

**Efectos del glifosato en la calidad fisiológica de las semillas de tres especies de interés
agroforestal en la región amazónica colombiana**

Daniela Alejandra Cabrera Chilito

Lizeth Yuranni Ortiz Pérez

Asesor:

Ismael Dussan Huaca, Ingeniero Agrónomo Msc. Sistemas Sostenibles de Producción

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela De Ciencias Agrícolas Pecuarias y de Medio Ambiente – ECAPMA

Programa De agronomía

2025

Dedicatoria

Daniela Alejandra Cabrera Chilito

Mi Familia

Este proyecto de investigación está dedicado a mi familia y a quienes han jugado un papel fundamental en mi vida, con todo mi amor y gratitud. A todos mis seres queridos y amigos, que me apoyaron en todo momento y derramaron su amor y me dieron fuerzas para luchar por mis sueños. Los quiero Inmensamente a todos:

A mi madre, Diana María Chilito, por su amor sin condiciones y su ejemplo de perseverancia.

A mi padre, Omar Cabrera Bravo, por su sabiduría y continuo apoyo.

A mi hermana, Yesica Madeleine Cabrera Chilito, por ser mi compañera de aventuras y un buen ejemplo de superación.

A mi hermano Omar Alejandro Cabrera Chilito por tan contagiosa alegría y entusiasmo.

A mi compañero de vida, Cristian Yurley Palmito Muñoz, por amarme, por su paciencia y por creer en mí todos los días.

Y a mis amigos: Lizeth Ortiz Pérez, Yuranny Bahamon, Erbin Rojas, Diego Mosquera, Edna Gañan, por acompañarme en este camino, por su apoyo y su amistad.

Gracias a todos por ser mi pilar e inspiración.

Lizeth Yuranny Ortiz Pérez

Infinitas gracias por el apoyo recibido por parte de mis familiares, docentes y amigos.

Padre: Arley Ortiz quien ha sido la persona más amorosa, atento, mi mejor amigo mi incondicional y quien siempre hace todo para que yo esté bien.

Madre: Luisa Pérez quien cada vez que estábamos juntas me ayudaba para cumplir con mis labores académicas.

Abuela: Ismenia Peña es la mujer más amorosa quien con sus oraciones han hecho que todo me salga bien y que Dios siempre me cuide y me ilumine por el mejor camino. Gracias abuelita porque tus oraciones son los más valioso para mí.

Hermanos: Michael Del vasto y Joseth Diaz quienes me han motivado a ser mejor persona ya que quiero ser el mejor ejemplo como persona, hermana y profesional.

Tíos y primos: Diana Ortiz, Edwin Pérez y Anyela colorado y Cristian Tovar, han sido personas que me han apoyado para ser una mujer responsable, correcta y me han inculcado siempre la disciplina y el cumplir con mis compromisos y responsabilidades. Siempre me han inculcado el nunca perder mi esencia, en ser siempre una mujer dedicada, feliz y trabajadora.

Docentes: Ismael Dussan, Fernando Gasca, entre otros. Como no agradecerles cuando tengo tanto por ellos, Ismael fue esa primera persona que creyó en mi desde el día uno que ingrese a hacer parte de la universidad, Fernando, Lucerina y demás docentes me han guiado en el proceso de enseñanza académica y valores adicionales. Mi profe Ismael, sé que aunque hemos discutido mucho, tengo mucho por agradecerle y a todos en general porque me han motivado y apoyado en distintas fases de vida, tanto en mi vida personal como en el cumplimiento de sueños

que se hicieron realidad gracias a ustedes y muchas más personitas que agregaron su granito de arena en mi sueño de ser Reina de la UNAD que gracias a ustedes pude cumplir. Y que mi título como profesional también se los debo a cada uno de ustedes.

Amigos: Yesenia Méndez, Daniela Cabrera, Yurany Bahamon, Erbin Rojas, Diego Mosquera y Edna Gañan mis personas favoritas, mi apoyo, quienes me han impulsado, quienes con paciencia y sin egoísmo me han guiado en actividades que yo no hubiese podido completar sola. No saben cuánto los quiero y les agradezco infinitamente por su valiosa amistad y por siempre creer en mí, por cada uno de estos años en donde hemos compartido, risas, aventuras, travesuras, dificultades y mucha complicidad.

Agradecimientos

Primero gracias a Dios por la gran oportunidad que nos regaló al permitirnos realizar nuestros estudios en un programa académico el cual nos apasiona como lo es La Agronomía.

Agradecemos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) por brindarnos la oportunidad de formarnos y cumplir nuestras metas de convertirnos en profesionales.

De igual manera gracias a nuestros familiares (padres, abuelos, hermanos, tíos, primos) y demás personas que nos apoyaron y ayudaron en el transcurso de nuestras carreras.

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, el Ing. Magíster Ismael Dussan Huaca, por su empeño, entrega y dedicación. Con sus amplios conocimientos, su vasta experiencia y su admirable paciencia, nos ha guiado y motivado para culminar exitosamente nuestros estudios.

Por último, gracias a nuestros docentes y compañeros quienes día a día, compartieron sus conocimientos con nosotros, que con sabiduría y paciencia nos guiaron paso a paso para lograr cada una de nuestras metas, y así alcanzar la mayor de ellas la cual es poder graduarnos con responsabilidad y compromiso para ser excelentes profesionales.

Daniela A. C. Chilito, Lizeth Y. Ortiz

Resumen

El objetivo del proyecto fue evaluar la calidad fisiológica de semillas de tres especies de interés agroforestal en la región de la Amazonía colombiana, expuestas a concentraciones progresivas del ingrediente activo Glifosato. El uso de estas especies ha cobrado relevancia en los últimos años como estrategia para mitigar la deforestación y como alternativa en áreas afectadas por cultivos ilícitos. La metodología consistió en aplicar diferentes dosis del herbicida Glifosato (0, 1.8, 3.6, 5.4 y 7.2 g·L⁻¹) y medir sus efectos sobre la emergencia y germinación de semillas de *Zygia longifolia*, *Guarea guidonia* e *Inga* sp., empleando dos tipos de sustratos: rollo de papel y arena. Las semillas fueron embebidas durante 30 minutos en las soluciones correspondientes. Se evaluaron las siguientes variables fisiológicas: Porcentaje de germinación (G), velocidad media de germinación (VMG), tiempo medio de germinación (TMG) y el índice de velocidad de germinación (IvG). Los resultados evidenciaron una disminución significativa en todos los parámetros evaluados a medida que aumentó la concentración de Glifosato, lo que demuestra la alta sensibilidad de estas especies nativas al herbicida y plantea consideraciones importantes para su manejo en programas de restauración ecológica en la región amazónica.

Palabras clave: Glifosato, calidad, agroforestal, fisiología, viabilidad.

Abstract

The objective of the project was to evaluate the physiological quality of seeds from three species of agroforestry interest in the Colombian Amazon region, exposed to progressive concentrations of the active ingredient Glyphosate. The use of these species has gained relevance in recent years as a strategy to mitigate deforestation and as an alternative in areas affected by illicit crops. The methodology consisted of applying different doses of the herbicide Glyphosate (0, 1.8, 3.6, 5.4, and 7.2 g·L⁻¹) and measuring its effects on the emergence and germination of seeds of *Zygia longifolia*, *Guarea guidonia*, and *Inga sp.*, using two types of substrates: paper roll and sand. The seeds were soaked for 30 minutes in the corresponding solutions. The following physiological variables were evaluated: Germination percentage (G), mean germination speed (MGS), mean germination time (MGT), and germination speed index (GSI). The results showed a significant decrease in all the evaluated parameters as the concentration of Glyphosate increased, demonstrating the high sensitivity of these native species to the herbicide and raising important considerations for their management in ecological restoration programs in the Amazon region.

Keywords: Glyphosate, quality, agroforestry, physiology, viability.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| Abstract | 7 |
| Introducción | 15 |
| Planteamiento del problema..... | 21 |
| Pregunta de investigación | 28 |
| Justificación | 29 |
| Formulación de la hipótesis nula de la investigación | 32 |
| Objetivos..... | 33 |
| Objetivo General | 33 |
| Objetivos Específicos..... | 33 |
| Marco Teórico..... | 34 |
| Ingrediente Activo Glifosato..... | 34 |
| Estructura | 34 |
| Usos..... | 35 |
| Control de Malezas de Amplio Espectro..... | 35 |
| Uso en Cultivos Genéticamente Modificados (GM) Tolerantes al Glifosato (Tecnología Roundup Ready®)..... | 35 |
| Aplicaciones de "Burndown" (Quema Química o Barbecho Químico) | 36 |
| Uso en Cultivos Perennes y Frutales | 36 |
| Desecación o Maduración Pre-Cosecha | 36 |

| | |
|---|----|
| Control de Vegetación No Agrícola | 36 |
| Causas y Efectos..... | 38 |
| Deriva | 38 |
| Impacto en Cultivos Sensibles..... | 38 |
| Impacto en Vegetación No Objetivo | 38 |
| Contaminación de Fuentes de Agua | 39 |
| Exposición Humana y Animal..... | 39 |
| Cobertura No Uniforme..... | 39 |
| Eficacia Reducida | 39 |
| Selección de Resistencia..... | 39 |
| Impacto en la Biodiversidad del Suelo | 40 |
| Contaminación Ambiental Amplia..... | 40 |
| Efectos a Nivel de Raíz | 40 |
| Efectos a Nivel de Semilla..... | 41 |
| Conflictos Sociales y Regulatorios..... | 41 |
| Prueba de Germinación y Emergencia. | 42 |
| Prueba de Conductividad Eléctrica (CE)..... | 44 |
| Especies agroforestales estudiadas | 45 |
| <i>Zygia longifolia</i> (Carbón)..... | 45 |
| <i>Guarea guidonia</i> (Bilibil)..... | 48 |

| | |
|--|----|
| | 10 |
| <i>Inga sp</i> (Guamo)..... | 51 |
| Antecedentes | 55 |
| Metodología | 58 |
| Área de Estudio | 58 |
| Enfoque Investigativo | 58 |
| Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Germinación de Tres Especies Agroforestales Mediante la Prueba de Laboratorio de Rollo de Papel | 58 |
| Preparación de las Semillas y los Tratamientos | 58 |
| Diseño Experimental. | 60 |
| Análisis Estadístico..... | 60 |
| Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Emergencia de las Plántulas de Tres Especies Agroforestales en Sustrato Arena..... | 61 |
| Preparación de las Semillas y los Tratamientos | 61 |
| Prueba de Emergencia. | 61 |
| Diseño Experimental y Análisis Estadístico..... | 62 |
| Efectos Fisiológicos de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Conductividad Eléctrica de Semillas de Tres Especies Agroforestales | 62 |
| Preparación de las Semillas y los Tratamientos | 62 |
| Prueba de Conductividad Eléctrica..... | 62 |
| Diseño Experimental y Análisis Estadístico..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Resultados | 68 |
| Efecto de Concentraciones Incrementales de Ingrediente Activo Glifosato Sobre la Germinación de Tres Especies Agroforestales Mediante la Prueba de Laboratorio de Rollo de Papel | 68 |
| Carbón (<i>Zygia longifolia</i>) | 68 |
| Bilibil (<i>Guarea guidonia</i>) | 70 |
| Guamo (<i>Inga sp</i>) | 72 |
| Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Emergencia de las Plántulas de Tres Especies Agroforestales en Sustrato Arena | 74 |
| Carbón (<i>Zygia longifolia</i>) | 74 |
| Bilibil (<i>Guarea guidonia</i>) | 76 |
| Guamo (<i>Inga sp</i>) | 78 |
| Efectos Fisiológicos de Concentraciones Incrementales de Ingrediente Activo Glifosato sobre la Conductividad Eléctrica de Semillas de Tres Especies Agroforestales. | 81 |
| Discusión | 84 |
| Conclusiones | 88 |
| Recomendaciones | 90 |
| Referencias Bibliográficas | 91 |

Listado de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Resultados promedio prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Carbon tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato(rollo de papel).....</i> | 69 |
| Tabla 2. <i>Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Guarea gidonia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (rollo de papel).....</i> | 71 |
| Tabla 3. <i>Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Guamo tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (rollo de papel).....</i> | 74 |
| Tabla 4. <i>Resultados promedio prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Carbon tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).....</i> | 76 |
| Tabla 5. <i>Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Guarea gidonia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).....</i> | 78 |
| Tabla 6. <i>Resultados promedio, prueba de Tukey para semillas de Guamo tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).....</i> | 80 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 <i>Evolución de los cultivos ilícitos de coca en Colombia periodo 2012-2017.</i> | 23 |
| Figura 2 <i>Estructura molecular del glifosato</i> | 34 |
| Figura 3 <i>fotografía del arbol de carbón (zygia longifolia)</i> | 47 |
| Figura 4 <i>fotografía de los frutos de carbón (zygia longifolia)</i> | 47 |
| Figura 5 <i>fotografía de las semillas de carbón (zygia longifolia)</i> | 47 |
| Figura 6 <i>fotografía del arbol de bilibil (Guarea guidonia)</i> | 50 |
| Figura 7 <i>fotografía de los frutos de bilibil (Guarea guidonia)</i> | 50 |
| Figura 8 <i>fotografía de las semillas d bilibil (Guarea guidonia)</i> | 50 |
| Figura 9 <i>fotografía del arbol de guamo (Inga sp)</i> | 53 |
| Figura 10 <i>fotografía de los frutos de guamo (Inga sp)</i> | 53 |
| Figura 11 <i>Fotografía de la semilla de guamo (Inga sp)</i> | 54 |
| Figura 12 <i>Preparación de los cinco tratamientos con cantidades las diferentes de glifosato)</i> | 62 |
| Figura 13 <i>Preparación de tratamientos: T 1: 0, T2: 1,8 ,T3: 3,6,T4: 5,4,T5: 7,2</i> | 63 |
| Figura 14 <i>Semillas de Guarea guidonia introducidas en las dosis de glifosato i.a. y dosis testigo</i> | 63 |
| Figura 15 <i>Semillas de Zygia longifolia sometidas a las dosis de glifosato i.a. y dosis testigo</i> | 64 |
| Figura 16 <i>Semillas de Zygia longifolia depositadas en rollo de papel</i> | 64 |
| Figura 17 <i>Semillas de Zygia longifolia en el papel de germinación.</i> | 65 |
| Figura 18 <i>Germinación de las semillas de Zygia longifolia en rollo de papel</i> | 66 |
| Figura 19 <i>Emergencia de semillas de Inga sp en arena</i> | 66 |
| Figura 20 <i>Emergencia de semillas de Guarea guidonia en arena</i> | 67 |
| Figura 21 <i>Germinación diaria de Zygia longifolia en rollo de papel</i> | 68 |

| | |
|---|----|
| | 14 |
| Figura 22 <i>Germinación diaria del Guarea guidona en papel</i> | 70 |
| Figura 23 <i>Germinación diaria de Inga sp .</i> | 72 |
| Figura 24 <i>Germinación diaria de Zygia longifolia en arena</i> | 75 |
| Figura 25 <i>Germinación diaria Guarea guidonia</i> | 77 |
| Figura 26 <i>Germinación diaria en Inga sp</i> | 79 |
| Figura 27 <i>Germinación total.</i> | 80 |
| Figura 28 <i>Zygia longifolia .</i> | 81 |
| Figura 29 <i>Guarea gidonea</i> | 82 |
| Figura 30 <i>Inga sp</i> | 83 |

Introducción

La Amazonía Colombiana es un espacio de zona cálida de biodiversidad, hogar de innumerables especies de flora y fauna, muchas de las cuales son endémicas y están en peligro de extinción. Según el Instituto SINCHI (2018), en la Amazonia Colombiana se concentra el 68,2% de la deforestación en Colombia. En el 2020, se perdieron 109,302 ha de bosque, y 112,899 ha en 2021. El 62,5% de esta deforestación está en áreas protegidas, y el 9% en Parques Nacionales.

La Amazonia colombiana abarca alrededor de 400.000 km² de la cuenca del río Amazonas, el 36% del territorio colombiano. El cultivo de la coca se concentra en la parte occidental de la región, en los departamentos de Guaviare, Caquetá y Putumayo, en los que se ha convertido en parte integrante de la economía tanto a nivel nacional como internacional por lo cual está coincidiendo con un acelerado crecimiento demográfico. La región tiene 800.000 habitantes, el 80% de la población de la Amazonia. Esta es también la zona que sufre una deforestación más acusada (González Posso, 2006).

Colombia tiene una de las cinco mayores tasas de deforestación de bosque húmedo tropical en el mundo. Durante la década de 1980 se destruyeron en el mundo 15,4 millones de hectáreas de bosque húmedo tropical, de las cuales el 4,5 por ciento se deforestó en Colombia, principalmente en su región amazónica (Departamento Nacional de Planeación, 1996).

La deforestación de la selva amazónica es una de las problemáticas ambientales más graves que enfrenta Colombia. Este fenómeno no solo implica la pérdida de vastas extensiones de bosque, sino que también tiene profundas repercusiones en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos que estos bosques proporcionan. Entre las múltiples causas de la deforestación, los cultivos ilícitos juegan un papel significativo (Hickey, 2021). La expansión de cultivos de coca

(*Erythroxylum coca*) y otras plantas utilizadas para la producción de drogas ilegales ha llevado a la tala indiscriminada de árboles y a la degradación del suelo en la región amazónica (Dest, 2021).

El Ministerio de Justicia y el Derecho (2024), dio a conocer que el 47% de la deforestación 2022-2023 del país está sucediendo en los mismos territorios donde se está concentrando la coca.

Colombia tiene una de las cinco mayores tasas de deforestación de bosque húmedo tropical en el mundo. Durante la década de 1980 se destruyeron en el mundo 15,4 millones de hectáreas de bosque húmedo tropical, de las cuales el 4,5 por ciento se deforestó en Colombia, principalmente en su región amazónica (SINCHI, 2018).

La tala para los cultivos ilícitos (junto con la expansión de la frontera agrícola, los nuevos asentamientos y la ganadería vacuna extensiva) es una de las causas principales de la deforestación de la Amazonia colombiana debido a que desde mediados de los años setenta, el cultivo de la coca, así como el de la marihuana y la amapola, ha conocido un enorme auge en Colombia. La demanda externa de cocaína y la contracción de las áreas dedicadas al cultivo de la coca en otros países han contribuido a que la superficie cocalera colombiana haya pasado de 37.500 hectáreas a principios de 1991 a más de 100.000 hectáreas en 1999 (SINCHI, 2018).

