato, todos en su formulación comercial, con la misma dosis y en solución con agua de la misma calidad que la utilizada en el experimento a campo, mostraron diferencias en el pH resultante (Figura 3, Tabla 2A). Los valores de pH más bajos fueron obtenidos con los coadyuvantes FB y AP (4,14 y 4,22, respectivamente). Las soluciones con los coadyuvantes AT y EMP resultaron en valores de pH levemente ácidos (5,91 y 6,0, respectivamente). Además, se comprobó que el glifosato redujo el pH del agua a valores de 4,64 y 4,78 con las concentraciones de 31,3 y 15,6 ml l⁻¹, respectivamente. Esto también confirma las mediciones del pH de los caldos aplicados como tratamientos, los cuales estaban dentro de un rango de 4,2 a 4,5 sin importar el coadyuvante utilizado.



Tratamientos con letras iguales no difieren significativamente ($p > 0,05$).
Barras de error ± 1 DE.

Figura 3. Efecto acidificante de los coadyuvantes y productos utilizados en solución con agua de la misma calidad como empleada en el experimento a campo, AP (Ácido Piroleñoso), FB (solución producto de fermentación de hierbas), AT (coadyuvante sintético), EMP (humectante siliconado).

DISCUSIÓN

El CA de todos los tratamientos muestra efecto del glifosato cuando se lo compara con el CA de *B. ruziziensis* en estado vivo entre 0,58 y 0,64 (Shuaibu et al., 2018). Enoh et al. (2005) reportaron un CA de 0,11 para heno de *B. ruziziensis* específicamente, por lo cual es razonable asumir la mortandad de la pastura con CA cercanos a los valores del heno.

Los valores de pH de los caldos resultantes de todos los tratamientos aparentemente no diferían significativamente (Tabla 1). Esto indica que la formulación comercial de glifosato utilizada tiene poder tampón y enmascara el efecto acidificante del coadyuvante. Por lo tanto, la hipótesis que el efecto acidificante de los coadyuvantes influye en la eficacia biológica del glifosato no puede ser resuelta con los datos obtenidos en este estudio. Las diferencias entre tratamientos parecen deberse a otros factores.

Entre los tratamientos con la dosis mayor de glifosato no se observó diferencias significativas con excepción del tratamiento FB, el cual resultó en la menor eficacia de desecación (Figura 1). La grande diferencia entre este tratamiento y los demás indica un efecto antagonista a la actividad biológica del glifosato. De hecho, la adsorción de glifosato a sustancias orgánicas ha sido reportado por varios autores, específicamente la adsorción a ácidos húmicos (Albers, Banta, Erik, y Jacobsen, 2009; Piccolo, Celano, & Conte, 1996) pero también a ácidos fúlvicos (Mazzei y Piccolo, 2012). Shehata, Kühnert, Haufe y Krüger (2014) determinaron la inhibición del efecto antimicrobiano del glifosato por una concentración de ácidos húmicos de 1 mg L⁻¹, lo cual indica la reducción o inhibición de la actividad biológica del glifosato por los ácidos húmicos. Los resultados de Mazzei y Piccolo (2012) indican una reacción no covalente entre glifosato y sustancias orgánicas disueltas a pH levemente ácido, dándole a ambas moléculas sitios

adicionales para la formación de puentes de hidrógeno a través de la protonación de los sitios funcionales y disminuyendo la repulsión electronegativa que ocurriría entre dos moléculas con carga negativa.

Los valores de pH medidos en este estudio con los coadyuvantes, pero sin agregar el glifosato (Figura 3), y también del caldo preparado (Tabla 1), están dentro de un rango de 4,1 a 6,0, por lo cual se darían condiciones de protonación de los grupos funcionales de la materia orgánica disuelta y se facilitaría así la formación de puentes de hidrógeno con el glifosato. De hecho, el glifosato mismo mostró efecto acidificante. Esto se observa comparando los valores de pH de las soluciones con los coadyuvantes solo y a la misma concentración (Figura 3) como en el experimento a campo, donde los valores de pH no variaban significativamente entre tratamientos (Tabla 1). Resultados similares fueron obtenidos por Gómez Vargas et al. (2006) al usar agua portador de diferentes valores de pH inicial (8,5, 6,5 y 4,5) que al añadir el glifosato (Roundup Max® 680 SG) se establecieron entre pH 4,03 y 4,13. Mencionados autores no pudieron determinar un efecto del pH inicial del agua portador sobre la eficacia del glifosato.

