

Fecha de recibido: 19-08-2024
Fecha de aceptado: 24-10-2024
DOI: 10.22490/ECAPMA.8424

EFEECTO DEL GLIFOSATO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE *Zygia longofolia* EN LA AMAZONIA COLOMBIANA

EFFECT OF GLYPHOSATE ON THE GERMINATION OF *Zygia longofolia* SEEDS IN THE COLOMBIAN AMAZON

Ismael Dussan Huaca

Agrónomo, docente programa de Agronomía, Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente, ECAPMA.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9742-9134>

ismael.dussa@unad.edu.co

Semillero: La Minga, Grupo: Inyumacizo

Thiago Costa Ferreira

Agrónomo, Docente na Universidade Estadual da Paraíba, Lagoa Seca,
Paraíba, Brasil.

<https://orcid.org/0000-0002-2368-6223>

thiago.ferreira@servidor.uepb.edu.br

Cristian David Plaza Pérez, biólogo docente programa de Doctorado en
Educación y Cultura Ambiental, Universidad de la Amazonia, Grupo de
Investigación GIMAE.

<https://orcid.org/0000-0002-6644-040X>

c.plaza@udla.edu.co

Citación: Dussan, I., Ferreira, T. y Plaza, C. (2025). Efecto del glifosato en la germinación de semillas de *Zygia longofolia* en la Amazonia Colombiana. *Working Papers ECAPMA*, 9(1), 19 – 33. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.8424>



RESUMEN

Zygia longifolia contribuye a la estabilización de ecosistemas ribereños y a mitigar la erosión del suelo en la Amazonia colombiana, además de mejorar la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno. Sin embargo, es necesario estudiar los efectos del herbicida glifosato en especies forestales no objetivo, especialmente en regiones con fumigaciones aéreas para erradicación de cultivos ilícitos. Este estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de diferentes dosis de glifosato en la germinación de semillas de *Z. longifolia* utilizando la técnica de rollo de papel. Las semillas se sumergieron durante 30 minutos en soluciones con concentraciones de 0,0; 1,8; 3,6; 5,4 y 7,2 g L⁻¹ de equivalente ácido de glifosato. Se observó una reducción

cuadrática del 72,4 % en el vigor de las semillas de *Z. longifolia* a medida que aumentaban las dosis de glifosato de 0,0 a 7,2 g L⁻¹. No se encontraron diferencias significativas en el ensayo que analizó la conductividad eléctrica de la solución con semillas expuestas al herbicida. Se concluyó que el glifosato afecta negativamente la germinación de *Z. longifolia*, lo cual tiene implicaciones para su conservación y uso responsable de herbicidas en zonas forestales. Los resultados resaltan la importancia de estos bioensayos para entender el impacto del glifosato en especies forestales de la región amazónica colombiana.

Palabras clave: agroquímico, herbicida, restauración

ABSTRACT

Zygia longifolia contributes to the stabilization of riparian ecosystems and helps mitigate soil erosion in the Colombian Amazon, in addition to improving soil fertility through nitrogen fixation. However, it is necessary to study the effects of the herbicide glyphosate on non-target forest species, especially in regions where aerial spraying is used to eradicate illicit crops. This study aimed to evaluate the effect of different doses of glyphosate on the germination of *Z. longifolia* seeds using the paper roll technique. Seeds were soaked for 30 minutes in solutions with concentrations of 0.0; 1.8; 3.6; 5.4 and 7.2 g L⁻¹ of glyphosate acid equivalent. A quadratic reduction of 72.4% in seed

vigor was observed as glyphosate doses increased from 0.0 to 7.2 g L⁻¹. No significant differences were found in the electrical conductivity test of the solution with seeds exposed to the herbicide. It was concluded that glyphosate negatively affects the germination of *Z. longifolia*, which has implications for its conservation and for the responsible use of herbicides in forested areas. The results highlight the importance of bioassays to understand the impact of glyphosate on forest species in the Colombian Amazon region.