Además, la deforestación y la degradación del suelo afectan la capacidad de la Amazonía para actuar como sumidero de carbono, exacerbando el cambio climático. La pérdida de cobertura forestal reduce la capacidad de los bosques para absorber dióxido de carbono, contribuyendo al aumento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Esto, a su vez, puede tener efectos en cadena, como cambios en los patrones de lluvia y un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos (Hickey, 2021).

El cultivo de la coca se concentra en la parte occidental de la región, en los departamentos de Guaviare, Caquetá y Putumayo, en los que se ha convertido en parte integrante de la economía tanto a nivel nacional como internacional por lo cual está coincidiendo con un acelerado crecimiento demográfico. La región tiene 800.000 habitantes, el 80% de la población de la Amazonia. Esta es también la zona que sufre una deforestación más acusada (González, 2019)

Para combatir los cultivos ilícitos, el gobierno colombiano ha implementado diversas estrategias, entre las cuales se destaca la aplicación del ingrediente activo Glifosato, en altas concentraciones y combinado con otros productos agroquímicos que actúan como coadyuvantes, para potenciar la efectividad del producto químico, dichas aplicaciones se realizan mediante aspersiones aéreas y de manera indiscriminada (ANLA, 2021).

El uso de Glifosato. ha generado un intenso debate debido a sus posibles efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente. Estudios han demostrado que el ingrediente activo Glifosato puede afectar la calidad del agua, la fertilidad del suelo y la salud de las comunidades locales. Su aplicación indiscriminada causa consecuencias devastadoras para la biodiversidad de la región, por cuanto afecta los cultivos objeto de las aplicaciones y las plantas adyacentes no objetivo de dicha aplicación (Dest (2021)). La pérdida de hábitat y la contaminación química pueden llevar a la disminución de poblaciones de especies clave, alterando los equilibrios ecológicos y reduciendo la resiliencia de dichos hábitats (Hickey, 2021).

En cuanto al agroquímico Glifosato, la casa matriz Bayer S.A.S. Bayer CropScience (2025), lo presenta como un producto de moderadamente toxico. La Ficha técnica es un documento estandarizado que proporcionan información completa sobre los peligros, manejo seguro, propiedades y medidas de emergencia para un producto químico. Esto es lo que

típicamente dice Bayer (heredando la postura y los datos de Monsanto) sobre el glifosato en sus FDS para productos formulados (como Roundup®, ingrediente activo Glifosato):

Generalmente clasifican las *formulaciones* (que contienen Glifosato más otros ingredientes como surfactantes) como irritantes oculares (a menudo graves) y a veces irritantes cutáneos, dependiendo de la concentración y los coformulantes. Advierten sobre la toxicidad para organismos acuáticos, a menudo con efectos duraderos (clasificación de peligro ambiental).

En línea con las conclusiones de muchas agencias reguladoras importantes (como la EPA de EE. UU., EFSA de la UE - aunque esta está bajo revisión/debate constante, APVMA de Australia), las FDS de Bayer no clasifican el glifosato en sí mismo como carcinogénico, mutagénico o tóxico para la reproducción basándose en el peso de la evidencia científica evaluada por estas agencias. Esta es una diferencia clave con la clasificación de la IARC (2015), la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, de la OMS, que lo clasificó como "probablemente carcinogénico para los humanos" (Grupo 2A).

Presentan datos de toxicidad aguda (DL50 oral, dérmica, CL50 inhalatoria) para la formulación específica, indicando generalmente una baja toxicidad aguda por ingestión o contacto dérmico.

La irritación ocular suele ser el efecto agudo más significativo (Bayer CropScience, 2025).

Resumen los resultados de estudios crónicos (alimentación a largo plazo en animales) y específicos (carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad, toxicidad reproductiva) que fueron presentados a las agencias reguladoras. Reiteran la conclusión (basada en esas evaluaciones regulatorias) de ausencia de evidencia concluyente para clasificarlo como carcinógeno, mutágeno o tóxico reproductivo en humanos bajo condiciones normales de uso.

Proporcionan datos sobre la toxicidad para diferentes organismos: peces, invertebrados acuáticos (como Daphnia), algas, aves, abejas y organismos del suelo (lombrices).

Indican que el glifosato tiene una fuerte adsorción al suelo, lo que limita su lixiviación a aguas subterráneas, y es degradado por microorganismos del suelo.

Confirman la toxicidad para organismos acuáticos (especialmente algas y algunas plantas acuáticas) y la necesidad de tomar precauciones para evitar la contaminación de cuerpos de agua. La toxicidad puede variar significativamente dependiendo de la formulación (los surfactantes pueden ser más tóxicos que el glifosato puro para algunos organismos).

Recomendaciones de Equipo de Protección Personal (EPP): gafas de seguridad, guantes resistentes a químicos, ropa de manga y pantalones largos.

En resumen, la "casa matriz", Bayer CropScience (2025), afirma en documentos técnicos oficiales (FDS) que, basándose en las evaluaciones de las principales agencias reguladoras, el Glifosato no es carcinogénico y tiene baja toxicidad aguda, aunque las formulaciones pueden ser irritantes (especialmente para los ojos) y son tóxicas para organismos acuáticos.

Con base en lo anterior, el gobierno nacional utiliza el producto agroquímico para la erradicación forzosa de cultivos ilícitos. El Ministerio de Justicia y el Derecho dio a conocer que el entre 1994 y 2023, en Colombia se asperjaron un total de 2.923.316 hectáreas aparentemente con cultivos de coca (2024), utilizando dosificaciones de 10 a 20 litros de agroquímico por hectárea asperjada, sobrepasando las recomendaciones de los agrónomos para su aplicación como herbicida que van hasta 4 litros del producto comercial por hectárea.

Cabe recalcar que la erradicación de cultivos de uso ilícito presenta un desafío complejo para Colombia, pues es crucial encontrar un equilibrio entre la necesidad de combatir el narcotráfico y la protección del medio ambiente. Esto requiere un enfoque integral que incluya alternativas sostenibles para las comunidades locales, la restauración de áreas degradadas y la implementación de políticas que promuevan la conservación de la biodiversidad. Solo a través de

un esfuerzo coordinado y multifacético se podrá asegurar un futuro sostenible para la Amazonía colombiana y sus habitantes (PNUD, 2017).

Desafortunadamente en Colombia, son escasos los estudios relacionados con el uso del ingrediente activo Glifosato como insumo en la erradicación de cultivos de uso ilícito en aspersiones aéreas, en su uso como herbicida en usos agrícolas, y los impactos ambientales y en la salud causados.

Por lo anterior, en este estudio se pretende evaluar la calidad fisiológica de tres semillas de interés agroforestal para la región amazónica colombiana, expuestas a concentraciones incrementadas de ingrediente activo Glifosato, con la intención de identificar el grado de afectación y susceptibilidad, en los aspectos tales como la germinación, emergencia de igual manera, se pretende generar información científica que contribuya a comprender los efectos del uso intensivo de este herbicida.

Planteamiento del problema

En sus 88.965 km² de extensión, el departamento del Caquetá alberga una variedad de flora, fauna y paisajes, lo que le ha valido el estatus de una de las provincias con mayor biodiversidad del país. Se ubica en la subregión noroccidental de la Amazonía colombiana, limitada políticamente por los departamentos de Meta y Guaviare al norte, los departamentos de Amazonas y Putumayo al sur, los departamentos de Cauca y Huila al oeste y los departamentos de Vaupés y Amazonas (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas - SINCHI, 2010).

La aspersión aérea con glifosato genera profundos cuestionamientos por su alto impacto social y ambiental, así como por su cuestionable efectividad en la reducción de cultivos ilícitos. La prohibición de esta práctica, ya adoptada por una veintena de países, se considera un paso fundamental para proteger la salud humana y prevenir daños severos a ecosistemas y biodiversidad (PNUD, 2017).

El glifosato, un herbicida de amplio espectro de venta libre usado en agricultura y silvicultura, actúa sobre el follaje de plantas en crecimiento, pero no impide la germinación de semillas. Si bien su uso agrícola es común (café, banano, azúcar), los efectos negativos en suelos, agua, fauna y salud humana generan críticas crecientes.

De acuerdo con WWW (2022), la aspersión aérea, que consiste en rociar desde avionetas (a 25-50 m de altura) una mezcla de glifosato, agua y surfactantes para defoliar plantas es particularmente polémica como estrategia antidrogas. Datos contundentes evidencian que no es la forma más efectiva:

- **Ineficacia comparativa:** La probabilidad de resiembra o desplazamiento es alta tras la fumigación (tasa de resiembra ~35%). En cambio, la sustitución voluntaria (PNIS)

muestra una sostenibilidad mucho mayor, con una tasa de resiembra de solo 0.6% (UNODC, 2017).

- **Ineficiencia operativa y costo:** Se requiere fumigar áreas muy extensas (hasta 30 hectáreas para erradicar una de coca, según PNUD, 2017). Además, es más costosa: 72 millones de pesos por hectárea en promedio (2003-2014), frente a los 40 millones estimados para la sustitución.

A esto se suma la peligrosidad inherente: la concentración de glifosato usada (10.4 L/ha) cuadruplica la recomendada para agricultura. Además, la mezcla incluye coadyuvantes (surfactantes) necesarios para la penetración del herbicida, pero que añaden riesgos significativos. En formulaciones como Roundup® (PC), se usan sustancias como POEA (tóxico, asociado a diversas afecciones y cáncer en animales), Cosmo-flux 411F (moderadamente tóxico) y componentes del NNG (cancerígenos) (Ruano-Ibarra *et al.* 2020).

El uso de glifosato para la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia mediante aspersión aérea comenzó con pruebas piloto en cultivos de amapola durante el gobierno de César Gaviria (1990-1994). Durante aproximadamente 25 años, esta práctica se extendió, llegando a fumigar más de dos millones de hectáreas, principalmente de coca. Un punto de inflexión ocurrió en 2014, cuando la Corte Constitucional colombiana, influenciada por la clasificación del glifosato como probable cancerígeno por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la OMS, ordenó suspender las aspersiones aéreas. El Consejo Nacional de Estupefacientes (CNE) acató esta decisión en 2015 (Uribe, 2019).

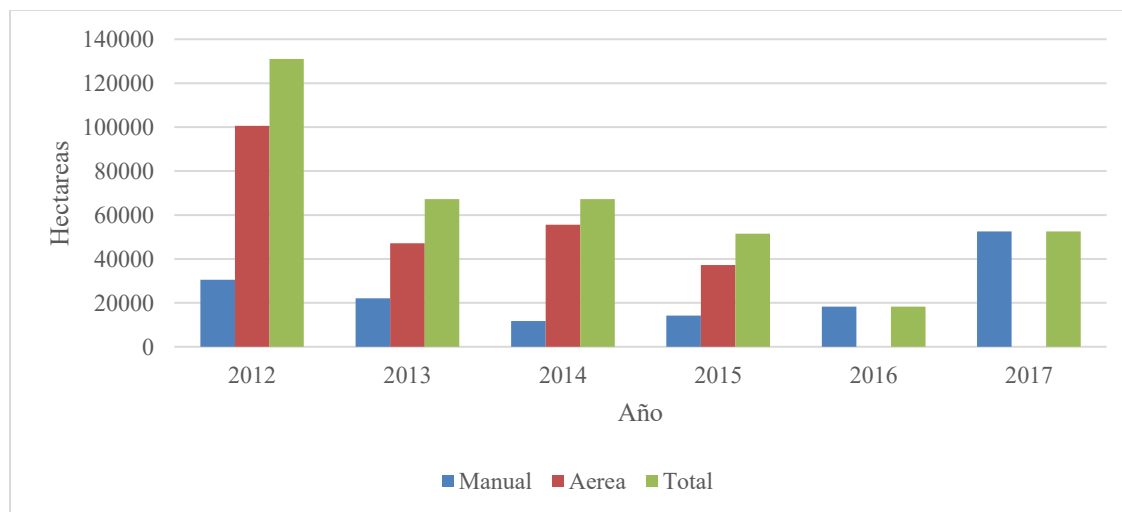
A pesar de la suspensión aérea, el glifosato continuó usándose en la agricultura colombiana. Además, a finales de 2016, el CNE aprobó su uso mediante aspersión *terrestre* para erradicar cultivos ilícitos bajo el Plan PECAT. Si bien hubo regulaciones posteriores sobre el uso

del glifosato (como en 2019, reafirmando aplicaciones manuales permitidas), la prohibición de la *aspersión aérea* para cultivos ilícitos, dictaminada por la Corte, se ha mantenido (Uribe, 2015).

Actualmente, el uso de glifosato en Colombia sigue siendo objeto de intensa controversia. El debate gira en torno a cómo equilibrar la necesidad de controlar los cultivos ilícitos con las preocupaciones legítimas sobre los impactos en la salud pública y el medio ambiente, afectando especialmente a las comunidades campesinas. El gobierno actual ha optado por una política enfocada en apoyar a los agricultores y combatir a las redes de narcotráfico, manteniendo la erradicación manual como principal herramienta y sin reactivar la *aspersión aérea* (ANLA, 2021). En la Figura 1, se muestra la evolución de los cultivos de coca en Colombia entre 2012 y 2017, con relación a los métodos de erradicación.

Figura 1.

Evolución de los cultivos ilícitos de coca en Colombia periodo 2012-2017.



Nota: La figura muestra las hectáreas erradicadas en Colombia por *aspersión aérea*, manual y el total, se observa que al disminuir la *aspersión aérea* se incrementan las áreas sembradas.

Fuente: Los autores con cifras de Uribe (2019).

El recorrido del glifosato en la agricultura mundial es un espejo del esfuerzo constante por hacer más eficiente y productiva la tarea de alimentar al mundo. Empezó como una herramienta útil, pero no revolucionaria. Fue su alianza con los cultivos modificados genéticamente lo que lo catapultó a ser el herbicida dominante en todo el planeta. Pero este éxito masivo trajo consigo serios desafíos: las malezas se adaptaron y resistieron, y surgió una intensa preocupación social y científica sobre su seguridad. Hoy, aunque sigue siendo indispensable para millones de agricultores, el futuro del glifosato pide más: se necesitan enfoques más integrados y sostenibles para manejar las arvenses, debemos seguir evaluando sus riesgos con rigor y continuar un debate público que sigue muy vivo. Su historia recalca que, en la tecnología agrícola, las prácticas en el campo, la respuesta de la naturaleza y la voz de la sociedad son hilos inseparables del tejido del sistema alimentario (Van Bruggen *et al.* 2018).

Descubrimiento e Introducción Temprana (Década de 1970):

Aunque sintetizado inicialmente en la década de 1950 por la compañía suiza Cilag, sus propiedades herbicidas no fueron descubiertas hasta 1970 por John E. Franz, un químico de la compañía Monsanto (Franz *et al.* (1997)). Monsanto patentó el glifosato y lo lanzó al mercado en 1974 bajo la marca Roundup®. Su mecanismo de acción único, inhibiendo la enzima EPSP sintasa (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa), esencial para la producción de aminoácidos aromáticos en plantas y algunos microorganismos, lo convirtió en un herbicida de "amplio espectro" altamente efectivo (Steinrücken, H. C., & Amrhein, N., 1980)

Inicialmente, su uso agrícola era relativamente limitado. Al ser no selectivo (mataba la mayoría de las plantas verdes), se aplicaba principalmente como herbicida de "presembrado" o "quemado" para limpiar los campos antes de plantar, en barbechos químicos, o para controlar

malezas en cultivos perennes (como frutales u olivares, aplicándolo cuidadosamente para no tocar el cultivo) y en áreas no cultivadas. Su fuerte adsorción a las partículas del suelo y su rápida degradación por microorganismos se consideraron ventajas ambientales iniciales, limitando su persistencia y lixiviación.

La Revolución de los Cultivos Modificados Genéticamente (Mediados de la década de 1990 en adelante):

El punto de inflexión que catapultó al glifosato a la ubicuidad global fue la introducción de cultivos genéticamente modificados (GM) resistentes a él, conocidos como "Roundup Ready®" (RR). Monsanto introdujo la soja RR en 1996, seguida rápidamente por el algodón RR, maíz RR y canola RR (Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008)). Esta innovación transformó radicalmente el uso del glifosato: ahora podía aplicarse directamente "sobre" el cultivo en crecimiento (post-emergencia) para eliminar las malezas sin dañar la planta cultivada.

Esto ofreció a los agricultores una simplicidad sin precedentes en el manejo de malezas, reduciendo la necesidad de múltiples herbicidas selectivos con ventanas de aplicación más estrictas y facilitando la adopción de prácticas de labranza de conservación o siembra directa. La combinación de la eficacia del glifosato y la conveniencia de los cultivos RR llevó a una adopción masiva, especialmente en países con grandes extensiones de estos cultivos, como Estados Unidos, Brasil y Argentina. El uso global de glifosato se disparó exponencialmente durante finales de los 90 y la década de 2000 (Benbrook, 2016).

Expiración de Patentes y Expansión Global (Década de 2000):

La expiración de las patentes clave de Monsanto sobre el glifosato alrededor del año 2000 abrió el mercado a la producción de versiones genéricas. Esto condujo a una caída significativa en el precio del herbicida, haciéndolo aún más accesible y económico para agricultores de todo el

mundo, incluyendo países en desarrollo. El uso continuó expandiéndose, no solo en los principales cultivos RR, sino también en una variedad más amplia de aplicaciones agrícolas y no agrícolas (Benbrook, 2016).

El Desafío Creciente de la Resistencia de Malezas (Mediados de la década de 2000 en adelante):

La dependencia excesiva y la aplicación repetida de un único mecanismo de acción herbicida inevitablemente ejercieron una intensa presión de selección sobre las poblaciones de malezas. A mediados de la década de 2000, comenzaron a surgir y a extenderse rápidamente informes sobre malezas resistentes al glifosato en diversas partes del mundo (Powles, 2008). Especies como *Amaranthus palmeri* (bledo de Palmer), *Lolium rigidum* (vallico) y *Conyza canadensis* (conyza) se convirtieron en problemas agronómicos graves, obligando a los agricultores a volver a estrategias de manejo de malezas más complejas y costosas, incluyendo el uso de múltiples herbicidas (con diferentes mecanismos de acción), laboreo y prácticas culturales. La resistencia al glifosato es ahora uno de los mayores desafíos en la agricultura moderna basada en herbicidas.

