

**Estudio del impacto del glifosato en la calidad fisiológica de las semillas en tres especies de frutas con relevancia para la agricultura y la silvicultura en la región amazónica colombiana.**

Yurany Bahamon Cebáis

Ferney Cicery Sotto

Asesor

Ismael Dussan Huaca

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Agronomía

2024

### **Dedicatoria Yurany Bahamon**

Este importante logro y gran paso en mi vida lo dedico a mi Dios, es Él quien día a día ha permitido que mis pensamientos, esfuerzos físicos y mentales se alineen para el desarrollo de este trabajo y mis decisiones cotidianas. Es Él quien ha generado la seguridad emocional en mí, para finalizar con amor, con altura, determinación y sabiduría mi trabajo de investigación.

A mi familia, gracias por todo el apoyo que me han brindado siempre, mi abuela Marleny, papá Miller, mamá Olga, papá José y Martica ... Son ustedes el motor y el motivo de que yo haya sacado adelante este proceso, la inspiración basada en cada aliento dado por ustedes hace de este proyecto un éxito. A mis hermanitas Leidy, Natalia, Yenifer, Zharick y Dana gracias por siempre tenerme como un referente de ejemplo y a seguir, han puesto en mis hombros batallas que si no hubiese sido por demostrarles a ustedes qué todo es posible creo que no las hubiera logrado. ¡Los amo!

A mi pareja, mi coequipero, mi mentor, mi amor y compañero de luchas y batallas me sobra decirle que gracias a él pude superar situaciones que me frustraban y generaban en mí, emociones de decepción y desanimo hacia como se iba desarrollando mi carrera universitaria.

Quiero cerrar mis agradecimientos con un beso al cielo para mi viejito que se fue antes de lo esperado, y no permitió que su nieta le mostrara su diploma con título de Agrónoma.

### **Agradecimientos Yurany Bahamon**

Agradezco nuevamente a Dios y a cada una de las personas que se vincularon en mi proceso de formación, haciendo énfasis primero en mi abuela, padres, hermanas y pareja.

Sin embargo; resalto grandemente la disponibilidad, la amabilidad, la entrega y la profesionalidad que tuvieron mis docentes a lo largo de mi carrera universitaria en especial al Docente Ismael Dussan por su compromiso y acompañamiento en este proyecto de investigación al igual que el docente Cristian Plaza quien estuvo muy pendiente en apoyo del mismo.

A mis compañeros Erbin, Diego, Lizeth, Daniela y Edna por generar un ambiente de trabajo en equipo siempre.

A la universidad por brindar alternativas viables e innovadoras para que sus alumnos tengan acceso a información segura y aparte de ello herramientas que ayudan a crear grandes profesionales.

¡A todos, gracias!

### **Dedicatoria Ferney Cicery Soto**

Este logro lo quiero dedicar primeramente Dios nuestro padre y señor todo poderoso quien me brindo sabiduría y entendimiento que me permitieron organizar ideas de la mejor manera que me llevaron a la terminación de un logro más en mi vida.

A mi esposa Leidy y mis dos hijos Sebastián y Dylan; son el motor de mi vida, las ganas de continuar a delante y la motivación para ser mejor cada día, tanto personal como profesionalmente, quienes siempre han creído en mí y me animan cada día con su apoyo físico y moral permitiéndome lograr cada una de las metas propuestas, como familia soy bendecido por ese apoyo incondicional y por estar siempre en los momentos cuando los necesito animándome y fortaleciéndome de buena energía.

Mis padres; quienes aún tengo el orgullo de tenerlos vivos y han sido mis más sinceros concejeros a lo largo de toda mi vida, siempre estoy en sus oraciones que me alimentan de su espíritu para concretar ideas y desarrollarlas de la mejor manera, teniendo siempre claro que mis triunfos son la verdadera motivación para ellos quienes lo acogen con la mayor sinceridad y los mejores deseos.

Mis hermanos; que siempre están hay presto a apoyarme cuando los requiero, fortaleciendo aún más las ganas de salir adelante culminando cada una de mis metas propuestas siendo esta una de ellas, sintiéndose orgulloso con cada uno de mis triunfos.

Que el Dios de la vida nos bendiga siempre.

### **Agradecimientos Ferney Cicery Soto**

Quisiera expresar mi agradecimiento primeramente a Dios por darme sabiduría y entendimiento para sacar adelante este proyecto, que me permite lograr una meta más de mi vida preparándome en la parte profesional, permitiendo abrir nuevos espacios en el mundo laboral y social.

A mi familia, especialmente padres y hermanos por brindarme apoyo en el momento requerido, que me permite motivarme y renovarme de fortaleza a través de sus oraciones y constantes consejos.

A mi esposa e hijos, quienes siempre han estado al lado con ese apoyo incondicional, ese amor de hogar, trabajo mutuo y el más sincero orgullo de triunfo, esperándome siempre con los brazos abiertos y animándome para salir adelante de la mejor manera.

A los docentes quienes nos orientaron a lo largo del proyecto de investigación con su experiencia, comprensión y paciencia, que siempre estuvieron presto para brindar su apoyo en los momentos requeridos.