El orden de adsorción del glifosato a los compuestos orgánicos no sigue un orden de acidez sino de alifaticidad y de tamaño de molécula, con mayor adsorción a moléculas más alifáticas y de mayor tamaño (Piccolo, Celano y Conte, 1996). FB es descrito en su etiqueta comercial como un probiótico conteniendo alta concentración de bacterias ácido lácticas e hierbas fermentadas. Considerando que el ácido láctico producido por estas bacterias tiene características alifáticas (Vranova, Rejsek, y Formanek, 2013), además de la posible presencia de materia orgánica disuelta no degradada por el proceso de fermentación, reacciones entre la FB y la molécula del glifosato podrían ser responsables del antagonismo observado en este estudio.

Con la dosis de glifosato de 0,84 kg i.a. ha⁻¹ la desecación fue menos eficaz resultando en mayor CA de la pastura, aunque sin diferencia estadística entre coadyuvantes usados. Esto demuestra que la coadyuvancia del AP no fue suficiente como para reducir la dosis del glifosato como manifestado por Pankratz (2022).

Este estudio tiene tres limitaciones principales. Primero, la falta de un tratamiento sin coadyuvante para la determinación de la eficacia biológica de glifosato solo. Como testigo se utilizó glifosato con un coadyuvante de referencia ya que esto representa la combinación utilizada en la agricultura local. Por siguiente, la utilización de una formulación de glifosato con poder tampón dificulta resolver la hipótesis de la investigación, ya que los caldos de los tratamientos del experimento a campo no diferían significativamente en su pH. Por último, el diseño en franjas con control local en la toma de muestras dentro de las franjas no provee una completa aleatorización.

CONCLUSIÓN

Para las condiciones de los experimentos de este estudio

se concluye que la mejor desecación de la *B. ruzizensis* se obtiene con los coadyuvantes del AT y AP.

El probiótico FB es antagónico al efecto de desecación del glifosato y resulta en la menor eficacia del herbicida. Basándose en resultados de este estudio, su uso como coadyuvante del glifosato para la desecación de *B. ruzizensis* no es recomendado.

Ninguno de los coadyuvantes utilizados permite la reducción de la dosis de glifosato manteniendo la misma eficacia.

Considerando las limitaciones del estudio, los datos obtenidos en este estudio no permiten inferir algún efecto de la diferencia en reducción de pH de los coadyuvantes utilizados sobre la eficacia biológica del glifosato.

Para futuros estudios se recomienda utilizar una formulación de glifosato sin poder tampón para evaluar el efecto acidificante del coadyuvante sobre la eficacia del glifosato. Además, la inclusión de un tratamiento sin coadyuvantes es deseable.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Fundación IDEAGRO y a la Cooperativa Chortitzer Ltda. por la financiación de la investigación. Además, agradece la valiosa lectura crítica del manuscrito y comentarios de Matthew Giesbrecht y Lenard Dyck.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albers, C. N., Banta, G. T., Erik, P., & Jacobsen, O. S. (2009). The influence of organic matter on sorption and fate of glyphosate in soil – Comparing different soils and humic substances. *Environmental Pollution*, *157*(10), 2865-2870. doi:10.1016/j.envpol.2009.04.004
- Bromilow, R. H., & Chamberlain, K. (2000). The herbicide glyphosate and related molecules: Physicochemical and structural factors determining their mobility in phloem. *Pest Management Science*, *56*(4), 368-373. doi:10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<368::AID-PS153>3.0.CO;2-V
- Bromilow, R. H., Chamberlain, K., & Evans, A. A. (1990). Physicochemical Aspects of Phloem Translocation of Herbicides Abstract . A physicochemical approach to understanding phloem transport of xenobiotics requires that similarities in transport processes in different plant species far outweigh any differences. *Weed Science*, *38*, 305-314. doi:10.1017/S0043174500056575
- Chikoye, D., Lum, A. F., & Udensi, U. E. (2010). Efficacy of a new glyphosate formulation for weed control in maize in southwest Nigeria. *Crop Protection*, *29*(9), 947-952. doi:10.1016/j.cropro.2010.06.011
- Devkota, P., & Johnson, W. G. (2019). Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technology*, *33*(4), 562-568. doi:10.1017/wet.2019.31
- Devkota, P., & Johnson, W. G. (2020). Efficacy of dicamba and glyphosate as influenced by carrier water pH and hardness. *Weed Technology*, *34*(1), 101-106. <https://doi.org/10.1017/wet.2019.110>
- Dirección Nacional de Aduanas. (2022). *Datos abiertos*. Disponible en: https://www.aduana.gov.py/?page_