Controversia sobre Salud y Medio Ambiente (Década de 2010 en adelante):

Paralelamente a los desafíos agronómicos, el glifosato se convirtió en el centro de una intensa controversia pública y científica respecto a sus posibles impactos en la salud humana y el medio ambiente. Un punto clave fue la clasificación en 2015 del glifosato como "probablemente carcinogénico para los humanos" (Grupo 2A) por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (Guyton, 2015). Esta clasificación, aunque disputada por muchas agencias reguladoras nacionales e internacionales (como la EPA de EE. UU. y la EFSA de la UE, que concluyeron que no era probable que fuera

carcinogénico bajo condiciones normales de uso), alimentó el debate público, generó miles de demandas legales (particularmente en EE. UU.) y llevó a algunas jurisdicciones a restringir o prohibir su uso, especialmente en aplicaciones no agrícolas (parques, jardines). También surgieron preocupaciones sobre sus efectos en la biodiversidad, como en polinizadores (abejas) o en el microbiota del suelo, aunque la evidencia científica sobre estos puntos sigue siendo objeto de investigación y debate (Mesnage *et al.* 2018).

Está claro que bien utilizado el ingrediente activo Glifosato es un insumo importante para la agricultura, pero que cuando se usa para aplicaciones generalizadas, e indiscriminadas como las aspersiones aéreas genera efectos perjudiciales en el medio ambiente (flora y fauna, el suelo y el agua). Para el caso particular de este estudio se plantea la siguiente pregunta de investigación:

Pregunta de investigación

¿Cómo afecta las diferentes dosis incrementales del ingrediente activo Glifosato a la calidad fisiológica de tres especies de semillas con importancia agroforestal en la Amazonia colombiana?

Justificación

La amazónica colombiana, y en particular el departamento del Caquetá representa un enclave de biodiversidad megadiversa y un pilar fundamental para la estabilidad climática regional y global. Sin embargo, esta región enfrenta presiones significativas derivadas de la expansión de la frontera agrícola, la ganadería extensiva y la presencia de cultivos ilícitos, procesos que a menudo conllevan altas tasas de deforestación y degradación de ecosistemas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD, 2019). En este contexto, los sistemas de producción sostenible emergen como una alternativa, capaz de conciliar la producción agrícola y forestal con la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades locales. El éxito y la expansión de estos sistemas dependen críticamente de la disponibilidad de material vegetal de alta calidad, siendo las semillas el punto de partida fundamental para el establecimiento de las especies arbóreas nativas seleccionadas (González & Pérez, 2019).

Paralelamente a los esfuerzos de restauración y establecimiento de sistemas de producción sostenibles (agrícolas y/o ganaderos), el uso de herbicidas, y en particular aquellos basados en el ingrediente activo glifosato, es una práctica extendida en la agricultura de la región. El glifosato se utiliza para el control de arvenses en diversos cultivos y, controversialmente, ha sido empleado en programas de erradicación de cultivos ilícitos (Varona *et al.* 2009). Dada su amplia aplicación y su conocida fitotoxicidad sistémica, existe una preocupación creciente sobre sus posibles efectos no intencionales en organismos no objetivo, incluyendo la flora nativa que se busca promover en los sistemas de producción sostenible y en proyectos de restauración ecológica. La deriva durante la aplicación aérea o terrestre, así como la posible persistencia y lixiviación en suelos y fuentes de agua, son vías potenciales de exposición

para la vegetación circundante y, crucialmente, para los bancos de semillas del suelo o las semillas durante su manejo y almacenamiento.

La calidad fisiológica de las semillas – que abarca parámetros clave como la viabilidad, la germinación y el vigor – es determinante para el éxito del establecimiento de plántulas en campo. Semillas con baja calidad fisiológica resultan en tasas de germinación pobres, plántulas débiles y una mayor susceptibilidad a factores de estrés biótico y abiótico, comprometiendo la viabilidad económica y ecológica de las iniciativas agroforestales y de reforestación. Si el glifosato, incluso a dosis subletales resultantes de exposición indirecta, afecta negativamente estos parámetros en semillas de especies forestales nativas de interés para la región, esto podría representar un obstáculo significativo y hasta ahora poco cuantificado para la recuperación de áreas degradadas y la consolidación de paisajes productivos sostenibles en el Caquetá.

Actualmente, existe un vacío de conocimiento significativo respecto a los efectos específicos del glifosato sobre la calidad fisiológica de las semillas de especies arbóreas nativas del bioma amazónico colombiano. La mayoría de los estudios sobre la toxicidad del glifosato se han centrado en especies cultivadas, malezas o en organismos acuáticos, dejando de lado el impacto potencial sobre la regeneración natural y asistida de los bosques tropicales (Gomes *et al.* 2019). Esta investigación se propone abordar directamente esta laguna, evaluando experimentalmente el efecto de diferentes dosis de glifosato – simulando posibles escenarios de exposición ambiental – sobre parámetros críticos de calidad (porcentaje de germinación, tiempo medio de germinación, índice de velocidad de germinación, longitud de radícula y plúmula, peso seco de plántulas, etc.) de semillas de tres especies forestales nativas seleccionadas por su relevancia ecológica y su potencial uso en sistemas agroforestales en el Caquetá.

Los resultados de este estudio proveerán información científica fundamental y novedosa. Primero, permitirán cuantificar la sensibilidad de las semillas de estas especies clave al glifosato, identificando posibles umbrales de toxicidad. Segundo, generarán conocimiento aplicable para mejorar las prácticas de manejo de semillas y planificación de programas de reforestación y agroforestería en paisajes donde el uso de glifosato es prevalente, permitiendo diseñar estrategias de mitigación o manejo del riesgo. Tercero, aportarán evidencia científica relevante para el debate sobre el uso de este herbicida en regiones de alta sensibilidad ecológica como la Amazonía. Finalmente, esta investigación contribuirá directamente a fortalecer las bases técnicas para la restauración ecológica y el desarrollo rural sostenible en el departamento del Caquetá, una región prioritaria para la conservación y el desarrollo postconflicto en Colombia. Con la presente investigación será posible generar productos de investigación que contribuyan a potenciar el Semillero la Minga, el Grupo INYUMACIZO, y al proceso de e-investigación de la UNAD.

De igual manera, se pretende apoyar con la formación del talento humano involucrando estudiantes universitarios del programa de Agronomía de la UNAD, adscritos al semillero de investigación La Minga del CEAD Florencia, quienes adelantarán trabajos de grado relacionados con el presente trabajo de investigación. Beneficiando a la comunidad Unadista en general. Por lo tanto, este estudio es pertinente, necesario y posee un alto potencial de impacto tanto científico como aplicado para la gestión sostenible del territorio amazónico.

Formulación de la hipótesis nula de la investigación

H1: Las concentraciones crecientes del ingrediente activo glifosato no afectan parámetros de calidad fisiológica de semillas de tres especies de interés agroforestal para el departamento del Caquetá-región amazónica colombiana.

Ho: Las concentraciones crecientes del ingrediente activo glifosato si afectan parámetros de calidad fisiológica de semillas de tres especies de interés agroforestal para el departamento del Caquetá-región amazónica colombiana.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de dosis incrementales del ingrediente activo glifosato sobre parámetros de calidad fisiológica de tres semillas de interés agroforestal para el departamento del Caquetá - región amazónica colombiana.

Objetivos Específicos

Analizar el efecto de concentraciones incrementales de glifosato ingrediente activo sobre la germinación de tres especies agroforestales mediante por medio de la prueba de laboratorio de rollo de papel.

Analizar el efecto de concentraciones incrementales de glifosato ingrediente activo sobre la emergencia de las plántulas de tres especies agroforestales en sustrato arena en invernadero.

Evaluar los efectos fisiológicos de concentraciones incrementales de glifosato ingrediente activo sobre la conductividad eléctrica de semillas de tres especies agroforestales.

Marco Teórico

Ingrediente Activo Glifosato.

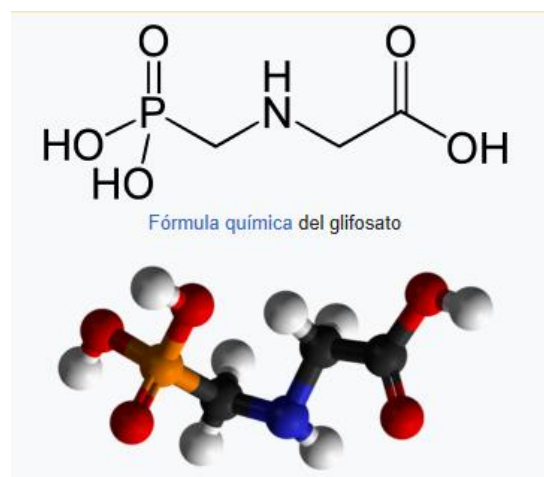
El ingrediente activo glifosato o N-(fosfonometil) glicina, es un monofosfato, un análogo del aminoácido natural glicina, y se le asigna como base conjugada del ácido, por lo que se determinó que su fórmula química es $C_3H_8NO_5P$, que corresponde al ácido orgánico débil que contiene una molécula de glicina y una molécula de fosfonometilo. Su forma física es un polvo cristalino, blanco e inoloro a 20°C, con una densidad de 1.705 g/L, fácilmente soluble en agua, insoluble en solventes orgánicos y no significativamente volátil (Baer & Marcel, 2014).

Como químico para control de arvenses, el producto inhibe la síntesis del 5-enilshimato-3-fosfato (EPSPS), que se encuentra en los plástidos (cloroplastos verdes de las plantas) (Dayan *et al.* 2019) y es responsable de la biosíntesis de tres aminoácidos aromáticos (tirosina, triptófano y fenilalanina), la enzima shikimato en una vía requerida para la propagación molecular y el crecimiento y desarrollo en plantas y bacterias (Burke y Bell, 2014). En la Figura 2, se puede apreciar la estructura molecular del ingrediente activo del Glifosato.

Estructura

Figura 2.

Estructura molecular del ingrediente activo glifosato.



Nota. En figura 2 se presenta la estructura del glifosato (N-fosfonometilglicina, C₃H₈NO₅P, CAS 1071-83-6).

Fuente. Franz *et al.* (1997).

Usos

De acuerdo con **Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008)**, los usos principales del glifosato, que explican su denominación como un herbicida "único en un siglo", se pueden resumir de la siguiente manera:

Control de Malezas de Amplio Espectro

El glifosato es un herbicida post-emergente, sistémico y no selectivo. Esto significa que puede controlar una vasta gama de malezas anuales, bienales y perennes, incluyendo gramíneas, ciperáceas y especies de hoja ancha, una vez que estas han emergido. Su acción sistémica permite que se trasloque por toda la planta, incluyendo las partes subterráneas (raíces, rizomas), lo cual es crucial para el control de malezas perennes difíciles.

Uso en Cultivos Genéticamente Modificados (GM) Tolerantes al Glifosato (Tecnología Roundup Ready®)

Este es, según los autores, el uso que catapultó al glifosato a su estatus predominante. La introducción de cultivos como la soja, maíz, algodón y canola, modificados genéticamente para ser resistentes al glifosato, permitió la aplicación "por encima del cultivo" (over-the-top) durante el ciclo de crecimiento. Esto simplificó enormemente el manejo de malezas, ofreciendo un control altamente efectivo y flexible, y facilitó la adopción de prácticas de agricultura de conservación como la siembra directa (no-till farming), ya que eliminaba la necesidad de labranza para el control de malezas.

Aplicaciones de "Burndown" (Quema Química o Barbecho Químico)

Antes de la siembra (replantación) o después de la cosecha, el glifosato se usa ampliamente para eliminar toda la vegetación existente en el campo, preparando una "cama de siembra limpia". Esto es especialmente importante en sistemas de labranza mínima o siembra directa.

Uso en Cultivos Perennes y Frutales

En cultivos como viñedos, huertos de frutales, plantaciones de café o palma, el glifosato se aplica de forma dirigida a la base de los cultivos o en las calles entre hileras para controlar las malezas sin dañar (idealmente) el cultivo principal.

Desecación o Maduración Pre-Cosecha

En ciertos cultivos (como cereales, leguminosas, colza), el glifosato se aplica poco antes de la cosecha para secar uniformemente el cultivo y las malezas presentes, facilitando la trilla mecánica y adelantando ligeramente la cosecha.

Control de Vegetación No Agrícola

Su uso se extiende más allá de la agricultura, incluyendo:

- **Manejo forestal:** Preparación de sitios para plantación y eliminación de competencia para los árboles jóvenes.
- **Áreas industriales y de infraestructura:** Control de vegetación en derechos de vía (carreteras, ferrocarriles, líneas eléctricas).
- **Jardinería y paisajismo:** Control de malezas en céspedes (para renovación), caminos, patios, etc.
- **Control de malezas acuáticas:** Con formulaciones específicas aprobadas para uso

acuático.

Duke y Powles (2008), destacan que la combinación de su eficacia de amplio espectro, su acción sistémica (especialmente contra perennes), su relativo bajo costo (en ese momento), su baja toxicidad para mamíferos (según se entendía predominantemente entonces) y, sobre todo, su sinergia con los cultivos GM tolerantes, convirtieron al glifosato en el herbicida más importante y utilizado a nivel mundial.

Según otros estudios, la vida media del ingrediente activo glifosato en el suelo puede variar de 2 a 197 días, dependiendo de las condiciones específicas del entorno, como la temperatura, la humedad y la actividad microbiana. En suelos con alta actividad microbiana, el glifosato tiende a degradarse más rápidamente. Su degradación primaria ocurre a través de procesos microbianos, que lo convierten en aminometilfosfónico (AMPA), un metabolito que también tiene cierta toxicidad y puede persistir en el medio ambiente durante períodos prolongados (Borggaard & Gimsing, 2008; Bento *et al.* 2016).

El potencial residual del glifosato en el suelo puede tener implicaciones ambientales significativas, como la contaminación de aguas subterráneas y superficiales debido a la lixiviación o el transporte del ácido aminometilfosfónico AMPA. Además, su presencia puede afectar la biodiversidad del suelo, incluyendo organismos benéficos como las micorrizas y los microorganismos descomponedores, lo que podría alterar la fertilidad del suelo a largo plazo (Van Bruggen *et al.* 2018).

La aplicación aérea con el ingrediente activo glifosato en Colombia se realizó en 1.800.000 hectáreas como parte del Plan Colombia entre 1999 y 2015 (Ruano-Ibarra & Carreño, 2020), afectando plantas objetivo y no objetivo de las aplicaciones; en otros países como Brasil, Argentina y Uruguay en donde se cultivan transgénicos en grandes extensiones, también se

realizan aspersiones aéreas con glifosato, con reportes de daños ambientales severos especialmente en plantas o cultivos no objetivo de las aplicaciones por deriva.

Causas y Efectos

Las aplicaciones del ingrediente activo glifosato se pueden realizar de varias maneras, entre las más utilizadas están la aplicación focalizada, terrestre generalizada, o por aspersiones aéreas, si bien pueden ser eficientes para cubrir grandes extensiones, todas presentan una serie de efectos relevantes y a menudo controvertidos, que se derivan principalmente de la naturaleza menos precisa de este método de aplicación. Los efectos más relevantes incluyen (ANLA, 2021; Baer *et al.* 2014; Bayer, 2015; Benbrook, 2016; Brunetti *et al.* 2022; Covaci, 2014; Duke, 2008; Idrovo, 2018):

Deriva

Este es quizás el efecto más significativo y preocupante de las aplicaciones aéreas. Las gotas de aspersión, especialmente las más finas, pueden ser transportadas por el viento fuera del área objetivo.

Impacto en Cultivos Sensibles

La deriva puede alcanzar cultivos vecinos que no son tolerantes al glifosato o que se encuentran en una etapa fenológica sensible, causando daños severos, reducción del rendimiento o incluso la pérdida total del cultivo afectado. Esto genera conflictos entre agricultores (Baer & Marcel, 2014).

Impacto en Vegetación No Objetivo

Ecosistemas naturales adyacentes (bosques, riberas, áreas de conservación) pueden verse afectados. Especies de plantas nativas, que son el foco de tu investigación, pueden ser

particularmente sensibles, llevando a la pérdida de biodiversidad, daño a hábitats importantes para la fauna y afectación de procesos ecológicos como la polinización si se dañan las fuentes florales.

Contaminación de Fuentes de Agua

La deriva puede depositar glifosato directamente sobre cuerpos de agua superficiales (ríos, lagos, quebradas, reservorios), afectando potencialmente la vida acuática y la calidad del agua para consumo humano o animal (Kanissery *et al.* 2019; Mesnage *et al.* 2022).

Exposición Humana y Animal

La deriva puede transportar el herbicida hacia áreas residenciales, escuelas o zonas de pastoreo. Esto aumenta el riesgo de exposición dérmica o por inhalación para las personas y animales que se encuentren en las inmediaciones durante o después de la aplicación. Si bien la toxicidad aguda del glifosato para mamíferos es relativamente baja comparada con otros pesticidas, la exposición crónica y los efectos de los coformulantes en las mezclas comerciales son objeto de debate y preocupación científica y pública.

Cobertura No Uniforme

Las aplicaciones aéreas pueden resultar en una distribución menos homogénea del producto sobre el área objetivo comparado con aplicaciones terrestres bien calibradas. Esto puede llevar a:

Eficacia Reducida

Zonas con subdosis pueden no controlar eficazmente las malezas objetivo.

Selección de Resistencia

La exposición repetida a dosis subletales es un factor que puede acelerar el desarrollo de resistencia al glifosato en las poblaciones de malezas.

Impacto en la Biodiversidad del Suelo

Aunque el glifosato es principalmente adsorbido por las partículas del suelo y luego degradado por microorganismos, aplicaciones aéreas masivas pueden significar una carga importante del herbicida sobre grandes extensiones de suelo. Existe investigación en curso sobre los posibles efectos del glifosato en las comunidades microbianas del suelo (bacterias, hongos, micorrizas) y en otros organismos edáficos (lombrices, etc.), que son cruciales para la salud y fertilidad del suelo (Kanissery *et al.* 2019; Mesnage *et al.* 2022).

Contaminación Ambiental Amplia

Por la escala en que se suelen usar, las aplicaciones aéreas contribuyen significativamente a la dispersión generalizada del glifosato y su principal metabolito (AMPA) en el ambiente (suelos, aguas superficiales y subterráneas, e incluso en la lluvia en algunas regiones), con implicaciones ecológicas a largo plazo que aún no se comprenden completamente (Mesnage *et al.* 2022).