Keywords: agrochemical, herbicide, restoration

1. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos generados en el Amazonas son cruciales tanto para América del Sur como para el mundo (Leberger et al., 2020). Sin embargo, al menos el 17% de la selva primaria en la cuenca amazónica ha sido deforestada en los últimos 50 años (Leblois et al., 2017). En cuanto a la Amazonía Colombiana, esta también ha mostrado incrementos alarmantes en la deforestación, con registros de 215.000 ha perdidas en 2018, superando incluso a los países vecinos (Hettler et al., 2018).

La especie *Z. longifolia* está ampliamente distribuida en bosques húmedos y lluviosos, asociados directamente a cursos de agua o valles fluviales en bajas elevaciones. Además, plantas del género *Zygia* han sido empleadas en Costa Rica para manejar la erosión hídrica y recuperar áreas degradadas (Rojas-Zeledón, 2018). El manejo forestal en la Amazonía colombiana ha llevado a la disminución de poblaciones de especies arbóreas como *Z. longifolia* (Willd.) Britton & Rose, comunes en áreas de

bosques ribereños y otros ambientes húmedos en el departamento de Caquetá (Colombia), y desempeñan un papel importante tanto ecológica como socialmente en la región. *Zygia longifolia* desempeña un papel ecológico fundamental en la Amazonía colombiana (Romero-Hernández et al., 2018) al contribuir a la estabilidad de los ecosistemas ribereños y a la mitigación de la erosión del suelo, especialmente en áreas cercanas a cuerpos de agua (Rojas-Zeledón, 2018). Estas zonas son cruciales para la biodiversidad, proporcionando hábitats para una variedad de especies de flora y fauna. Además, *Z. longifolia* tiene importancia en la formación de suelos y en el ciclo de nutrientes, debido a su capacidad para fijar nitrógeno, lo que mejora la fertilidad del suelo (Romero-Hernández et al., 2018).

Pese a su importancia ecológica, la investigación sobre la respuesta de las especies forestales a los herbicidas es aún limitada. En Brasil, se ha registrado el uso de herbicidas organofosforados en la

Amazonía occidental para establecer y manejar nuevos agroecosistemas, pero en Colombia esta información sigue siendo escasa. El glifosato (N-(fosfonometil) glicina), un herbicida de amplio espectro, no selectivo, sistémico y post-emergente (National Center For Biotechnology Information et al., 2023), se ha recomendado para el control de plantas invasoras anuales y perennes en diversos cultivos comerciales (Shimitz et al., 2019; Ávila et al., 2020). No obstante, su uso en cualquier área y sus impactos ambientales deben ser evaluados con cautela. En áreas forestales donde se aplican productos con formulaciones de glifosato de manera aérea, como en Caquetá en programas gubernamentales de erradicación de *Erythroxylum coca*, la deposición de pulverización suele ser mayor en el dosel, afectando tanto a la especie objetivo como a la vegetación arbórea adyacente. El impacto del glifosato en diversas especies forestales ha sido

documentado por Oliveira et al., (2020) y Vieira et al., (2022). Existen informes sobre su efecto en la germinación de semillas y características de crecimiento de especies vegetales no objetivo tratadas con glifosato (Helander et al., 2019; Duke & Powles, 2021; Fuchs et al., 2021).

Entre los métodos eficaces y eficientes, el biotest ha sido utilizado para evaluar el impacto de herbicidas en semillas y plántulas de plantas superiores. Un biotest es una prueba biológica que se emplea para medir la respuesta de organismos vivos a sustancias químicas, en este caso, herbicidas. Este procedimiento es fundamental para determinar los efectos nocivos del glifosato en la germinación y desarrollo de las semillas de *Z. longifolia*, permitiendo evaluar su toxicidad y posibles impactos ambientales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del glifosato en la germinación de semillas de *Z. longifolia* en diversas dosis.

2. METODOLOGÍA

2.1 ÁREA DE ESTUDIO Y RECOLECCIÓN DE SEMILLAS

El municipio de Florencia se localiza en las coordenadas 1°36'51"N y 75°36'42"W. La región posee un clima cálido-húmedo, formando parte de una zona de bosque húmedo tropical. La ciudad está situada a una altitud de 242 msnm, con una temperatura media anual de 25°C y una precipitación cercana a los 4000 mm anuales (SINCHI, 2006). Las matrices seleccionadas estaban distribuidas aleatoriamente por la ciudad, a unos 100 m de distancia entre sí, y mostraban una buena calidad vegetativa.