A mi compañera de equipo, por su dedicación, compromiso y entrega en la culminación del proyecto, constante compromiso que nos llevó a terminar de la mejor manera cada uno de los puntos expuestos en esta tesis.

A la universidad por darnos el espacio para culminar nuestra carrera profesional, poniendo siempre al servicio su grupo de profesionales que nos orientaron de la mejor manera y nos brindaron enseñanzas en cada una de las etapas requeridas.

En general, a todas las personas que hicieron parte y aportaron en la culminación de esta tesis con sus conocimientos y aportes que fueron fundamentales para la culminación de un logro más de vida.

Gracias infinitas a todos.

## Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de dosis variables de glifosato en la germinación, emergencia y conductividad eléctrica de semillas de Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Copoazu (*Theobroma grandiflorum*) y Cocona (*Solanum sessiliflorum*). El estudio examina el impacto de las crecientes concentraciones de glifosato, un herbicida que ha causado mucha preocupación entre los conservacionistas y productores agroforestales en Caquetá. Esta región ha sido una de las más afectadas por el glifosato, que ha sido ampliamente utilizado para destruir cultivos ilícitos, y por su uso como herbicida. Por esta razón el proyecto busca Evaluar el impacto del glifosato en las especies de plantas de la región será fundamental para preservar los recursos hídricos del área y promover la producción agroforestal. El uso de semillas agroforestales ha escalado en el país, principalmente como respuesta a la alarmante tasa de deforestación. El experimento se realiza utilizando sustrato de rollo de papel y arena. Las semillas se remojan durante media hora en una solución que contendrá dosis de 0, 1,8, 3,6, 5,4, 7,2 g.L-1 de equivalente ácido de glifosato. En el ensayo para evaluar germinación (G) se realizan las pruebas: primer conteo, germinación, índice de velocidad de germinación IvG y tiempo medio de germinación TMG, así como velocidad media de germinación VMG. Para la prueba en arena se evalúa, IvE, PC, G, TMG y VMG La conductividad eléctrica se evaluará en un ensayo independiente. En este sentido, se detectó que la alta concentración de glifosato en sus dosis de 1,8, 3,6, 5,4, 7,2 g.L-1 afectó enormemente el desarrollo adecuado de la germinación de las semillas, significando que nuestras plantas frutales amazónicas no son tolerables ni a la dosis mínima en contacto con el glifosato.

**Palabras clave:** Glifosato, Semillas, Frutales Amazónicos, Agroforestal.

### **Abstract**

This research aimed to evaluate the impact of varying doses of glyphosate on the germination, emergence, and electrical conductivity of seeds of Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Copoazu (*Theobroma grandiflorum*), and Cocona (*Solanum sessiliflorum*). The study examines the impact of increasing concentrations of glyphosate, an herbicide that has caused much concern among conservationists and agroforestry producers in Caquetá. This region has been one of the most affected by glyphosate, which has been widely used to destroy illicit crops, and by its use as an herbicide. For this reason, the project seeks to evaluate the impact of glyphosate on plant species in the region, which will be essential to preserve the area's water resources and promote agroforestry production. The use of agroforestry seeds has escalated in the country, mainly as a response to the alarming rate of deforestation. The experiment is conducted using paper roll substrate and sand. Seeds are soaked for half an hour in a solution containing doses of 0, 1.8, 3.6, 5.4, 7.2 g.L<sup>-1</sup> of glyphosate acid equivalent. In the test to evaluate germination (G), the following tests are carried out: first count, germination, germination speed index IvG and average germination time TMG, as well as average germination speed VMG. For the sand test, IvE, PC, G, TMG and VMG are evaluated. Electrical conductivity will be evaluated in an independent test. In this sense, it was detected that the high concentration of glyphosate in its doses of 1.8, 3.6, 5.4, 7.2 g.L<sup>-1</sup> greatly affected the proper development of seed germination, meaning that our Amazonian fruit plants are not tolerable even at the minimum dose in contact with glyphosate.

**Keywords:** Glyphosate, Seeds, Amazonian Fruit Trees, Agroforestry.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	18
Planteamiento del Problema.....	21
Justificación.....	25
Pregunta de Investigación.....	31
Hipótesis.....	32
Objetivos.....	33
Objetivo General.....	33
Objetivos Específicos.....	33
Marco Teórico y Conceptual.....	34
Glifosato.....	34
Historia.....	35
Uso.....	37
Causas y Efectos.....	39
Especies Agroforestales para Evaluar.....	41
Camu-camu ( <i>Myrciaria dubia</i> ).....	41
Descripción de la Especie.....	41
Hábitat de Crecimiento.....	42
Hábito y Morfología.....	44

	10
Caracterización Florística.....	45
Copoazu ( <i>Teobroma grandiflorum Schum</i> ).....	46
Descripción de la especie.....	46
Características Botánicas.....	47
Cultivo y Producción.....	47
Usos del Copoazú.....	48
Investigación y Desarrollo.....	48
Cocona ( <i>Solanum sessiliflorum</i> ).....	50
Descripción de la especie.....	50
Distribución.....	50
Clima.....	51
Suelo.....	51
Variedades.....	51
Utilización.....	52
Métodos de Propagación.....	52
Artículos de estudios de especies nativas amazónicas que involucran importancia comercial y desarrollo al territorio amazónico.....	54
<i>Aprovechamiento del Asaí (Euterpe oleracea) The Amazonian caboclo and the açai     palm: Forest farmers in the global market.....</i>	54