Efectos a Nivel de Raíz

El glifosato interfiere con la absorción de nutrientes esenciales como calcio, magnesio, potasio y manganeso. Esto ocurre porque el glifosato puede formar quelatos con estos elementos, reduciendo su disponibilidad para la planta. Como resultado, las raíces presentan un crecimiento atrofiado y menor capacidad de desarrollo (Zobiolo *et al.* 2021).

El glifosato afecta el microbiota benéfico del suelo, como rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR). Estas bacterias desempeñan un papel clave en la solubilización de fósforo y

fijación de nitrógeno, procesos que son esenciales para la salud y crecimiento de las raíces (Shilva *et al.* 2020).

El glifosato puede inducir necrosis en las raíces al afectar los meristemos radiculares, lo que interrumpe la división celular y el desarrollo de nuevos tejidos (Gomes *et al.* 2019). Esto también afecta el transporte de agua y nutrientes hacia el resto de la planta.

Efectos a Nivel de Semilla

Las semillas expuestas a glifosato presentan una menor tasa de germinación debido al impacto directo sobre la membrana celular y la inhibición de la actividad enzimática necesaria para la germinación (Brunetti *et al.* 2022).

El glifosato provoca cambios en la conductividad eléctrica del agua que rodea a las semillas. Esto indica daño en las membranas celulares de las semillas, lo que puede llevar a una pérdida de viabilidad (Valencia, 2021).

Las semillas expuestas a glifosato muestran un menor crecimiento de radículas y plúmulas debido a la interrupción del metabolismo de aminoácidos esenciales, como el triptófano, que son fundamentales para el desarrollo inicial (Rodrigues *et al.* 2023).

Conflictos Sociales y Regulatorios

Dada la alta visibilidad y los riesgos asociados a la deriva, las aplicaciones aéreas de glifosato (especialmente en programas a gran escala como la erradicación de cultivos ilícitos en Colombia en el pasado) han generado intensos debates públicos, conflictos sociales y desafíos regulatorios en muchos países y regiones.

En el contexto del, una región de alta biodiversidad y con presencia de sistemas agroforestales, el efecto de la deriva desde aplicaciones aéreas (si ocurrieran en zonas aledañas a

tus sitios de estudio o de colecta de semillas) sobre la vegetación nativa y la potencial contaminación de semillas es un factor de riesgo ambiental sumamente relevante.

Prueba de Germinación y Emergencia.

Es difícil atribuir la metodología específica de germinación en rollos de papel húmedo a una *única persona* o proponente original. Más bien, se considera una metodología estandarizada y ampliamente adoptada que ha sido formalizada y refinada a lo largo del tiempo por organizaciones internacionales dedicadas a la estandarización del análisis de semillas.

Las entidades clave que establecen y documentan estas metodologías estándar son:

1. ISTA (International Seed Testing Association - Asociación Internacional de Análisis de Semillas): Las Reglas Internacionales de ISTA para el Análisis de Semillas son la referencia global más importante. Describen detalladamente diversos métodos de germinación aceptados, incluyendo el método "Entre Papel" (Between Paper - BP), que es exactamente lo que describes (semillas entre capas de papel filtro o secante humedecido, que luego a menudo se enrollan para ahorrar espacio y mantener la humedad). ISTA no atribuye este método a un inventor, sino que lo presenta como un procedimiento estandarizado para asegurar resultados comparables entre laboratorios (ISTA, 2024).
2. AOSA (Association of Official Seed Analysts - Asociación de Analistas Oficiales de Semillas): Principalmente en América del Norte, AOSA publica sus propias Reglas para el Análisis de Semillas, que también detallan métodos estandarizados, incluyendo la prueba de germinación entre papeles (a menudo llamada "rollos towel test" o prueba del rollo de toalla de papel). Al igual que ISTA, AOSA se enfoca en la estandarización del método más que en su origen histórico individual (AOSSA, 2016)

De manera similar a la metodología de rollos de papel, la prueba de germinación utilizando **arena (Sand - S)** como sustrato tampoco puede atribuirse a una única persona que la "propuso" originalmente.

Es una metodología que:

1. **Evolucionó de Prácticas Agrícolas y Hortícolas:** El uso de arena o mezclas de suelo/arena para sembrar y germinar semillas es una práctica muy antigua en agricultura y horticultura, aprovechando sus propiedades de buen drenaje y aireación.
2. **Fue Incorporada y Estandarizada por la Ciencia de Semillas:** A medida que se desarrollaba la disciplina del análisis de semillas, la arena fue reconocida como un sustrato útil y fue incorporada dentro de los métodos estandarizados para ciertos tipos de semillas o situaciones específicas.
3. **Formalizada por ISTA (2025) y AOSA (2025):** Al igual que con el papel, son las organizaciones como la **ISTA (International Seed Testing Association)** y la **AOSA (Association of Official Seed Analysts)** las que han **estandarizado y formalizado** el uso de la arena como sustrato para las pruebas oficiales de germinación.

En las Reglas de ISTA, por ejemplo, la arena se especifica como un sustrato válido (código **S** para "In Sand" o **TS** para "Top of Sand"). Las reglas detallan las características que debe tener la arena (pH neutro, libre de tóxicos, tamaño de partícula específico, esterilizada) y cómo debe prepararse y humedecerse para la prueba.

¿Por qué se usa arena?

- Proporciona buen soporte físico para las semillas.
- Asegura una buena aireación y drenaje, lo que puede ser beneficioso para semillas sensibles al exceso de humedad.

- Puede ayudar a reducir problemas con hongos en comparación con el papel en algunos casos.
- Es particularmente útil para semillas más grandes o para aquellas cuyas plántulas necesitan un sustrato más firme para desarrollarse adecuadamente durante la prueba.
- El método "Top of Sand" (TS) es útil para semillas que requieren luz para germinar.

No hay un proponente individual identificable para la metodología de germinación en arena en el contexto del análisis estandarizado de semillas. Es una **práctica adoptada y estandarizada por la comunidad científica**, y las referencias adecuadas para este método en tu investigación serían las **Reglas de ISTA** o **AOSA** (según el estándar que estés siguiendo), especificando que utilizaste el método de germinación en arena (S o TS) según lo prescrito por dicha entidad.

Prueba de Conductividad Eléctrica (CE)

Múltiples fuentes apuntan hacia trabajos realizados en el Reino Unido (RU), particularmente en la Universidad de Aberdeen (o instituciones asociadas como el Scottish Horticultural Research Institute). Los nombres Simón Matthews y W. T. Bradnock aparecen frecuentemente asociados con el desarrollo inicial y la validación de la prueba de CE, especialmente para *Pisum sativum* (guisantes/arvejas) a finales de la década de 1960 (Matthews, S., & Bradnock, W. T., 1967).

Especies agroforestales estudiadas

Zygia longifolia (Carbón)

Este árbol puede alcanzar de 6 a 25 metros de altura y crece en altitudes entre los 1.100 y 1.400 metros sobre el nivel del mar. Adicionalmente, crece en terrenos arenosos, franco-arenosos o limosos, generalmente se halla en bosques húmedos. Se caracteriza por ser una variedad arbórea cilíndrica y longeva. Sus ramas se despliegan desde baja altura. Las flores que produce con de color rosa o púrpura (en la Figura 3, se muestra el árbol de *Zygia longifolia*), sus legumbres aplanadas, curvadas con semillas negras, lisas y sin arilos. En materia de producción agrícola, este puede cumplir la función como cerca viva, sombra, además, es útil en cultivos mixtos; este igualmente contribuye a la restauración de los cauces fluviales y a la recuperación de los suelos (Weaver (1998)).

Es una especie que se distribuye desde México, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Las Guayanas, Perú y Venezuela (Sosa Vargas, 2018). Son árboles, que alcanzan un tamaño de hasta 5–15 m aprox. de alto, presenta ramas y tallos glabros, es decir que no presentan pelos o tricomas. Las hojas hasta 15 cm de largo, pinnas de 1.5 a 4.5 cm de largo, glabras; folíolos de 2 a 5 por pinna, angostamente elípticos, de 4 a 12 cm de largo y 1.5 a 4 cm de ancho, ápice y base agudos, glabros, nervadura eucamptódroma, nervio principal central; pecíolos hasta 5 mm de largo, glabros, con una glándula circular de 1.5 mm de diámetro entre el par de pinnas, estípulas triangulares, 2 mm de largo, estriadas, fugaces.

Inflorescencias en fascículos de 2 a 4 espigas caulifloras, pedúnculos poco desarrollados o hasta 5 mm de largo, glabros, espigas laxas hasta 4 cm de largo, bráctea floral triangular, 1.5 mm de largo, estriada, glabra, flores blanquecinas o rosadas especialmente hacia el ápice; cáliz tubular, 1 a 1.5 mm de largo, casi truncado, glabro; corola tubular, 5 mm de largo, 4 o 5-lobada

en 1/4 de su longitud, estriada; tubo estaminal exerto, 8 a 8.5 mm de largo; ovario 1.5 mm de largo, glabro, sésil; nectario intrastaminal ca 0.4 mm de largo. Fruto plano, hasta 28 a 32 cm de largo y 2 cm de ancho, curvo o ligeramente enrollado, dehiscente, las valvas cactáceas, glabras, café oscuras, márgenes no constrictos, rara vez sinuados, algunas veces con estípites hasta 5 mm de largo (en la Figura 4, se observan los frutos de *Zygia longifolia*); semillas 15 a 17 por vaina (en la Figura 5, se visualizan las semillas de *Zygia longifolia*), ampliamente elípticas, 14 mm de largo, 12 mm de ancho y 4 mm de grueso aprox. (Weaver (1998)).

Es una especie común, en bosques hidrófitos y de galería, en las zonas atlántica y pacífica; a una altitud de 10–600 msnm; encontrándose ampliamente distribuida desde el sureste de México a Sudamérica (Amazonia) (Weaver (1998)). La mayor parte de las especies que pertenecen a este género tienen como preferencia ecosistemas inundables o cercanos a los cuerpos de agua, muchas de estas forman parte del bosque ripario, zonas estuarinas u ecosistemas lacustres, su distribución altitudinal es variable. Pero cerca del 50% de las especies que conforman este género se encuentran desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm de altitud, el resto de las especies se distribuye en un rango altitudinal más amplio que incluso puede llegar hasta los 2600 msnm como es el caso de algunas especies como por ejemplo *Zygia ocumarensis* (Valencia, 2021).

Su uso frente a la recuperación de áreas degradadas es muy útil en materia ecológica por restaurar los cauces fluviales. Al ser una especie fijadora de nitrógeno, contribuye en la recuperación de suelos. Su madera sirve igualmente en las unidades productivas ganaderas para establecer postes, cercas para los corrales del ganado, agentes de sombra, cercas vivas y también en cultivos mixtos (Weaver (1998)).

Por otro lado, en un estudio de ornitofilia (polinización por aves) que se atribuyen

principalmente a los *Trochiloidaes* (colibríes) afirman que al inicio de la floración de *Zygia longifolia* en Costa Rica, se empezó a observar una mayor llegada de aves, donde se realizaron observaciones sobre el comportamiento y su distribución ecológica (Arias-Campos, 2015).

Figura 3

Fotografía del árbol de (*Zygia longifolia*).



Nota. Fotografía del árbol de Carbón (*Zygia longifolia*), pertenece al catálogo virtual de flora del valle de Aburrá.

Fuente: (Weaver (1998)).

Figura 4

Fotografía de los frutos de (*Zygia ocumarensis*)



Nota. Pertenece al catálogo virtual de flora del valle de Aburrá.

Fuente. Arias-campos (2015)

Figura 5

Fotografía de las semillas de (*Zygia ocumarensis*)



Nota. Fotografía de las semillas de Carbon (*Zygia ocumarensis*)

Fuente. Autoría propia (2024)

***Guarea guidonia* (Bilibil)**

Árbol maderable ampliamente distribuido en las tierras húmedas, de hasta 30 m de alto, con corteza fisurada, café con tintes rojizos, grandes hojas compuestas por 4 a 14 pares de folíolos opuestos y elípticos, florecitas blancas o amarillentas, dispuestas en racimos piramidales que nacen entre las hojas, y frutos globosos, rojizos con tintes cafés, que se abren en 4 valvas cuando maduros. Cada valva contiene una semilla rodeada por una pulpa naranja. La madera de color rojo oscuro se usa para hacer pilones y tallas (Bernal (2012))

Esta especie es común en bosques tropicales y subtropicales. Se encuentra en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, India y todo el espectro que ocurre desde la latitud 22° N hasta un poco más allá de los 25° S (Weaver, 1988). Es un árbol que alcanza los 25 m de altura y 80 cm de diámetro. Tronco recto y cilíndrico, con raíces tablares bajas y redondas, Ramas densamente pubescentes, crecen de manera horizontal a oblicua, con lenticelas, cuando jóvenes glabras. Copa sub globosa, algunas veces irregular, siempre verde (en la Figura 6, se presenta el árbol de *Guarea guidonia*). Corteza externa fisurada, entrelazada y escamosa color marrón con lenticelas. Corteza interna rosada y amarga, largo, con una yema terminal conspicua

similar a una mano cerrada, paripinnadas, foliolos opuestos, hasta 14 pares, de forma elíptica a oblongo u oblongo-lanceolados de 10 x 5 cm, ápice acuminado o atenuado, base aguda o cuneada, margen entero, de textura coriácea, glabros, venas secundarias paralelas, conspicuas por envés y con pubescencia inconspicua. Inflorescencias axilares, cortas, generalmente desarrolladas en axilas de hojas caídas, flores blancas, pequeñas, subsésiles, cáliz de 2 mm de largo, pétalos 4-5 ligeramente imbricados, de 5 mm de largo. Frutos en cápsulas globosas a sub globosas, con tres valvas de color marrón-rojizo, internamente Macro 1 cm Macro detallado 2 mm Micro Características macroscópicas: Albura de color amarillo Transversal 500 um 2,5 Y 8/6 y duramen de color café muy pálido (en la Figura 7, se observan los frutos de *Guarea guidonia*). 10 YR 7/3, transición abrupta entre de albura a duramen. Olor y sabor no distintivo. Textura heterogénea. Grano recto. Lustre mediano a alto. Madera medianamente pesada. Anillos de crecimiento visibles a simple vista, definidos por ausencia de poros. Poros visibles a simple vista. Parénquima longitudinal visible a simple vista con lupa de 10x. Radios visibles con lupa de 10x Diseño claramente diferenciable, rayado marcado por contraste de tejidos. Características microscópicas: Porosidad difusa. Poros Radial 2 mm de color blanco, con lenticelas, dehiscente, con 1 a 3 semillas rojas brillante, de 1 cm de largo por 0,5 cm de ancho, presentan arilo blanco (Bernal *et al.*, 2014). En la Figura 8, se muestran las semillas de *Guarea guidonia*.

Entre los usos más comunes se presenta en la utilización de maderas, por su dureza. Sin embargo, esta especie tiene alto potencial medicinal, es una especie por de la cual se puede aprovechar todo, desde las hojas hasta la raíz y desde el tallo hasta su corteza (Bernal, *et al.* 2014). También, tiene importancia ecología, debido a sus frutos servir como alimento de fauna por las aves y es promotor de corredores ecológicos, determinando además por su porte y potencial para procesos de restauración, protección de márgenes hídricos y empleado como

sombrío (Bernal *et al.*, 2014)).

Figura 6.

Fotografía del árbol de (*Guarea guidonia*)



Nota. Fotografía del árbol de *Guarea guidonia*

Fuente: Bernal *et al.* (2014)

Figura 7

Fotografía de los frutos de Bilibil (*Guarea guidonia*)



Nota. Subida por Alex Ennis en el 2024, algunos derechos reservados (CC BY-NC).

Fuente. <https://www.inaturalist.org/photos/354459669>

Figura 8

Fotografía de las semillas de Bilibil (*Guarea guidonia*)



Nota. Fotografía de las semillas de *Guarea guidonia*

Fuente. <https://panamabiota.org/stri/taxa/index.php?taxon=65157&clid=64>

***Inga sp* (Guamo)**

Especie de porte arbóreo que en condiciones óptimas puede alcanzar hasta los 30 m de altura. Posee hojas compuestas, paripinnadas, de color verde oscuro, ausentes de brillo. El raquis de la hoja es alado y en cada inserción presenta glándulas en forma de cráter (en la Figura 9, se presenta el árbol de *Inga sp*). Flores blancas dispuestas en inflorescencias de espiga, fruto en legumbre de gran longitud que contiene varias semillas cubiertas por una pulpa carnosa de color blanca que es comestible (Bernal *et al.* 2018).

Es una especie muy importante en procesos de restauración por dos razones: la primera es que resulta muy atractiva para la fauna dispersora y polinizadora, un aspecto de gran importancia en todo proceso de restauración; la segunda, es que con sus raíces estabiliza el suelo y mejora las características edáficas para facilitar la adaptación de las demás especies (Bernal *et al.* 2012).

El género *Inga* se caracteriza por ser árboles o árboles jóvenes, indefensos, de ramas cilíndricas o estriadas; hojas pinnadas, paripinnadas, 2-multifoliadas; nectarios de hojas presentes en el raquis entre los folíolos; apéndice terminal generalmente presente; raquis de las hojas generalmente alado, rara vez con márgenes o sin alas; folíolos simétricos, opuestos, nervadura principal central; inflorescencia en racimos, capituliformes, espiciformes o en umbelas, axilares o terminales; flores sésiles o pediceladas, 5-7 meras, homomórficas; cáliz valvular, lacinia regular o irregular; corola de la válvula, lacinia regular; androceo con más de diez estambres, filamentos congestionados en tubo estaminal exerido o incluido, anteras sin glándulas; gineceo unicarpelar o pluricarpelar y dialicarpelar; legumbre de fruto (en la Figura 10, se observan los frutos de *Inga sp*), indehiscente o dehiscente tardía, polispérmica, caras abiertas o cubiertas por los márgenes, márgenes estrechos o gruesos, con o sin estrías longitudinales, coriáceas, papiráceas o leñosas; semillas con sarcotesta carnosa, dulce, comestible, pleurograma ausente (En la Figura 11, se muestran las semillas de *Inga sp* antes de su exposición a los tratamientos) (Bernal *et al.* 2012).