Los frutos de *Z. longifolia* se recolectaron de árboles matrices siguiendo el procedimiento de Carneiro et al. (2021). Una vez recolectados, los frutos se almacenaron en bolsas de papel y fueron trasladados al laboratorio, donde las semillas fueron procesadas manualmente para eliminar aquellas que presentaban malformaciones. La limpieza consistió en remover restos minerales y orgánicos, y lavar las

semillas con agua corriente. Luego, se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante un minuto para desinfección fungicida. Posteriormente, las semillas se empaparon durante 30 minutos en distintas dosis del herbicida glifosato. Tras el remojo, la calidad fisiológica de las semillas fue evaluada siguiendo los dos experimentos detallados a continuación.

2.2 TRATAMIENTOS

Se llevaron a cabo dos experimentos independientes en el laboratorio multipropósito de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CEAD Florencia, Caquetá. En cada experimento, los tratamientos consistieron en las mismas dosis de 0,0; 1,8; 3,6; 5,4 y 7,2 g L⁻¹ de e.a. del producto comercial Stop West®, con una fórmula original que contenía 480 g L⁻¹ de sal de isopropilamina de N-(fosfonometil) glicina, 360 g L⁻¹ del equivalente ácido (e.a.) de N-(fosfonometil) glicina (GLYPHOSATE) y 648 g L⁻¹ de ingredientes inertes. La dosis intermedia de 3,6 g L⁻¹ de e.a.

corresponde a la recomendación técnica de 2,5 L ha⁻¹ para la mayoría de las malezas. El diseño experimental fue de bloques completamente al azar con 4 repeticiones, donde cada repetición constó de 25 semillas. Los experimentos se realizaron dos veces.

2.3 GERMINACIÓN

Las semillas fueron colocadas en rollos de papel absorbente de uso comercial (BRASIL, 2009). Luego, se situaron los rollos en bolsas plásticas y se ubicaron en una habitación climatizada de 2 x 2 m con una temperatura controlada de $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$. La germinación fue monitoreada diariamente, considerando como germinadas aquellas semillas que mostraban la emisión de la raíz primaria. La primera evaluación de germinación se realizó junto con la prueba de germinación, registrando el porcentaje de plántulas normales obtenidas a los siete días y contabilizándose la germinación a los 14 días posteriores a la siembra. Se evaluaron el porcentaje de semillas no germinadas (NG), el índice de velocidad de germinación (IvG), el tiempo medio de

germinación (TmG) y la velocidad media de germinación (VmG).

2.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Después de remojar las semillas durante 30 minutos en los tratamientos, se sumergieron en 75 ml de agua desionizada. Después de 3 y 24 horas, se determinó la conductividad eléctrica de la solución con la ayuda de un conductímetro Digimed MD-31.

2.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el ensayo de germinación en rollos de papel y la medición de conductividad eléctrica, se utilizó la prueba Shapiro-Wilk con el fin de verificar los supuestos del análisis de varianza. Una vez confirmada la homogeneidad y normalidad, los datos obtenidos de la repetición de los experimentos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticas entre repeticiones. Al no encontrarse diferencias estadísticas significativas entre los experimentos, los datos se combinaron en una única ANOVA. Para las variables que mostraron diferencia significativa debido al

tratamiento, se realizó un análisis de regresión con la función cuadrática. La calidad del modelo de regresión se evaluó mediante el coeficiente de determinación (R^2). Las medias se

compararon utilizando la prueba Tukey HSD ($\alpha=0,05$). Los datos se procesaron con el paquete "agricolae" en el software R (Mendiburu, 2021).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La germinación de las semillas de *Z. longifolia* fue evidente desde el primer día posterior a la siembra (Figura 1). A lo largo del tiempo, la tasa de germinación fluctuó entre un 19,2% y un 83,3% para las dosis de $5,4 \text{ g L}^{-1}$ y de 0 g L^{-1} (control),

respectivamente, después de 14 días de evaluación. En comparación, con la dosis más alta de glifosato aplicada, $7,2 \text{ g L}^{-1}$, se registró un 24,9% de germinación en el mismo periodo.