id=14523

- Durigan, J. C. (1992). Efeito de adjuvantes na calda e do estágio de desenvolvimento das plantas, no controle do capim-colonião (*Panicum maximum*) com glyphosate. *Planta Daninha*, *10*(1-2), 39-44. doi:10.1590/s0100-83581992000100003
- Enoh, M. B., Kijora, C., Peters, K. J., Tanya, V. N., Fonkem, D., & Mbanya, J. (2005). Investigation on change of forage quality at harvesting, during hay making and storage of hay harvested at different growth stages in the Adamawa plateau of Cameroon. *Livestock Research for Rural Development*, *17*(5). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd17/5/enoh17049.htm>
- Fiorilli, S., Rivoira, L., Calì, G., Appendini, M., Bruzzoniti, M. C., Coisson, M., & Onida, B. (2017). Iron oxide inside SBA-15 modified with amino groups as reusable adsorbent for highly efficient removal of glyphosate from water. *Applied Surface Science*, *411*, 457-465. doi:10.1016/j.apsusc.2017.03.206
- Fliss, O., Essalah, K. & Ben Fredj, A. (2021). Stabilization of glyphosate zwitterions and conformational/tautomerism mechanism in aqueous solution: insights from ab initio and density functional theory-continuum model calculations. *Physical Chemistry Chemical Physics*, *23*(46), 26306-26323. doi:10.1039/d1cp03161a
- Gómez Vargas, J. M., Pitty, A., & Miselem, J. M. (2006). Efecto del pH del Agua en la Efectividad de los Herbicidas Glifosato, Fluazifop-p-butil y Bentazon. *Ceiba*, *47*(1-2), 19-23. doi:10.5377/ceiba.v47i1-2.443
- Gougler, J. A., & Geiger, D. R. (1981). Uptake and Distribution of N-Phosphonomethylglycine in Sugar Beet Plants. *Plant Physiology*, *68*(3), 668-672. doi:10.1104/pp.68.3.668
- Green, J. M., & Beestman, G. B. (2007). Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. *Crop Protection*, *26*(3), 320-327. doi:10.1016/j.cropro.2005.04.018
- Hao, Y., Zhang, N., Xu, W., Gao, J., Zhang, Y., & Tao, L. (2019). A natural adjuvant shows the ability to improve the effectiveness of glyphosate application. *Journal of Pesticide Science*, *44*(2), 106-111. doi:10.1584/jpestics.D18-066
- Hunsche, M., Scherhag, H., Schmitz-Eiberger, M., & Noga, G. (2007). Influence of rain intensity and rapeseed oil ethoxylate adjuvants on biological efficacy of glyphosate. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *114*(4), 176-182. doi:10.1007/BF03356214
- Iqbal, N., Hazra, D. K., Purkait, A., Agrawal, A., & Kumar, J. (2022). Bioengineering of neem nano-formulation with adjuvant for better adhesion over applied surface to give long term insect control. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *209*(P2), 1-11. doi:10.1016/j.colsurfb.2021.112176
- Leaper, C., & Holloway, P. J. (2000). Adjuvants and glyphosate activity. *Pest Management Science*, *56*, 313-319. doi:10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<313::AID-PS147>3.0.CO;2-3
- Manals Cutiño, E., Penedo Medina, M., Giralte Ortega, G., Beltrán Guilarte, Y., & Sánchez del Campo, A. E. (2009). Cromatogramas Gram-Schmidt del Ácido Piroleñoso obtenido en la Pirolisis de diferentes Biomásas Vegetales. *Tecnología Química*, *29*(3), 27-37. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760004>
- Marcinkowska, K., Praczyk, T., Łęgosz, B., Biedziak, A., & Pernak, J. (2018). Bio-ionic Liquids as Adjuvants for Sulfonylurea Herbicides. *Weed Science*, *66*(3), 404-