El género *Inga*, es una de las más grandes de la subfamilia Mimosoideae (Leguminosae) con unas 300 especies. Tiene una distribución Neotropical con centro de diversidad en Brasil, representado por 131 especies, seguido de Perú con 92 especies, Colombia con 76 especies y Ecuador con 75 especies (Bernal *et al.* 2012).

Las especies del género *Inga* son ampliamente utilizadas como alimento debido a que la masa blanca azucarada (sarcotesta) que envuelve el embrión es muy apreciada por las personas y también por los animales salvajes; también es importante en la recuperación de áreas degradadas por la fijación de nitrógeno en el suelo (Bernal *et al.* 2012).

Recientemente Kinupp & Lorenzi (2014) presentaron una guía sobre identificación,

aspectos nutricionales y recetas ilustradas para plantas alimenticias no convencionales (PANC) en Brasil e incluyeron *Inga edulis* conocido popularmente como ingá de metro, ingá cipo, ingá macarrones, ingá doce y también como ingá rabo de mico, donde citan recetas elaboradas con el embrión o con la masa azucarada de la semilla, como torta, jalea y cremas.

Figura 9

Fotografía del árbol de (*Inga sp*)



Nota. Fotografía del árbol de Guamo (*Inga sp*)

Fuente. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/inga-edulis/?lang=es>

Figura 10

Fotografía de los frutos de (*Inga sp*)



Nota. Fotografía del fruto de Guamo (*Inga sp*), tomada desde la página ArgentiNat.

Fuente. <https://www.argentinat.org/observations/208147122>

Figura 11

Fotografía de las semillas de Guamo (*Inga sp*)



Nota. Fotografía de las semillas de Guamo (*Inga sp*)

Fuente. Autoría propia (2024)

Antecedentes

Yanniccari *et al.* (2012), en su trabajo escrito realizaron un estudio con el objetivo de evaluar los efectos del ingrediente activo glifosato en el crecimiento y acumulación de azúcares libres en *Lolium perenne* tanto de baja y alta sensibilidad frente a dicho herbicida. En cuanto a su metodología se realizó el estudio con clones de dos tipos de plata los cuales fueron tratados con 1.440 g e.a. ha⁻¹ de glifosato y tratamiento sin la aplicación del herbicida donde se evaluaron constantemente en rebrotes de hojas hasta las 50 horas después de la aplicación. Se obtuvo como resultado que después de las 25 horas después de dicha aplicación, el glifosato provocó una disminución en el crecimiento de hasta un 58% con una concentración de azúcares acumulados hasta del 90%. Por ende, se concluye que la acumulación de Azúcares libres en las hojas provoca la caída en la tasa de crecimiento de la planta.

Rivera (2018), realizó su tesis de grado con el objetivo de saber si el herbicida el cual contiene glifosato influye en la actividad microbiana del suelo en cultivos de café, en cuanto a su metodología utilizaron bloques completamente al azar en donde realizaron 4 parcelas de 12 plantas a las que a cada se les agrego 3 dosis de diferente concentración y una sin la aplicación dicho herbicida. En un plazo de 30 días realizaron la toma de muestras donde en su totalidad fueron 8, las cuales posteriormente fueron llevadas a laboratorio. Los resultados demostraron bajas cantidades de actinomicetos y sobre todo pocas bacterias fijadoras de nitrógeno. Dicho lo anterior, en las plantas que se les aplicó el glifosato, se pudo observar que este no afectó directamente la cantidad de microorganismos, pero si afectó de manera indirecta la realización de sus principales funciones pues esto hizo que las plantas no se desarrollarán y/o ejecutarán actividades fundamentales para su crecimiento y desarrollo.

Tofiño *et al.* (2019) en su tesis desarrolló un estudio con la finalidad de evaluar el efecto del glifosato sobre la fertilidad química y actividad microbiológica del suelo, en donde de igual manera su residualidad en la semilla de frijol biofortificado el cual se cultivó en el departamento del Cesar - Colombia. Dicho estudio se realizó bajo una metodología de análisis en cuanto a los indicadores de calidad suelo, así como el rendimiento de dicho cultivo y la residualidad del ingrediente activo en los granos de frijol pues los tratamientos fueron evaluación de tal manera que se les realizó la aplicación o no de glifosato i.a. en coberturas tanto sintéticas como naturales obteniendo como resultado que la aplicación de glifosato i.a. en suelo sintético presentó una disminución en su rendimiento del 29%. Por otro lado, en ninguno de los tratamientos a los que se les agregó glifosato se observó residualidad en semillas.

Puga B, C, C., (2016), realizó un estudio donde su objetivo era determinar el efecto de diferentes concentraciones de ingrediente activo glifosato sobre la germinación, el crecimiento y la capacidad antagonista de especies nativas de *Trichoderma harzianum* en condiciones de laboratorio. En cuanto a su metodología, esta se realizó con dos concentraciones de glifosato i.a. (4800 ppm y 1440 ppm), además del control (0 ppm.) y tres ensayos para cada una de las concentraciones. Se obtiene como resultado final que el glifosato redujo la germinación media, así como la tasa media de crecimiento de *Trichoderma harzianum* FP 01 y *Trichoderma* FP 02 en concentraciones de 4800 ppm y 14400 ppm. En cuanto a la capacidad antagonista, el glifosato no afecta la patogenicidad de *Trichoderma harzianum* FP 01 y *Trichoderma harzianum* FP 02 a una concentración de 4800 ppm, ya que tienen un efecto antagonista tipo 2 sobre el crecimiento de *Botritis sp.*

Armbrecht *et al.* (2021), realizaron este estudio con el objetivo de identificar la morfología y descripción tanto de sus partes como de los procesos en el ciclo de vida de la planta de guamo. Este estudio lo realizo con base a artículos e investigaciones anteriores con el sintetizar dicha información. Se obtuvo como resultado un documento en el cual realizo la descripción de la planta, germinación, factores ambientales, siembra, descripción de su semilla, su importancia, etc.

Ruiz *et al.* (2018), realizaron un documento con el fin de adjuntar y sintetizar información con base a las condiciones agro-edafológicas requeridas por la planta de bilibil. Dicho lo anterior, se lleva a cabo un trabajo basado en artículos y estudios previamente publicados donde se tuvo como resultado un documento en donde se plasmaron aquellos requerimientos necesarios para su desarrollo adecuado, así como su habitad, clima, suelo, topografía, genética y ciclo vital lo cual es de gran importancia para su expansión y/o cuidado de la especie anteriormente mencionada.

Calderón, I., Vera, F., y Hernández, L.J., (2019), realizaron este estudio con el fin de identificar posibles afectaciones en la salud humana por exposición a este herbicida el cual su activo principal es el glifosato i.a, en donde como metodología se realizó una búsqueda exhaustiva de distintas investigaciones y/o artículos literarios los cuales comprendían un tiempo intermedio entre el año 2007 al 2017. Como resultado se encontraron reportes donde efectivamente el glifosato afecta la salud provocando enfermedades como: pancreatitis, necrólisis epidérmica y daño renal.

Dicho lo anterior podemos concluir que este herbicida afecta no solo a la germinación crecimiento y desarrollo de las plantas sino también a la salud humana.

Metodología

La presente investigación aborda el paradigma empírico analítico, las técnicas utilizadas para la toma de la información fueron mixtas, tanto cualitativas como cuantitativas pues se obtuvieron datos en cuanto a la cantidad de semillas germinadas por día y cualitativas obtenidos en la descripción de cualidades físicas de la germinación de las semillas. Para el análisis de la información se utilizó un nivel descriptivo, los datos recolectados en campo se analizaron cuantitativamente con ayuda del Programa estadístico SPS; con los promedios de los datos obtenidos de cada variable se construyeron las tablas y graficas con los resultados de cada uno de los materiales vegetales estudiados.

Área de Estudio

Este estudio de investigación se llevó a cabo bajo condiciones controladas en el laboratorio multipropósito de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), CEAD Florencia.

Enfoque Investigativo

Este estudio ofrece un enfoque cuantitativo empírico analítico. Los enfoques cuantitativos utilizan la recopilación y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis, y se basan en mediciones numéricas, números y, a menudo, estadísticas para identificar patrones de comportamiento en las poblaciones.

Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Germinación de Tres Especies Agroforestales Mediante la Prueba de Laboratorio de Rollo de Papel

Preparación de las Semillas y los Tratamientos

Después de la temporada de cosecha de cada una de las especies, se tomaron los frutos y se depositaron en las bolsas de papel y se enviaron al laboratorio, donde las semillas se procesaron manualmente para eliminar las semillas sin formar o con malformaciones.

Los restos de minerales y desechos orgánicos se eliminaron y se enjuagaron con agua corriente, seguido de una inmersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% para la desinfección de hongos durante un minuto.

El tratamiento en cada ensayo consistió en dosis iguales de 0, 1.8, 3.6, 5.4 y 7.2 g.L⁻¹ de activo equivalente con La formulación original del producto comercial contiene 480 g.L⁻¹ de sal isopropilamina de N-(fosfometil) glicina, 360 g.L⁻¹ equivalente ácido (e.a.) de N-(fosfometil) glicina (glifosato) y 648 g.L⁻¹ de componentes inertes (en la Figura 12, se evidencia el proceso de preparación de los tratamientos con diferentes concentraciones de glifosato i.a., mientras que en la Figura 13, se ilustran los cinco tratamientos establecidos con dosis de glifosato i.a. de 0,0 a 7,2 g/L). Dosis media de 3,6 g.L⁻¹. cumplió con la recomendación técnica de 2.5 L Ha⁻¹ para la mayoría de las plantas de arvenses. Las semillas fueron sumergidas en las soluciones durante 30 minutos (en la Figura 14, se muestra la inmersión de semillas de *Guarea guidonia* en las soluciones de glifosato i.a. y el testigo, en la Figura 15, se observa la aplicación de los tratamientos a las semillas de *Zygia longifolia* con glifosato i.a.).

Las semillas para la germinación se esparcieron en dos hojas, se cubrieron con una tercera hoja y se dispusieron en rollos húmedos con una proporción de agua de 2,5 veces el peso del papel seco (En la Figura 16, se presenta la disposición de las semillas de *Zygia longifolia* sobre el rollo de papel para el ensayo de germinación) (En la Figura 17, se muestra el montaje del rollo de papel con semillas de *Zygia longifolia* para su incubación). Luego, los rollos se envolvieron en bolsas de plástico y se colocaron en un mostrador a una temperatura controlada

de 28°C. La germinación fue monitoreada diariamente y aquellas semillas que se observaron que produjeron raíces primarias fueron consideradas como germinadas (Curiel & Moraes, 2011). El conteo de los primeros brotes se hizo junto con el control de brotes, donde el porcentaje de plántulas normales se calculó a los 7 días después de la siembra y el conteo de brotes a los 14 días después de la siembra (Brasilia, 2013) (En la Figura 18, se evidencia la germinación de semillas de *Zygia longifolia* tratadas con glifosato i.a.). Se evaluó el porcentaje de semillas no germinadas (NG), índice de germinación (IvG), tiempo medio de germinación (TMG) y tasa de germinación media de VmG (Brasilia, 2013).

Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con bloques aleatorios, en el que cada unidad experimental consistió en 25 semillas por tratamiento. Se aplicaron diferentes niveles del factor e se pretende generar información científica que contribuya a comprender los efectos del uso intensivo de este herbicida n estudio, con 4 repeticiones por tratamiento, para un total de 500 semillas por especie.

Análisis Estadístico.

Las pruebas fueron sometidas para la prueba de Shapiro-Wilk, y de esta forma verifique el análisis de varianza, después de probar la homogeneidad y la normalidad, los datos de los experimentos repetidos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias estadísticas entre las réplicas experimentales; de igual manera, para las variables con diferencias significativas debido a los efectos del tratamiento, los datos se sometieron a análisis de regresión. La calidad del análisis de regresión se evaluó en función del coeficiente de

determinación (R^2). Las medias fueron separadas por la prueba HSD de Tukey ($\alpha = 0.05$). Los datos se analizaron utilizando el paquete de software R "Agricolae".

Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Emergencia de las Plántulas de Tres Especies Agroforestales en Sustrato Arena.

Preparación de las Semillas y los Tratamientos

Se aplicó el mismo protocolo de preparación y tratamiento con glifosato i.a. utilizado en las evaluaciones anteriores.

Prueba de Emergencia.

La siembra se realizó manualmente en bandejas de plástico (40 x 26 x 7 cm) que contenían arena a una profundidad de 4 cm. Las semillas se distribuyeron en hileras. Los experimentos se realizaron a una temperatura controlada de 28°C, luz natural y se humedeció la arena al 60% de su capacidad de retención, con aplicación manual. Se observaron todos los días desde el primer día después de la siembra y conté la cantidad de plántulas que habían surgido en cada fila (En la Figura 19, se observa la emergencia de plántulas de *Inga sp* en sustrato arena tratamiento 1 (testigo)), (En la Figura 20, se visualiza la emergencia de plántulas de *Guarea guidonia* en sustrato arena). El Índice de Tasa de Emergencia (IVE) se determinó dividiendo el número de plántulas normal que emergían por día entre el número de días entre la siembra y la emergencia, Maguire (1962). También se evaluó el porcentaje de germinación (N7D y N25D respectivamente), el porcentaje de no germinación (NG), el índice de tasa de urgencia (IvE) y (Brasilia, 2013). Después de la observación, se midió con una balanza la longitud de los tallos (parte aérea) y las raíces de las plántulas normales. Inmediatamente envolví las partes aéreas y

raíces en bolsas de papel, las coloque en un horno de aire forzado, almacene a 55 °C hasta peso constante y pese con precisión el material en una balanza de 0,001 g. (Bento *et al.* 2010).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico.

Se utilizó el mismo diseño experimental y procedimiento estadístico descrito en los objetivos anteriores.

Efectos Fisiológicos de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la Conductividad Eléctrica de Semillas de Tres Especies Agroforestales

Preparación de las Semillas y los Tratamientos

Se aplicó el mismo protocolo de preparación y tratamiento con glifosato i.a. utilizado en las evaluaciones anteriores.

Prueba de Conductividad Eléctrica.

Después de sumergir las semillas durante 30 minutos en los tratamientos, se pusieron en 75 ml de agua desionizada. Después de 3h y 24h, se determinó la conductividad eléctrica de la solución con ayuda de conductímetro Digimed MD-31 (Dutra & Viera, 2006).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico.

Se utilizó el mismo diseño experimental y procedimiento estadístico descrito en los objetivos anteriores.

Figura 12

Preparación de los cinco tratamientos con cantidades las diferentes de glifosato



Nota. Se evidencia la preparación de los tratamientos en donde a cada una de las concentraciones de glifosato se les agregó la cantidad de agua acordada.

Fuente. Autoría propia.

Figura 13

Tratamientos: T1: 0, T2: 1,8, T3: 3,6, T4: 5,4, T5: 7,2 g/L



Nota. La imagen presenta los cinco tratamientos con las siguientes dosis de glifosato i.a.: T1: 0 g/L, T2: 1,8 g/L, T3: 3,6 g/L, T4: 5,4 g/L y T5: 7,2 g/L. Los tratamientos han sido preparados y están listos para su implementación en el estudio.

Fuente. Autoría propia.

Figura 14

Semillas de Guarea guidonia introducidas en las dosis de glifosato i.a. y dosis testigo.



Nota. Se observa cómo la investigadora introduce las semillas de *Guarea guidonia* en los cinco tratamientos, los cuales incluyen dosis crecientes de glifosato i.a. y una dosis testigo.

Fuente. Autoría propia.

Figura 15

Semillas de Zygia longifolia sometidas a las dosis de glifosato i.a. y dosis testigo.



Nota. Se observa que las semillas de *Zygia longifolia* han sido sumergidas en los cinco tratamientos, que incluyen dosis crecientes de glifosato i.a. y una dosis testigo, durante un periodo de 30 minutos.

Fuente. Autoría propia.

Figura 16

Semillas de Zygia longifolia depositadas en rollo de papel



Nota. Se evidencia cómo se depositan las semillas de *Zygia longifolia* sobre el rollo de papel de germinación. Cada hoja se sumerge en agua, luego se coloca en una bandeja y se distribuyen 25 semillas por repetición, 4 repeticiones por tratamiento, posteriormente, se cubren con otra hoja de germinación previamente humedecida.

Fuente. Autoría propia.

Figura 17

Semillas de Zygia longifolia en el papel de germinación.



Nota. Se evidencia cómo se confecciona el rollo de papel de germinación para las semillas de *Zygia longifolia*. Las semillas se colocan sobre el papel, se enrolla cuidadosamente y luego se guardan en bolsas plásticas previamente desinfectadas con alcohol, asegurando así condiciones adecuadas para la germinación y protección contra contaminantes externos.

Fuente. Autoría propia.

Figura 18

Germinación de las semillas de Zygia longifolia en rollo de papel.



Nota. Se evidencia la germinación de las semillas de *Zygia longifolia* en el rollo de papel del tratamiento 3 dosis (3,6 glifosato), repetición 4, donde las semillas han sido expuestas a una dosis intermedia de glifosato.

Fuente. Autoría propia.

Figura 19

Emergencia de semillas de Inga sp en arena.



Nota. Se evidencia la emergencia de las semillas de *Inga sp* del tratamiento 1 (testigo), el cual fue el único en el que se observó la emergencia de plantas.

Fuente. Autoría propia.

Figura 20

Emergencia de semillas de Guarea guidonia en arena



Nota. Se evidencia la emergencia de las semillas de *Guarea guidonia* en arena de los tratamientos T1 (testigo), T2 y T3, los cuales fueron los únicos en los que se observó la emergencia de plantas.

Fuente. Autoría propia.