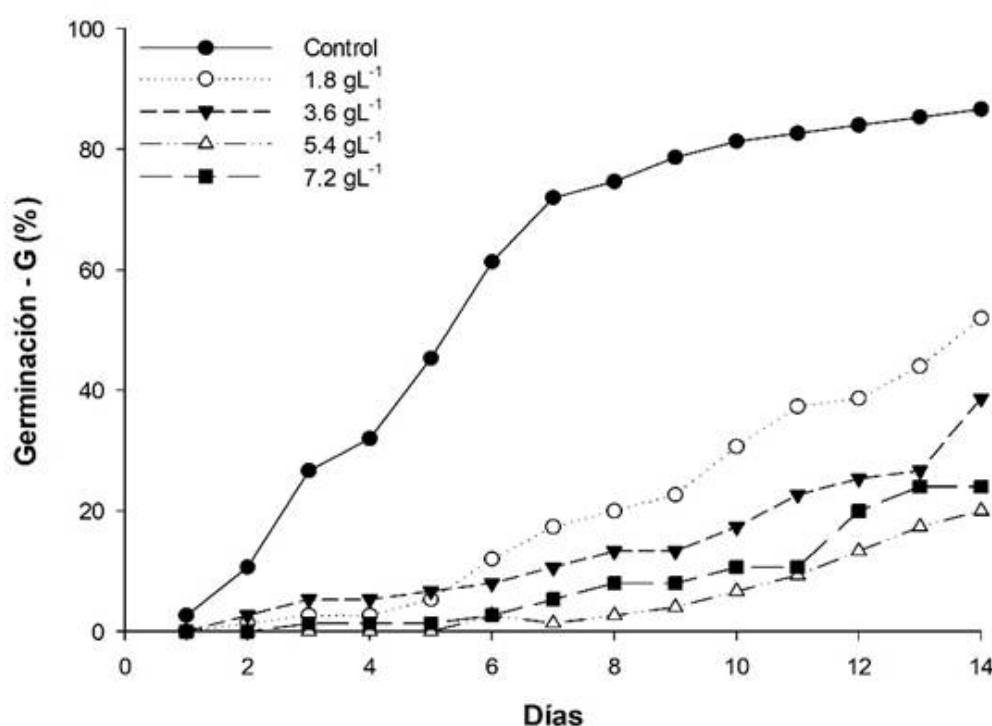


Figura 1. Germinación (%) de semillas de *Z. longifolia* en el tiempo en función de dosis de glifosato. **Fuente:** elaborado por autores.

Se detectó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,01$) para G, NG, e IvG (Tabla

1). No obstante, las variables TmG y VmG no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Tabla 1. Dosis de glifosato y variables de germinación de semillas de *Z. longfolia*.

Fuente: elaborado por autores.

Dosis (g.L ⁻¹)	Variables				
	G	NG	IvG	TmG	VmG
0	86,66 d	13,22 a	26,98 b	9,35 a	0,10 a
1,8	52,00 c	48,00 b	7,39 a	10,83 a	0,09 a
3,6	38,66 bc	61,33 bc	5,62 a	10,63 a	0,09 a
5,4	24,00 ab	76,00 cd	1,70 a	11,94 a	0,09 a
7,2	20,00 a	80,00 d	2,85 a	11,24 a	0,08 a
CV(%)	13,8	10,96	30,91	7,05	8,69
p	0	0	0	0,06	0,06

G: germinación, NG: semillas no germinadas, IvG: índice de velocidad de germinación, TmG: tiempo medio de germinación, VmG: velocidad media de germinación CV: coeficiente de variación y p: valor de ANOVA.

La germinación disminuyó hasta un 72,4% cuando la dosis aumentó de 0 a 7,2 g L⁻¹ ($R^2 = 0,98$). Se observaron patrones similares para N7D ($R^2 = 0,94$) y N14D ($R^2 = 0,98$), con reducciones del 92,3% y 71,4%,

respectivamente (Fig. 2A). En lo referente a IvG, hubo una reducción del 29,3% desde una dosis de 0 g L⁻¹ hasta el 3,1% en la dosis más alta de glifosato, que fue de 7,2 g L⁻¹ (Fig. 2B).