414. doi:10.1017/wsc.2017.85
- Mazzei, P., & Piccolo, A. (2012). Quantitative evaluation of noncovalent interactions between glyphosate and dissolved humic substances by NMR spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 46(11), 5939-5946. doi:10.1021/es300265a
- Pankratz, T. (2022). *Experiencia en sistema de siembra directa* (Federación Paraguaya de Siembra Directa, Ed.). Colonia Friesland, Dpto San Pedro, Paraguay: Encuentro Nacional de Siembra Directa, 3-5 agosto, Colonia Friesland, Dpto San Pedro, Paraguay.
- Pereira, H. A., Hernandez, P. R. T., Netto, M. S., Reske, G. D., Vieceli, V., Oliveira, L. F. S., & Dotto, G. L. (2021). Adsorbents for glyphosate removal in contaminated waters: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19(2), 1525-1543. doi:10.1007/s10311-020-01108-4
- Piccolo, A., Celano, G., & Conte, P. (1996). Adsorption of Glyphosate by Humic Substances. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(8), 2442-2446. doi:10.1021/jf950620x
- Salas, P. y Sarubbi, H. (2013). Manejo de malezas en el cultivo de soja en el Paraguay. En A. Ríos (Ed.), *Viabilidad del glifosato en sistemas productivos sustentables* (pp. 131-136). Montevideo: INIA. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2551/1/18429080413103109.pdf#page=139>
- Santier, S. & Chamel, A. (1992). Penetration of glyphosate and diuron into and through isolated plant cuticles. *Weed Research*, 32, 337-347. doi:10.1111/j.1365-3180.1992.tb01894.x
- Schönbrunn, E., Eschenburg, S., Shuttleworth, W. A., Schloss, J. V., Amrhein, N., Evans, J. N. S., & Kabsch, W. (2001). Interaction of the herbicide glyphosate with its target enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase in atomic detail. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(4), 1376-1380. doi:10.1073/pnas.98.4.1376
- Sharma, S. D., & Singh, M. (2000). Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens frondosa* and *Panicum maximum* with different adjuvant types. *Weed Research*, 40(6), 523-533. doi:10.1046/j.1365-3180.2000.00209.x
- Shehata, A. A., Kühnert, M., Haufe, S., & Krüger, M. (2014). Neutralization of the antimicrobial effect of glyphosate by humic acid in vitro. *Chemosphere*, 104, 258-261. doi:10.1016/j.chemosphere.2013.10.064
- Shilling, D. G., & Haller, W. T. (1989). Interactive effects of diluent pH and calcium content on glyphosate activity on *Panicum repens* L. (torpedograss). *Weed Research*, 29, 441-448. doi:10.1111/j.1365-3180.1989.tb01316.x
- Shuaibu, A. Y., Fasae, O. A., Adeleye, O. O., Wheto, M., & Oluwatosin, B. O. (2018). Biomass Yield and Hay Quality of Irrigated *Brachiaria ruziziensis* Fertilized with Goat Manure as Dry Season Forage. *The Journal of Agricultural Science*, 51(3), 152-161.
- Travlos, I., Cheimona, N. y Bilalis, D. (2017). Glyphosate efficacy of different salt formulations and adjuvant additives on various weeds. *Agronomy*, 7(3), 1-9. doi:10.3390/agronomy7030060
- Vranova, V., Rejsek, K., & Formanek, P. (2013). Aliphatic, Cyclic, and Aromatic Organic Acids, Vitamins, and Carbohydrates in Soil: A Review. *The ScientificWorld Journal*, 2013, 1-15. doi:10.1155/2013/524239
- Wang, C. J., & Liu, Z. Q. (2007). Foliar uptake of pesticides-Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 87(1), 1-8. doi:10.1016/j.pestbp.2006.04.004
- Zand, A. D., & Hoveidi, H. (2015). Comparing aluminium sulfate and poly-aluminium chloride (PAC) performance in turbidity removal from synthetic water. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 2(3), 287-292.