Resultados

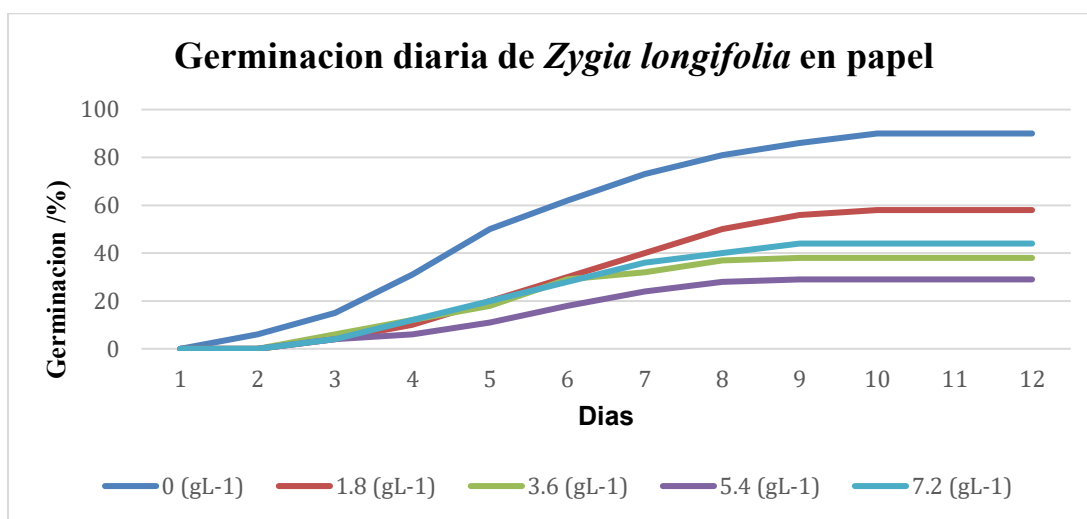
Efecto de Concentraciones Incrementales de Ingrediente Activo Glifosato Sobre la Germinación de Tres Especies Agroforestales Mediante la Prueba de Laboratorio de Rollo de Papel de Papel

Carbón (Zygia longifolia)

Los resultados obtenidos de los tratamientos con semillas de *Zygia longifolia* mediante dosis crecientes de ingrediente activo glifosato describen el efecto herbicida de esta molécula en las semillas evaluadas en experimentos realizados sobre sustratos de rollos de papel. En la Figura 21, se puede apreciar de la germinación diaria de *Zygia longifolia* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Figura 21

Germinación diaria de Zygia longifolia en rollo de papel



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Zygia longifolia* en rollo de papel.

Fuente. Autoría propia.

En el análisis estadístico del ensayo utilizando el sustrato de rollo de papel, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para las variables **tiempo medio de germinación** (TMG; $p = 0,1379$) y **velocidad media de germinación** (VMG; $p = 0,0979$), según la prueba de Tukey. En contraste, para la variable **primer conteo** ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Glifosato presentó el mayor porcentaje de germinación (81,00 %), diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. De igual manera, en la variable **germinación total** ($p < 0,001$), este mismo tratamiento ($0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) obtuvo el valor más alto (90,00 %), destacándose entre los tratamientos evaluados. Por último, para el **índice de velocidad de emergencia** (IVE; $p < 0,001$), el tratamiento sin aplicación de Glifosato ($0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) alcanzó un valor de 22,71, siendo estadísticamente superior al resto. En la Tabla 1, se resumen los resultados del análisis estadístico para *Zygia longifolia* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Tabla 1

Resultados promedio prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Zygia longifolia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (rollo de papel).

| Sustrato en rollo de papel | | | | | |
|---|------------------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Dosis ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) | Variables (prueba de Tukey) | | | | |
| | P.C | G | Ive | TMG | VMG |
| | Primer conteo | Germinación | Índice de variable de emergencia | de Tiempo medio de germinación | Velocidad media de emergencia |
| 0.0 | 81.0000 c | 90.0000 c | 22.7175 b | 8.4675 a | 0.1200 a |
| 1.8 | 50.0000 b | 58.0000 b | 11.7300 a | 8.9200 a | 0.1100 a |
| 3.6 | 37.0000 ab | 38.0000 ab | 9.3200 a | 8.5525 a | 0.1175 a |
| 5.4 | 28.0000 a | 29.0000 a | 6.5325 a | 8.8525 a | 0.1125 a |

| | | | | | |
|-----|------------|-----------|----------|----------|----------|
| 7.2 | 30.0000 ab | 32.0000 a | 7.3150 a | 8.7375 a | 0.1125 a |
| DMS | 20,3647 | 22,977 | 5,4191 | 0,5797 | 0,0116 |
| CV% | 20.63 | 21.30 | 21.53 | 3.05 | 4.65 |

Nota. Se muestran los resultados promedio de las variables evaluadas bajo la prueba estadística ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey para semillas de *Zygia longifolia* tratadas con diferentes concentraciones de glifosato en un sustrato de rollo de papel.

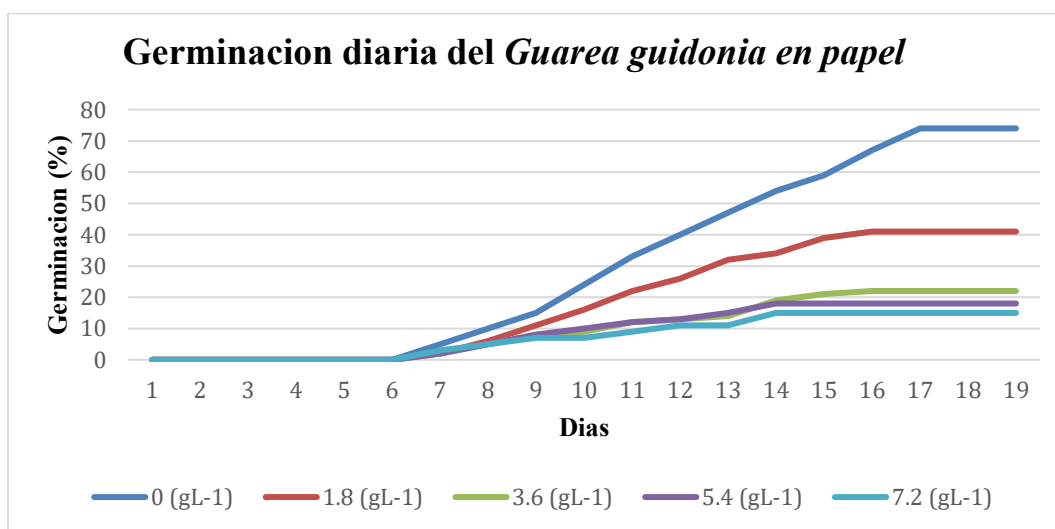
Fuente. Autoría propia.

Bilibil (Guarea guidonia)

El efecto herbicida de las dosis crecientes de ingrediente activo glifosato en semillas de *Guarea guidonia* fue evaluado en experimentos realizados en sustratos de rollo de papel, lo que permitió verificar el impacto de esta molécula en las semillas analizadas. En la Figura 22, se representa la germinación diaria de *Guarea guidonia* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Figura 22

Germinación diaria del *Guarea guidona* en rollo de papel.



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Guarea guidonia* en rollo de papel.

Fuente. Autoría propia.

En el análisis estadístico del ensayo utilizando el sustrato de rollo de papel, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para la **variable tiempo medio de germinación** (TMG; $p = 0,0110$), donde el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Glifosato presentó el mejor resultado, con un valor de 14,29. En contraste, para la variable **velocidad media de germinación** (VMG; $p = 0,0001$), no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos según la prueba de Tukey. Para la variable **primer conteo** ($p = 0,0018$), el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ se destacó con el mayor porcentaje de germinación (24,00 %), diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. De igual manera, en la variable **germinación total** ($p < 0,001$), este mismo tratamiento ($0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$) obtuvo el valor más alto (74,00 %), destacándose entre los tratamientos evaluados. Por último, para el **índice de velocidad de emergencia** (IVE; $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ presentó un valor de 10,07, siendo diferente de los demás tratamientos. En la Tabla 2, se presentan los datos promedio y diferencias estadísticas para *Guarea guidonia* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Tabla 2

Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Guarea gidonia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (rollo de papel).

| Sustrato en rollo de papel | | | | | |
|--|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Dosis ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) | Variables (prueba de Tukey) | | | | |
| | P.C | G | Ive | TMG | VMG |
| | Primer conteo | Germinación | Índice variable de emergencia | de Tiempo medio de germinación | Velocidad media de emergencia |

| | | | | | |
|------------|------------|-----------|-----------|------------|----------|
| 0.0 | 24.0000 b | 74.0000 c | 10.0775 c | 14.9900 b | 0.0700 a |
| 1.8 | 16.0000 ab | 41.0000 b | 6.2300 b | 14.8050 ab | 0.0700 a |
| 3.6 | 9.0000 a | 22.0000 a | 3.4400 ab | 14.6325 ab | 0.0700 a |
| 5.4 | 10.0000 a | 18.0000 a | 3.1875 a | 14.3400 a | 0.0700 a |
| 7.2 | 7.0000 a | 15.0000 a | 2.6550 a | 14.2525 a | 0.0700 a |
| DMS | 11,1638 | 16,6532 | 2,8443 | 0,6191 | 0 |
| CV% | 38.73 | 22.43 | 25.44 | 1.94 | 0.00 |

Nota. Se muestran los resultados promedio de las variables evaluadas bajo la prueba estadística

ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey para semillas de *Guarea gidonia* tratadas con diferentes concentraciones de glifosato en un sustrato de rollo de papel.

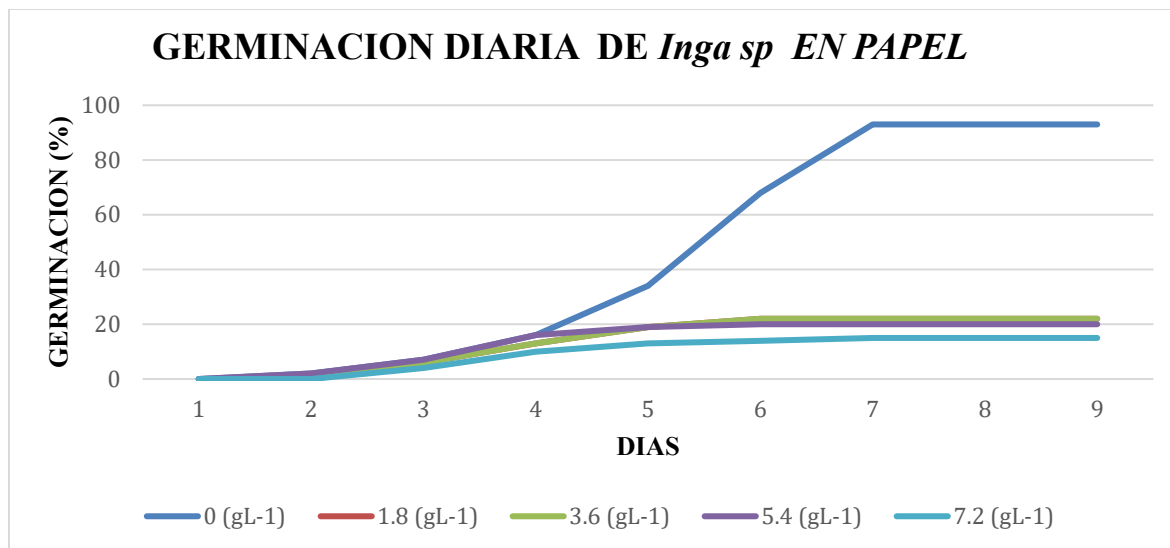
Fuente. Autoría propia.

Guamo (Inga sp)

El efecto herbicida de las dosis crecientes de glifosato en semillas de *Inga sp*. Fue evaluado en experimentos realizados sobre sustrato de rollos de papel, permitiendo verificar su impacto en las semillas analizadas. En la Figura 23, se observa la germinación diaria de *Inga sp* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Figura 23

Germinación diaria de Inga sp en rollo de papel.



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Inga sp* en rollo de papel.

Fuente. Autoría propia.

En el análisis estadístico del ensayo utilizando el sustrato de rollo de papel, se observaron diferencias estadísticamente significativas para la variable **tiempo medio de germinación** (TMG; $p < 0,001$), donde el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Glifosato obtuvo el mejor resultado, con un valor de 7,15, destacándose de los demás tratamientos. En la variable **velocidad media de germinación** (VMG; $p = 0,0001$), también se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos según la prueba de Tukey, siendo el tratamiento con $7,6 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ el que alcanzó el mejor valor (0,16). En contraste, para la variable **primer conteo** ($p = 0,1439$), no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a la variable **germinación total** ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ presentó el mayor porcentaje de germinación (93,00 %), diferenciándose de los demás tratamientos. Finalmente, para el **índice de velocidad de emergencia** (IVE; $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ alcanzó un valor de 15,17, siendo diferente de los demás tratamientos. En la Tabla 3, se describen los resultados del comportamiento germinativo de *Inga sp* en rollo de papel bajo tratamientos con glifosato i.a.

Tabla 3

Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Inga sp tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (rollo de papel).

| Sustrato en rollo de papel | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Dosis (gL⁻¹) | Variables (prueba de Tukey) | | | | |
| | P.C | G | Ive | TMG | VMG |
| | Primer conteo | Germinación | Índice variable de emergencia | de Tiempo medio de germinación | Velocidad media de emergencia |
| 0.0 | 16.0000 a | 93.0000 b | 15.1775 b | 7.1575 b | 0.1400 a |
| 1.8 | 13.0000 a | 22.0000 a | 5.2650 a | 6.5500 a | 0.1525 b |
| 3.6 | 16.0000 a | 20.0000 a | 5.5125 a | 6.3375 a | 0.1575 bc |
| 5.4 | 10.0000 a | 15.0000 a | 3.6150 a | 6.5225 a | 0.1525 b |
| 7.2 | 10.0000 a | 12.0000 a | 3.5600 a | 6.1675 a | 0.1625 c |
| DMS | 9,2322 | 10,2135 | 3,2281 | 0,4435 | 0,0097 |
| CV% | 32.51 | 14.43 | 22.31 | 3.10 | 2.92 |

Nota. Se muestran los resultados promedio de las variables evaluadas bajo la prueba estadística ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey para semillas de *Inga sp*. Tratadas con diferentes concentraciones de glifosato en un sustrato de rollo de papel.

Fuente. Autoría propia.

Efecto de Concentraciones Incrementales de Glifosato Ingrediente Activo Sobre la

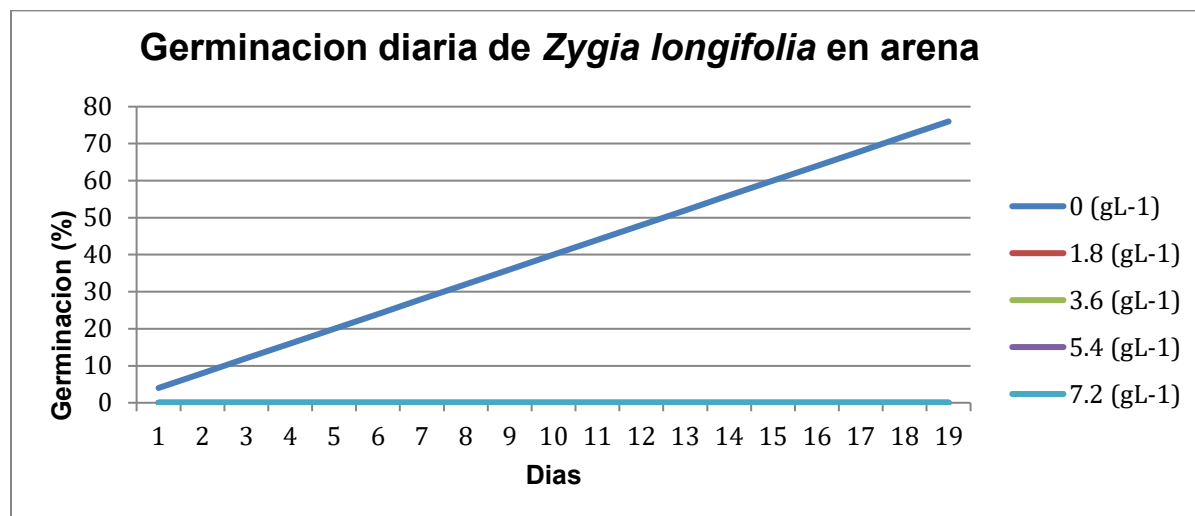
Emergencia de las Plántulas de Tres Especies Agroforestales en Sustrato Arena

Carbón (Zygia longifolia)

Los resultados obtenidos de los tratamientos con semillas de *Zygia longifolia* mediante dosis crecientes de glifosato i.a. describen el efecto herbicida de esta molécula en las semillas evaluadas en experimentos realizados sobre sustratos de rollos de papel. En la Figura 24, se presenta la germinación diaria de *Zygia longifolia* en sustrato arena.

Figura 24

Germinación diaria de Zygia longifolia en arena.



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Zygia longifolia* en sustrato arena.

Fuente. Autoría propia.

En los análisis estadísticos para el ensayo en sustrato arena, en la variable tiempo medio de germinación (TMG, $p > 0,05$), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, con valores similares entre 8.5 y 8.9 días. Para la variable velocidad media de emergencia (VMG, $p > 0,05$), aunque hubo diferencias estadísticas, estas no fueron significativas, con el tratamiento $0,0 \text{ gL}^{-1}$ alcanzando un índice de 0,12. En la variable primer conteo ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ fue el mejor, logrando un 81,00% de germinación, siendo diferente de los demás tratamientos. Para la variable germinación ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ también fue superior, con un 90,00% de germinación. Finalmente, para el índice de velocidad de emergencia (IVE, $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ presentó el valor más alto con un índice de 22,71, diferenciándose de los demás tratamientos. En la Tabla 4, se muestra el análisis estadístico de variables germinativas de *Zygia longifolia* en sustrato arena.

Tabla 4

Resultados promedio prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Carbon tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).

| Sustrato de arena | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Dosis (gL⁻¹) | VARIABLES (prueba de Tukey) | | | | |
| | P.C | G | Ive | TMG | VMG |
| | Primer conteo | Germinación | Índice variable de emergencia | Tiempo medio de germinación | Velocidad media de emergencia |
| 0.0 | 81.0000 c | 90.0000 c | 22.7175 b | 8.4675 a | 0.1200 a |
| 1.8 | 50.0000 b | 58.0000 b | 11.7300 a | 8.9200 a | 0.1100 a |
| 3.6 | 37.0000 ab | 38.0000 ab | 9.3200 a | 8.5525 a | 0.1175 a |
| 5.4 | 28.0000 a | 29.0000 a | 6.5325 a | 8.8525 a | 0.1125 a |
| 7.2 | 30.0000 ab | 32.0000 a | 7.3150 a | 8.7375 a | 0.1125 a |
| DMS | 20,3647 | 22,977 | 5,4191 | 0,5797 | 0,0116 |
| CV% | 20.63 | 21.30 | 21.53 | 3.05 | 4.65 |

Nota. Esta tabla resume los resultados obtenidos mediante la prueba estadística de Tukey comparando medias entre grupos de semillas de *Zygia longifolia* expuestas a diversas dosis de glifosato en condiciones de vivero.