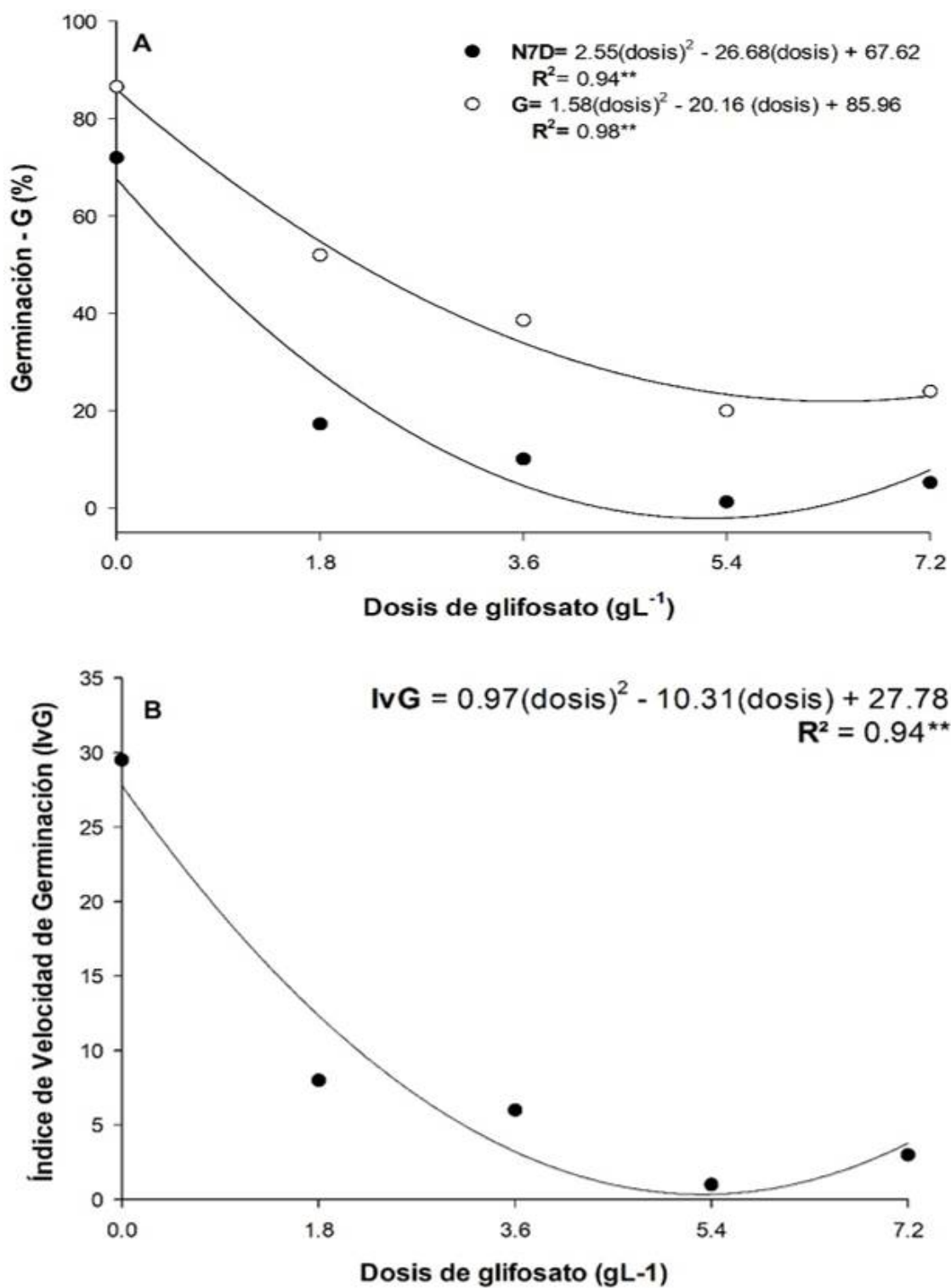


Figura 2. (2A)- N7D (•), germinación G (°) y (2B)- Índice de velocidad de germinación – IvG en semillas de *Z. longifolia* en función de dosis de glifosato. Fuente: elaborado por autores.