Fuente. Autoría propia.

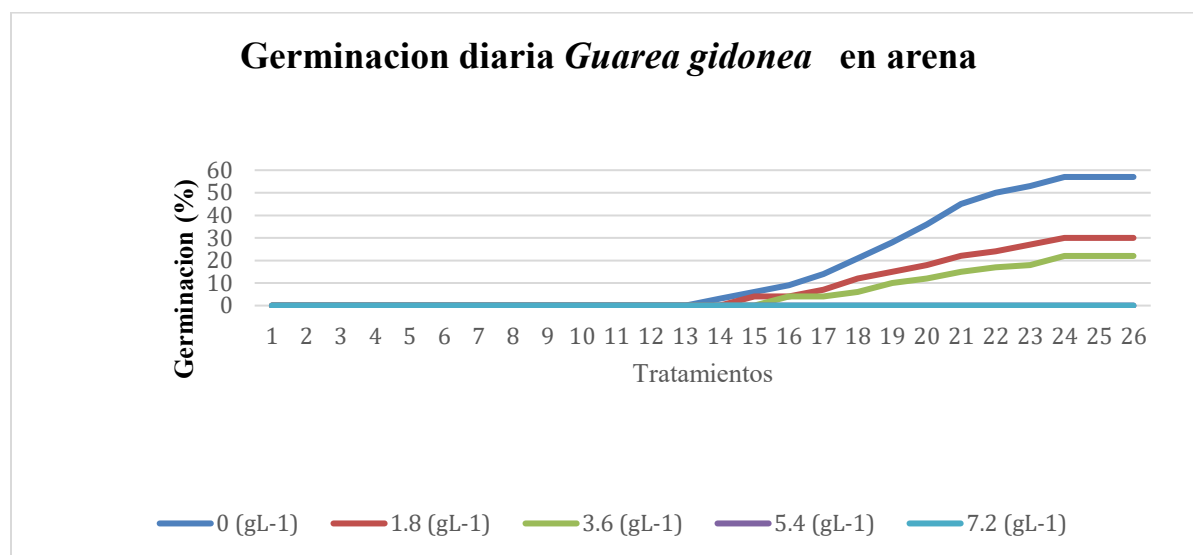
Bilibil (Guarea guidonia)

El efecto herbicida de las dosis crecientes de ingrediente activo glifosato en semillas de *Guarea guidonia* fue evaluado en experimentos realizados en sustratos de rollo de papel, lo que

permitió verificar el impacto de esta molécula en las semillas analizadas. En la Figura 25, se observa la germinación diaria de *Guarea guidonia* en sustrato arena.

Figura 25

Germinación diaria Guarea guidonia en arena.



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Guarea guidonia* en sustrato arena.

Fuente. Autoría propia.

En los análisis estadísticos para el ensayo en sustrato arena, en la variable tiempo medio de germinación (TMG, $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ fue el mejor con un índice de 14,13. Para la velocidad media de emergencia (VMG, $p < 0,001$), hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, destacándose el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ con un índice de 0,07. En la variable primer conteo ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ fue superior, con un 26,00% de germinación, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Para la variable germinación ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ también fue el mejor, logrando un 82,00% de germinación. Finalmente, en el índice de velocidad de emergencia (IVE, $p < 0,001$), el tratamiento

con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ alcanzó un índice de 9,23, diferenciándose claramente de los demás tratamientos.

En la Tabla 5, se presentan los valores promedio de las variables medidas en *Guarea guidonia* en sustrato arena.

Tabla 5

Resultados promedio, prueba de ANOVA y Tukey para semillas de Guarea gidonia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).

| Dosis (gL^{-1}) | Variables (prueba de Tukey) | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | P.C | G | Ive | TMG | VMG |
| | Primer conteo | Germinación | Índice variable emergencia | de de Tiempo medio de germinación | Velocidad media de emergencia |
| 0.0 | 26.0000 b | 82.0000 b | 9.2375 b | 14.1325 b | 0.0700 a |
| 1.8 | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a |
| 3.6 | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.2500 a | 1.0000 a | 0.2500 a |
| 5.4 | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a |
| 7.2 | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a | 0.0000 a |
| DMS | 10,3373 | 15,7905 | 1,9242 | 1,1379 | 0,2819 |
| CV% | 91.02 | 44.08 | 46.43 | 17.21 | 201.72 |

Nota. Esta tabla resume los resultados obtenidos mediante la prueba estadística de Tukey comparando medias entre grupos de semillas de *Guarea gidonia* expuestas a diversas dosis de glifosato en condiciones de vivero.

Fuente. Autoría propia.

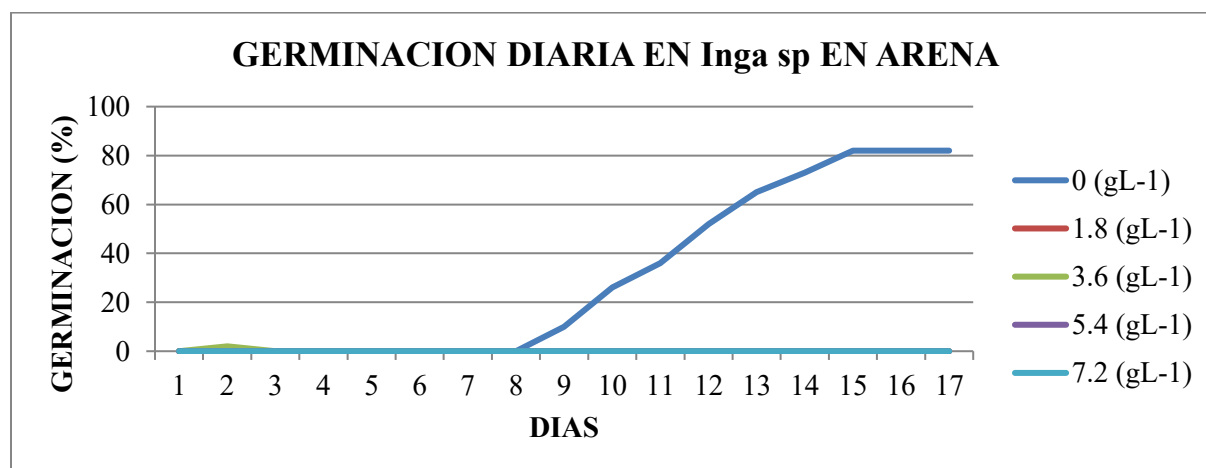
Guamo (Inga sp)

El efecto herbicida de las dosis crecientes de glifosato en semillas de *Inga sp*. Fue evaluado en experimentos realizados sobre sustrato de rollos de papel, permitiendo verificar su

impacto en las semillas analizadas. En la Figura 26, se visualiza la germinación diaria de *Inga sp* en sustrato arena.

Figura 26

Germinación diaria en Inga sp en arena.



Nota. En esta grafica se presenta la germinación diaria de *Inga sp* en sustrato arena.

Fuente. Autoría propia.

En los análisis estadísticos para el ensayo en sustrato arena, en la variable tiempo medio de germinación (TMG, $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ fue el mejor con un índice de 14,13. Para la velocidad media de emergencia (VMG, $p < 0,001$), hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos, destacándose el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ con un índice de 0,07. En la variable primer conteo ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ fue superior, con un 26,00% de germinación, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Para la variable germinación ($p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ también fue el mejor, logrando un 82,00% de germinación. Finalmente, en el índice de velocidad de emergencia (IVE, $p < 0,001$), el tratamiento con $0,0 \text{ gL}^{-1}$ alcanzó un índice de 9,23, diferenciándose claramente de los demás tratamientos.

En la Tabla 6, se describen los resultados de germinación y emergencia para *Inga sp* en sustrato arena con aplicación de glifosato i.a.

Tabla 6

Resultados promedio, prueba de Tukey para semillas de Guamo tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en sustrato (arena).

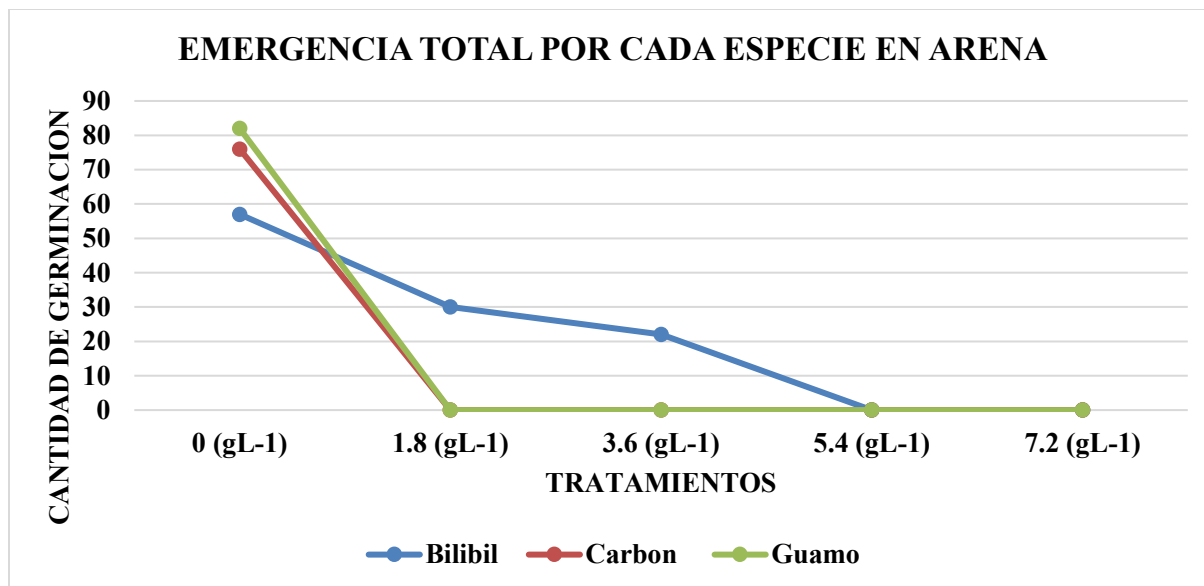
| Dosis (gL ⁻¹) | Variables (prueba de Tukey) | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------|---|---|---|
| | P.C Primer conteo | G Germinación | Ive Índice variable de emergencia | TMG de Tiempo medio de germinación | VMG Velocidad media de emergencia |
| 0.0 | 81.0000 c | 90.0000 c | 22.7175 b | 8.4675 a | 0.1200 a |
| 1.8 | 50.0000 b | 58.0000 b | 11.7300 a | 8.9200 a | 0.1100 a |
| 3.6 | 37.0000 ab | 38.0000 ab | 9.3200 a | 8.5525 a | 0.1175 a |
| 5.4 | 28.0000 a | 29.0000 a | 6.5325 a | 8.8525 a | 0.1125 a |
| 7.2 | 30.0000 ab | 32.0000 a | 7.3150 a | 8.7375 a | 0.1125 a |
| DMS | 20,3647 | 22,977 | 5,4191 | 0,5797 | 0,0116 |
| CV% | 20.63 | 21.30 | 21.53 | 3.05 | 4.65 |

Nota. Esta tabla resume los resultados obtenidos mediante la prueba estadística de Tukey comparando medias entre grupos de semillas de *Inga sp* expuestas a diversas dosis de glifosato en condiciones de vivero.

Fuente. Autoría propia.

Figura 27

Germinación total por cada especie según cada tratamiento.



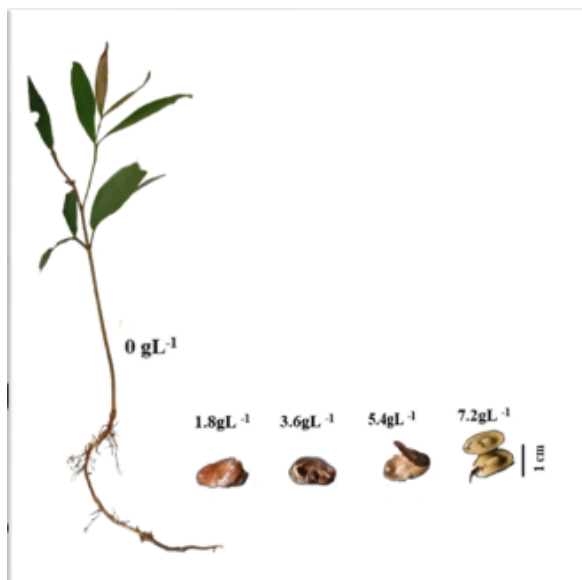
Nota. Se puede evidenciar la germinación de las semillas correspondientes a cada especie teniendo en cuenta las concentraciones de glifosato.

Efectos Fisiológicos de Concentraciones Incrementales de Ingrediente Activo Glifosato sobre la Conductividad Eléctrica de Semillas de Tres Especies Agroforestales.

Según los resultados obtenidos en el análisis de la conductividad eléctrica, no se encontró diferencia estadística significativa ($p > 0.05$), entre las soluciones tratadas con las distintas dosis de glifosato, lo que sugiere que las dosis aplicadas no alteraron significativamente la integridad de las membranas celulares de las semillas de las especies evaluadas. Este resultado podría indicar que, aunque el glifosato tuvo efectos sobre la germinación y otros parámetros fisiológicos, no causó un daño inmediato o severo a las células de las semillas que se manifestara en la liberación de iones a la solución durante el periodo de medición.

Figura 28.

Zygia longifolia

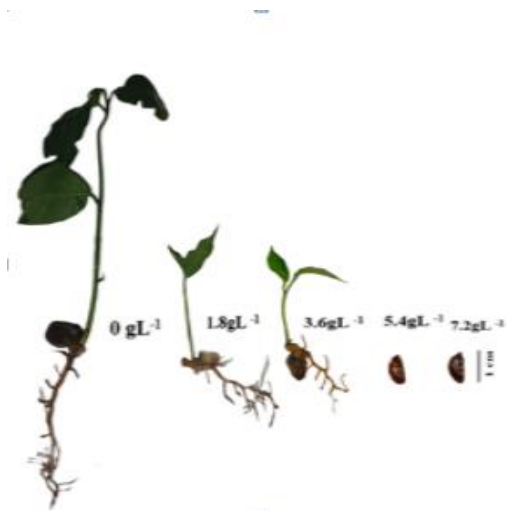


Nota. Resultados de la germinación y emergencia de las semillas de *Zygia longifolia* bajo cinco tratamientos con dosis crecientes de glifosato, como ingrediente activo (i.a.).

Fuente. Autoría propia.

Figura 29

Guarea gidonea

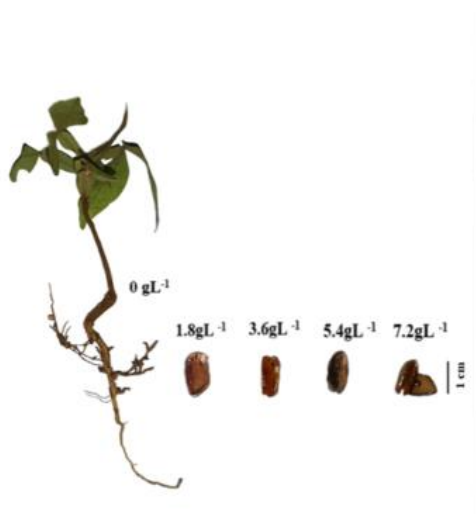


Nota. Resultados de la germinación y emergencia de las semillas de *Guarea gidonea* bajo cinco tratamientos con dosis crecientes de glifosato, como ingrediente activo (i.a.).

Fuente. Autoría propia.

Figura 30

Inga sp



Nota. Resultados de la germinación y emergencia de las semillas de *Inga sp* bajo cinco tratamientos con dosis crecientes de glifosato, como ingrediente activo (i.a.).

Fuente. Autoría propia.

Discusión

El presente estudio evidenció una marcada sensibilidad de las semillas de *Zygia longifolia*, *Inga sp.* y *Guarea gidonia* a las dosis crecientes del ingrediente activo glifosato, este hecho podría estar relacionado con la composición química del herbicida. Según González *et al.* (2022), esta molécula es recomendada para reducir las poblaciones de arvenses en diferentes fases del ciclo vegetativo en diferentes cultivos comerciales, como las dicotiledóneas, en pre y post emergencia. La efectividad de esta molécula está ligada al proceso de entrada de agua para la germinación, principalmente a la ruta seguida para la germinación.

Según Perez-Vasquez, *et al.* (2020), las semillas de especies forestales pueden ser afectadas directamente por los efectos del glifosato interfiriendo otros procesos bioquímicos diferentes al de la síntesis de aminoácidos en las células. Por otro lado, Oliveira *et al.* (2013), describen la acción del glifosato sobre varias especies de plantas, entre ellas Fabaceae de naturaleza forestal, como *Zygia longifolia* y *Inga sp.*, especies analizadas en esta investigación. Algunas semillas de especies de Fabaceae, principalmente del grupo Mimosoideae, poseen una cubierta dura o testa que la protege, esta barrera dificulta el paso de agua y de sustancias, por lo tanto, el agua ingresa por el hilio, en el momento de la germinación. Otro tema importante para describir está relacionado con el hecho de que las semillas de este grupo (Mimosoideae) pueden presentar dormancia ligada a procesos externos a la semilla, como forma de protección, hecho que puede atenuar o retrasar los efectos inmediatos del herbicida en la germinación, (Shimitz *et al.* 2019).

Rodríguez *et al.* (2023), describen la acción del glifosato en dosis subletales sobre la especie *Toona ciliata*, de la familia Meliaceae de naturaleza forestal, como lo es *Guarea gidonia*, especie de interés en esta investigación. Las semillas de algunas especies tal como *Swietenia*

macrophylla de la familia Meliaceae presentan estomas en su cubierta que facilitan la imbibición de agua en el inicio de la germinación. La presencia de dichas estomas permite la entrada gradual de agua, desde el sustrato, activando los procesos metabólicos necesarios para la germinación. (Sousa *et al.* 2019).

En este caso, el aumento de la mortalidad y disminución del vigor en las semillas de *Inga sp*, *Zygia longifolia* y *guarea gidonia* probadas, respecto al aumento de dosis de ingrediente activo glifosato puede tener una relación acumulativa o de aumento en la cantidad de dicha molécula dentro de las semillas. Sin embargo, al analizar los datos, se observa que estos factores pueden no haber estado directamente relacionados con los resultados obtenidos en el presente trabajo. En los casos del análisis de semillas de la familia Mimosoideae expuestas a glifosato mediante la técnica del tetrazolio podría aclarar mejor este hecho, sin embargo, no existe un protocolo válido para estas especies. Así mismo, ocurre con el estudio del efecto hermético causado por dosis subletales de glifosato sobre *Toona ciliata* y el de la Imbibición de semillas de *Swietenia macrophylla* familia de Meliaceae (Sousa *et al.* 2019).

Por otro lado, como se observó en el presente trabajo, que en las semillas de *Zygia longifolia* hubo una reducción de germinación del 70.66%, en las semillas de *Guarea gidonia* hubo una reducción del 35.88%, y en las semillas de *Inga sp* hubo una reducción del 52.33%, entre la germinación y la emergencia de semillas,

En áreas forestales como la Amazonía colombiana, las autoridades han advertido sobre el impacto residual del glifosato en el suelo, agua, vegetación y salud humana tras la aspersión aérea. Gómez *et al.* (2019), documentaron que este compuesto puede ser arrastrado por la erosión o escorrentías hacia fuentes de agua superficial, permaneciendo disuelto o adsorbido al

sedimento. Además, tanto el glifosato como su metabolito pueden desplazarse del suelo a cuerpos de agua y sedimentos naturales.

El glifosato y el ácido aminometilfosfórico se pueden disolver en el suelo para obtener sedimentos naturales contaminados (González *et al.* 2022). También se han detectado trazas del glifosato en el agua de riego de cultivos y en plantas de tratamiento de agua, encontrándose las concentraciones más altas del herbicida en muestras de agua superficial de América del Norte y del Sur en comparación con otros continentes (Marques *et al.* 2021).

En el estudio de Piotrowicz-Ciellak, *et al.* (2010) se han desarrollado experimentos que evalúan el efecto del glifosato sobre especies forestales, se evaluó el uso de glifosato en dosis de 1.44 Kg ha⁻¹ en el manejo de *Brachiaria* (plantas herbáceas, perteneciente a la familia Poáceas), en un experimento para la formación de rodales de restauración forestal utilizando 10 especies nativas de la región, se reportó una supervivencia promedio del 82,8% a los 30 meses para las especies forestales evaluadas, lo que indica alta tolerancia a la presencia del herbicida.

En el estudio realizado por Gomes *et al.* (2015), con subdosis de ingrediente activo de glifosato que van desde 0; 7,5; 15; 30 y 60 g cada. ja⁻¹. se aplicaron a plántulas de *Psidium Cattleyanum*, *Citharexylum mirianto* y *Cedrela odorata* a los 120 días después de la germinación, todas estas son especies de árboles nativos utilizados en áreas forestales de Brasil.

Según los resultados del estudio antes mencionado, las diferentes dosis del herbicida no provocaron fitotoxicidad a las plantas. La dosis de 30 y 60 g de ingrediente activo por ha⁻¹ proporcionó mayores incrementos en altura y diámetro, además de mayor peso de órganos secos en plántulas de *Citharexylum mirianto* y *Psidium cattleyanum*, respectivamente. Los resultados del presente trabajo difieren del estudio de Pereira y colaboradores (2015), en el que se observó

una reducción en las variables de crecimiento para las semillas germinadas en arena con dosis crecientes de glifosato.

Por otro lado, Myers *et al.* (2016), documentaron efectos negativos sobre el crecimiento de especies forestales como *Schizolobium amazónico* y *Ceiba pentandra* a dosis superiores a 180 g ha^{-1} de glifosato, lo que coincide parcialmente con los hallazgos del presente trabajo, donde las dosis incrementales de glifosato también afectaron significativamente la germinación y emergencia. Esto sugiere que la sensibilidad podría variar no solo por la dosis, sino también por características específicas de cada especie.

Por otra parte, Shilva *et al.* (2020) informaron una alta tolerancia de las especies forestales nativas al contacto con el glifosato.

Con los resultados obtenidos en este estudio, es posible inferir que el herbicida afectó negativamente la germinación y emergencia de las semillas de *Zygia longifolia*, *Guarea gidonia* y *Inga sp.* Además, se debe considerar el tema ambiental relacionado con el uso de este producto y necesidad de llevar a cabo más investigaciones sobre tecnologías de aplicación y evaluación de dosis adecuadas para especies forestales de la zona amazónica colombiana.

Conclusiones

En cuanto a la germinación de las tres especies agroforestales evaluadas (*Zygia longifolia*, *Guarea guidonia* e *Inga sp*), se observó una reducción en los porcentajes de germinación a medida que aumentaban las dosis de glifosato. Específicamente, en *Z. longifolia*, la reducción fue del 42.44%, mientras que en *G. guidonia* fue del 28.57% y en *Inga sp* alcanzó el 63.01% a una dosis de 7.2 g.L⁻¹ de glifosato. Estos resultados evidencian un efecto negativo muy significativo del glifosato sobre la germinación de las semillas de las tres especies, con un mayor impacto en *Inga sp*. (En la Figura 27, se compara la germinación total por especie según cada tratamiento aplicado en sustrato arena)

El glifosato mostró un mayor efecto negativo sobre la emergencia de las plántulas en los experimentos realizados en sustrato de arena. Las semillas de *Z. longifolia* (En la Figura 28, se resumen los resultados de germinación y emergencia de *Zygia longifolia* en todos los tratamientos) e *Inga sp* (en la Figura 30, se muestran los resultados finales de la especie *Inga sp* ante las dosis de glifosato i.a.) no presentaron emergencia en los tratamientos con dosis de 1.8 g.L⁻¹, 3.6 g.L⁻¹, 5.4 g.L⁻¹ y 7.2 g.L⁻¹. En contraste, las semillas de *G. guidonia* (en la Figura 29, se presentan los resultados obtenidos para *Guarea guidonia* en relación con los tratamientos) experimentaron una disminución en la emergencia en los tratamientos de 1.8 g.L⁻¹ y 3.6 g.L⁻¹, mientras que no hubo germinación ni emergencia en los tratamientos con 5.4 g.L⁻¹ y 7.2 g.L⁻¹. Estos resultados sugieren que la emergencia de las plántulas está fuertemente afectada por el glifosato, especialmente a dosis más altas.

En la prueba de conductividad eléctrica, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), con el aumento de las dosis de glifosato, lo que indica que el incremento de las dosis no tuvo un impacto medible sobre la conductividad eléctrica de las

semillas de las tres especies. Esto sugiere que, aunque el glifosato afectó otros parámetros fisiológicos como la germinación y la emergencia, no causó un daño directo a las membranas celulares de las semillas que se pudiera reflejar en un cambio en la conductividad eléctrica. Estos resultados subrayan la importancia de evaluar múltiples parámetros fisiológicos para comprender completamente el impacto del glifosato en las especies agroforestales.

Recomendaciones

Se recomienda evitar el uso de aspersiones aéreas no controladas de glifosato en áreas con presencia de especies agroforestales nativas, debido a que este estudio evidenció efectos negativos significativos del ingrediente activo sobre procesos fisiológicos clave como la germinación y el vigor de las plántulas. Estos resultados sugieren una alta sensibilidad de estas especies al herbicida, lo cual puede comprometer su establecimiento y desarrollo en programas de restauración o manejo forestal.

Asimismo, se sugiere profundizar en investigaciones que aborden el impacto del glifosato a nivel bioquímico en semillas de especies forestales nativas o silvestres no objetivo de las aplicaciones. Estos estudios deberían enfocarse en la evaluación de rutas metabólicas, actividad enzimática, y estrés oxidativo, con el fin de comprender los mecanismos internos de afectación y contribuir a una gestión más responsable del uso de este agroquímico en ecosistemas sensibles.

Referencias Bibliográficas

- Arias-Campos, L. D. (2015). Aves atraídas por la floración de *Zygia longifolia* (Fabaceae), en el Valle de El General, Costa Rica. *Zeledonia*, 19(1), 41–43.
<https://www.zeledonia.com/uploads/7/0/1/0/70104897/19-1-0011-arias-campos.pdf>
- Association of Official Seed Analysts. (2016). AOSA Rules for Testing Seeds (Vol. 1). Lincoln, NE: AOSA. Recuperado de https://analyzeseeds.com/wp-content/uploads/2016/08/ROA_Handbook.pdf
- Bayer S.A.S. (2025). Ficha técnica Roundup Brio. Bayer CropScience.
https://www.agro.bayer.co/es-co/productos/product-details.label.html/herbicides/roundup_activo.html
- Benbrook, C. M. (2016). Impacts of herbicides on human health: Pathways, evidence, and policy implications. *Environmental Health Perspectives*, 124(7), A130–A138.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10761135/>
- Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28, 3. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>
- Bento, C. P. M., Goossens, D., Rezaei, M., Riksen, M. J. P. M., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2016). Distribución de glifosato y AMPA en sedimentos erosionados por el viento derivados de suelos de loess. *Environmental Pollution*, 220, 1079–1089.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.084>
- Bento, S. R. S. D. O., Santos, A. E. O. dos, Melo, D. R. M. de, & Torres, S. B. (2010). Eficiência dos testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de Mulungu

- (*Erythrina velutina* Willd.). *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 111–117.
<https://www.scielo.br/j/rbs/a/MQXrrtj4gVYxGFKtnGFjC7m/abstract/?lang=pt>
- Bernal, R., Galeano, G., Rodríguez, A., Sarmiento, H., & Gutiérrez, M. (2012). Nombres comunes de las plantas de Colombia. <https://biovirtual.unal.edu.co/nombrescomunes/>
- Borggaard, O. K., & Gimsing, A. L. (2008). Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: A review. *Pest Management Science*, 64(4), 441–456. <https://doi.org/10.1002/ps.1512>
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2013). Instruções para análise de sementes de espécies florestais. MAPA. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/instrucoes-para-analise-de-sementes-de-especies-florestais/view>
- Brunetti, C., Fini, A., Sebastiani, F., & Tattini, M. (2022). Glyphosate toxicity on plant-soil interactions. *Frontiers in Plant Science*, 13, 456467.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.456467/full>
- Burke, I. C., & Bell, J. L. (2014). Plant health management: Herbicides. In C. Van Alfen (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (Vol. 4, pp. 425–440). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00181-9>
- Covaci, A. (2014). Environmental fate and behavior. In P. Wexler (Ed.), *Encyclopedia of Toxicology* (3rd ed., pp. 372–374). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01041-1>
- Dayan, F. E., Barker, A., Bough, R., Ortiz, M., Takano, H., & Duke, S. O. (2019). Herbicide mechanisms of action and resistance. In M. Moo-Young (Ed.), *Comprehensive*

- Biotechnology* (2nd ed., pp. 36–48). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64046-8.00211-1>
- Dest, A. (2021). The coca enclosure: Autonomy against accumulation in Colombia. *World Development*, 137, 105166. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105166>
- Duke, S. O., & Powles, S. B. (2008). Glyphosate: A once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64(4), 319–325. <https://doi.org/10.1002/ps.1518>
- Franz, J. E., Mao, M. K., & Sikorski, J. A. (1997). *Glyphosate: A unique global herbicide* (Vol. 189). American Chemical Society. <https://pubs.acs.org/doi/book/10.1021/bk-1997-0647>
- Gomes, M. P., Smedbol, É., Chalifour, A., Harkat, A. (2019). Effects of glyphosate on plant physiology: A comprehensive review. *Agronomy*, 9(11), 563. <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/563>
- Gomes, M. P., Smedbol, É., Chalifour, A., Hénault-Ethier, L., Labrecque, M., Lepage, L., & Lucotte, M. (2014). Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: An overview. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4691–4703. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru269>
- González, M., & Pérez, L. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. CEPAL. <https://doi.org/10.18356/b89f0453-es>
- González, O., Fuentes, P., & Hernández, M. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38(3), 54197. <https://doi.org/10.20937/rica.54197>
- González Posso, D. (2006). *Coca, deforestation and food security in the Colombian Amazon region*. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org/4/X7273S/X7273S06.htm>

- Hickey, W. J. (2021). Biodegradation of environmental pollutants. In D. M. Sylvia, J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, & D. A. Zuberer (Eds.), *Principles and Applications of Soil Microbiology* (2nd ed., pp. 581–605). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820202-9.00021-6>
- Idrovo, A. J., & Rodríguez, L. A. (2018). Moving back in policy banning glyphosate use in Colombia. *The Lancet*, 392(10145), 1166. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31883-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31883-X)
- Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. (s.f.). *Caquetá*. Recuperado el 2 de abril de 2024, de <https://www.sinchi.org.co/caqueta>
- International Seed Testing Association. (2024). *International Rules for Seed Testing (Revised annually)*. Bassersdorf, Switzerland: ISTA. Recuperado de <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html>
- Kanissery, R., Singh, M., Gairhe, B., & Kadyampakeni, D. (2019). Glyphosate: Its environmental persistence and impact on crop health and nutrition. *Plants*, 8(11), 499. <https://doi.org/10.3390/plants8110499>
- Matthews, S., & Bradnock, W. T. (1967). The detection of seed samples of wrinkle-seeded peas (*Pisum sativum* L.) of potentially low planting value. *Proceedings of the International Seed Testing Association*, 32, 553–563. <https://www.jstor.org/stable/23432225>
- Mesnage, R., & Antoniou, M. N. (2018). Roundup Ready! Glyphosate and the current controversy over the world's leading herbicide. In M. L. Dellasala & M. I. Goldstein (Eds.), *Encyclopedia of the Anthropocene* (Vol. 1, pp. 149–153). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09981-X>

- Mesnager, R., & Antoniou, M. N. (2022). The impact of glyphosate on the health of soil ecosystems: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 909049. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.909049>
- Myers, J. P., Antoniou, M. N., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L. G., Hansen, M., Landrigan, P. J., Lanphear, B. P., Mesnager, R., Vandenberg, L. N., Saal, F. S. V., Welshons, W. V., & Benbrook, C. M. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: A consensus statement. *Environmental Health*, 15(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>
- Oliveira, T., Jacqmin, B., Reichenbach, J., Cepeda, J., & Streck, R. (2013). Acciones diversificadas de Bayer CropScience para el manejo de malezas resistentes. *INIA: Documento Técnico*, 166–175. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7629/1/18429080413103109.pdf>
- Piotrowicz-Cieślak, A. I., Adomas, B., & Michalczyk, D. J. (2010). Fitotoxicidad variable del glifosato en semillas y plántulas de especies vegetales seleccionadas. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(1), 123–129. <https://www.pjoes.com/Fitotoxicidad-variable-del-Glifosato-en-Semillas-y-Plantuas-de-Especies-Vegetales-n,88364,0,2.html>
- Powles, S. B. (2008). Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: Lessons to be learnt. *Pest Management Science*, 64(4), 360–365. <https://doi.org/10.1002/ps.1525>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2019). *Caquetá: Retos y desafíos para el desarrollo sostenible*. <https://www.undp.org/es/colombia/publicaciones/caqueta-retos-y-desafios-para-el-desarrollo-sostenible>

- Rivera Alarcón, L. T. (2018). *Efecto de la aplicación del glifosato en la microfauna del suelo de cultivo de café (Coffea arabica), variedad Catimor en San Ignacio–Cajamarca, 2017-2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_7bb3123d742ec080e6b48ede67aee4c5
- Rodríguez, D. M., Santos, R. F., Rodríguez, A. C., Souza, B. M., da Silva, M. P., & Carvalho, F. P. (2023). Hormetic effect caused by sublethal doses of glyphosate on *Toona ciliata* M. Roem. *Plants*, 12(24), 4163. <https://doi.org/10.3390/plants12244163>
- Ruano-Ibarra, E. del S., & Carreño, A. A. (2020). Erradicación voluntaria de cultivos ilegalizados en Colombia: Del plan alternativo al programa nacional de sustitución. *Latinoamérica. Revista de Estudios Latinoamericanos*, (70), 25–52. <https://www.scielo.br/j/ln/a/dVvc9DSBvxKGxh4GJphMbWS/?lang=es>
- Shilva, A. A., Lima, R. C., & Ferreira, C. A. (2020). Impact of glyphosate on soil microbial communities. *Journal of Soil Biology*, 22, 39–47. <https://www.journals.soilbio.org/22/39-47>
- Sosa Vargas, V. S. (2018). Diversidad de hongos presentes en raíces de tres especies arbóreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera en la Amazonía ecuatoriana [Tesis de licenciatura, ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15842>
- Sousa, R. S., Carvalho, D. R., & Pires, C. R. (2019). The role of *Inga edulis* in Amazonian agroforestry systems and its commercial potential. *Agroforestry Systems*, 93(4), 1789–1798. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0133-0>

- Steinrücken, H. C., & Amrhein, N. (1980). The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 94(4), 1207–1212. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(80\)90547-1](https://doi.org/10.1016/0006-291X(80)90547-1)
- Tofiño Rivera, A. P., Carbone Murgas, R. E., Melo Ríos, A. E., & Merini, L. J. (2019). Efecto del glifosato sobre la microbiota, calidad del suelo y cultivo de frijol biofortificado en el departamento del Cesar, Colombia. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.01.006>
- Uribe, S. (2019). Evolución de los cultivos de coca en Colombia: 1986–2017. *Razón Pública*. <https://razonpublica.com/evolucion-de-los-cultivos-de-coca-en-colombia-1986-2017/>
- Valencia, C. J. C. (2021). Estudio del crecimiento de *Artocarpus altilis* y *Zygia longifolia* en condiciones de vivero con fines de restauración (Vol. 2) [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/1fa57179-9e9c-4123-85cb-d9dac478fce8>
- Van Bruggen, A. H. C., He, M. M., Shin, K., Mai, V., Jeong, K. C., Finckh, M. R., & Morris, J. G. (2018). Efectos ambientales y de salud del herbicida glifosato. *Science of the Total Environment*, 616–617, 255–268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>
- Weaver, P. L. (1988). *Guarea guidonia* (L.) Sleumer. *Meliaceae*. *Guaraguao*, *American muskwood*. U.S. Forest Service. https://rngr.net/publications/arboles-de-puerto-rico/guarea-guidonia/at_download/file
- WWF Colombia. (2022). Prohibición de la aspersión con glifosato: Es el momento de Colombia. <https://www.wwf.org.co/?378537/Prohibicion-de-la-aspersion-con-glifosato-es-el-momento-de-Colombia>

Zobiolo, L. H. S., Oliveira, R. S., Kremer, R. J., & Constantin, J. (2021). Glyphosate effects on nutrient uptake and metabolism. *Weed Science*, 69(1), 33–44.

<https://doi.org/10.1017/wsc.2020.68>