Para el ensayo de conductividad eléctrica no hubo diferencia significativa ($p > 0,05$) en la solución con el incremento de las dosis de glifosato.

Las semillas de *Z. longifolia* demostraron sensibilidad al glifosato según los resultados obtenidos en este estudio, lo que podría relacionarse con la composición química del herbicida. Como señalan Salazar López & Aldana Madrid, (2021), esta sustancia se recomienda para disminuir poblaciones de hierbas perjudiciales en distintas fases del ciclo vegetativo de diversos cultivos comerciales, abarcando dicotiledóneas, tanto antes como después de su emergencia. La efectividad del glifosato está conectada al proceso de entrada de agua necesario para la germinación, específicamente a la ruta que sigue el agua durante dicho proceso (Shimitz et al., 2019; Ávila et al., 2020).

En un estudio realizado por Piotrowicz-Cieślak et al., (2010), se analizaron las respuestas fisiológicas de seis especies de plantas, entre ellas cultivos populares e indicadores de

contaminación del suelo (*Lepidium sativum*, *Sinapis alba*, *Sorghum saccharatum*, *Brassica napus*, *Lupinus luteus* y *Avena sativa*), al aplicar 16 concentraciones de glifosato, que variaban de 0 a 2000 μM . Respecto al porcentaje de germinación de las semillas, la masa seca de las plántulas y la conductividad eléctrica de los lixiviados de las plántulas, no se encontraron diferencias significativas con la aplicación del herbicida. Los resultados del presente estudio difieren de los reportados por Piotrowicz-Cieślak ya que se observó reducción significativa de la germinación de las semillas con el aumento de las dosis de glifosato. Sin embargo, de acuerdo con Salazar López & Aldana Madrid, (2021), las semillas de especies forestales pueden verse afectadas por los efectos del glifosato; pero no hay suficiente información en la literatura que describa este proceso bioquímico.

Algunas semillas de especies de Fabaceae, especialmente del grupo de las Mimosideae, presentan un tegumento endurecido y la entrada de agua ocurre a través del hilo durante la germinación. Una vez establecido el flujo de agua, las



sustancias disueltas en la solución del sustrato pueden entrar en la semilla y ser más difíciles de expulsar (Ávila et al., 2020). En este contexto, el incremento de la mortalidad y la disminución del vigor en las semillas probadas en relación con las dosis crecientes de glifosato puede estar relacionado con factores acumulativos o con el aumento de la cantidad de la molécula dentro de las semillas. Otro aspecto relevante es que las semillas de este grupo pueden

presentar dormancia relacionada con procesos externos a la semilla como mecanismo de protección (Shimitz et al., 2019). No obstante, basado en los datos observados, este factor puede no haber influido en los resultados de este trabajo. El análisis de semillas de *Z. longifolia* expuestas al glifosato mediante la técnica de tetrazolio podría aclarar mejor este punto, pero actualmente no existe un protocolo válido para esta especie (Ávila et al., 2020).

4. CONCLUSIONES

- La germinación fluctuó entre un 19,2% y un 83,3% para las dosis de 5,4 g L⁻¹ y 0 g L⁻¹ (control), respectivamente, después de 14 días de evaluación.
- La germinación disminuyó hasta un 72,4% cuando la dosis aumentó de 0 a 7,2 g L⁻¹ ($R^2=0,98$), indicando que el glifosato afectó negativamente la germinación de las semillas de *Z. longifolia*.
- Para gestionar el uso de herbicidas en áreas forestales de manera sostenible y menos perjudicial para el medio ambiente, se recomienda implementar prácticas de manejo integrado de plagas, y promover el uso de herbicidas biológicos, establecer políticas ambientales estrictas y fomentar la capacitación y sensibilización de agricultores y gestores forestales sobre los impactos ambientales y las mejores prácticas para la aplicación de herbicidas.

REFERENCIAS

- Ávila, J. de, Cardoso, F. B., de Lima, S. F., Barzotto, G. R., & Zanella, M. S. (2020). Presence of glyphosate can harm the germination of bean seeds treated with biostimulant. *Bioscience Journal*, 36(1), 122–132. [<https://doi.org/10.14393/BJ-v36n1a2020-42441>].
- Brasil. (2009). Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS.
- Carneiro, T., Cavalcante, A., Cavalcante, A., Andrade, G., Lima, N., & Aquino, L. (2021). Efeito do vigor de sementes sobre as características fisiológicas e produtivas da soja. *Acta Iguazu*, 9, 122-133. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i2.23489>
- Duke, S. O., & Powles, S. B. (2021). Glyphosate: Uses Other Than in Glyphosate-Resistant Crops, Mode of Action, Degradation in Plants, and Effects on Non-Target Plants and Agricultural Microbes. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 255, 1-65. https://doi.org/10.1007/398_2020_53.
- Fuchs, B., Laihonon, M., Muola, A., Dobrev, P. I., Vankova, R., & Helander, M. (2021). A glyphosate-based herbicide in soil differentially affects hormonal homeostasis and performance of non-target crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 787958. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.787958>.
- Helander, M., Pauna, A., Saikkonen, K., & Saloniemi, I. (2019). Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth. *Scientific Reports*, 9(1), 19653. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56195-3>.
- Hettler, B., Thieme, A., Finerm (2018) MAAP #97: Deforestation Surge in the Colombian Amazon, 2018 update | MAAP. Maap Proj. Recuperado de [<https://maaproject.org/2019/colombia-2018-4/>].

- Leberger, R., Rosa, I., Guerra, C. A., Wolf, F., & Pereira, H. M. (2020). Global patterns of forest loss across IUCN categories of protected areas. *Biological Conservation*, 241, Article 108299. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108299>
- Leblois, A., Damette, O., & Wolfersberger, J. (2017). What has driven deforestation in developing countries since the 2000s? Evidence from new remote-sensing data. *World Development*, 92, 82-102.
- Mendiburu, F. (2021). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.4-0. Recuperado de [<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>]
- National Center for Biotechnology Information. (2023). PubChem Compound Summary for CID 3496, Glyphosate. Recuperado el 11 de enero de 2023, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Glyphosate>
- Oliveira, M. F., & Brighenti, A. M. (2020). Comportamento dos herbicidas no ambiente. En Oliveira Jr., Constantin, J., & Inoue, M. H. (Eds.), *Biologia e Manejo de Plantas Daninhas* (pp. 263-304). Curitiba: Omnipax.
- Piotrowicz-Cieślak, A., Adomas, B., & Michalczyk, D. (2010). Different Glyphosate Phytotoxicity of Seeds and Seedlings of Selected Plant Species. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(1), 123-129.
- Rojas-Zeledón, I. J. (2018). Selección de plantas para el control de la erosión hídrica en Costa Rica mediante la metodología de criterio de expertos. *Revista Forestal Mesoamericana*, 15(36), 3425. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i36.3425>
- Romero-Hernández, C. (2018). El género *Zygia* P. Browne (Leguminosae: Mimosoideae: Ingeae) en Colombia: análisis de distribución y clave actualizada para su identificación. *Biota Colombiana*, 18(2), 89–111. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a06>.
- Salazar López, N. J., & Aldana Madrid, M. L. (2021). Herbicida glifosato: usos, toxicidad y regulación. *Biotecnia*, 13(2), 83-164. <https://doi.org/10.18633/bt.v13i2.83>.

- Shimitz, M., Zandoná, R., Vargas, A., Garcia, J., Tunes, L., & Agostinetto, D. (2019). Teste Rápido de Detecção de Resistência à Glifosato em Sementes de Azevém. *Planta Daninha*, 37.
- SINCHI – Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. (2006). Caracterización y tipificación de sistemas productivos y su impacto ambiental en el Caquetá. Bogotá.
- Vieira, A. A., Amarante Junior, O. P., & et al. (2022). Efectos del glifosato sobre la germinación de semillas de *Zygia longifolia* (Fabaceae), una especie nativa de la Amazonía colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Agrarias*, en prensa.



Licencia de Creative Commons

Revista Working Papers ECAPMA is licensed under a Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional License.