<i>Shiringa (Hevea brasilienses) y Producción de Caucho Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation .....</i>	54
<i>Cacao Nativo (Theobroma cacao) Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (Theobroma cacao L).....</i>	54
<i>Aguaje (Mauritia flexuosa) Livelihood impacts of payments for environmental services in the Brazilian Amazon: An analysis of causality and sustainability.....</i>	55
<i>Bacaba (Oenocarpus bacaba) Bacaba (Oenocarpus bacaba): A fruit from the Amazon with potent antioxidant properties.....</i>	55
<i>Guayaba Amazónica (Psidium guajava) Psidium guajava: Propiedades nutricionales y potencial comercial en la Amazonía peruana .....</i>	55
<i>Ubim (Geissospermum argenteum) Geissospermum argenteum: An overlooked fruit with economic potential in the Brazilian Amazon.....</i>	55
<i>Inga (Inga edulis) The role of Inga edulis in Amazonian agroforestry systems and its commercial potential.....</i>	56
Metodología.....	57
Área de Estudio.....	57
Enfoque Investigativo.....	57
Diseño Experimental.....	57
Germinación.....	59
Emergencia.....	61
Conductividad eléctrica.....	63

	12
Análisis estadístico.....	63
Resultados.....	65
<i>Solanum sessiflorum</i> .....	65
<i>Myrciaria dubia</i> .....	68
<i>Theobroma grandiflorum schum</i> .....	71
Discusión.....	75
Conclusiones.....	80
Referencias Bibliográficas.....	82

### Listado de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Propiedades físicas y químicas Fórmula química del glifosato</i> .....	34
<b>Figura 2.</b> <i>Recolección de frutos de Myrciaria dubia</i> .....	45
<b>Figura 3.</b> <i>Selección de los frutos Myrciaria dubia aptos para proceder a investigación</i> ...	45
<b>Figura 4.</b> <i>Lavado y despulpado de frutos de Myrciaria dubia. Fuente: Los autores</i> .....	46
<b>Figura 5.</b> <i>Árbol Teobroma grandiflorum Schum</i> .....	49
<b>Figura 6.</b> <i>Recolección de fruto y pulpa Teobroma grandiflorum Schum</i> .....	49
<b>Figura 7.</b> <i>Lavado y despulpado de frutos de Teobroma grandiflorum Schum</i> .....	50
<b>Figura 8.</b> <i>Recolección de frutos de Solanum sessiliflorum</i> .....	53
<b>Figura 9.</b> <i>Lavado y despulpado de frutos de Solanum sessiliflorum</i> .....	53
<b>Figura 10.</b> <i>Semillas de Teobroma grandiflorum schum en dosis de glifosato y la dosis testigo</i> .....	58
<b>Figura 11.</b> <i>Preparación de cada una de las dosis 0, 1.8, 3.6, 5.4 y 7.2 g.L-</i> .....	58
<b>Figura 12.</b> <i>Semillas de Myrciaria dubia sometidas a las dosis de glifosato y dosis testigo</i> .....	59
<b>Figura 13.</b> <i>Germinación semilla de Teobroma grandiflorum Schum en dosis testigo 0 g.L-1</i> .....	60
<b>Figura 14.</b> <i>Montaje para germinación de Solanum sessiliflorum en rollo de papel dosis 7.2 g.L-1</i> .....	60

<b>Figura 15.</b> <i>Germinación semilla de Myrciaria dubia en dosis testigo 0 g.L-1. ....</i>	61
<b>Figura 16.</b> <i>Semillas de Theobroma grandiflorum schum en germinación arena dosis 3,6 g.L-1. T3-t4. ....</i>	62
<b>Figura 17.</b> <i>Semillas de Solanun sessiflorum en germinación arena dosis 0 g.L-1 .....</i>	62
<b>Figura 18.</b> <i>Semillas de Myrciaria dubia en germinación arena dosis 1,8 g.L-1 .....</i>	63
<b>Figura 19.</b> <i>Germinación diaria en rollo de papel y arena para Solunum sessiflorum .....</i>	65
<b>Figura 20.</b> <i>Germinación diaria en rollo de papel y arena para Myrciaria dibia .....</i>	68
<b>Figura 21.</b> <i>Germinación diaria en rollo de papel y arena para Theobroma grandiflorum schum .....</i>	71
<b>Figura 22.</b> <i>Emergencia de semillas de Theobroma grandiflorum schum en función de dosis de glifosato .....</i>	78
<b>Figura 23.</b> <i>Emergencia de semillas de Myrciaria dubia en función de dosis glifosato .....</i>	79
<b>Figura 24.</b> <i>Emergencia de semillas de Solanum sessiflorum en función de dosis de glifosato .....</i>	79

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Resultados medios, ANOVA y Tukey para semillas de Solanum sessiflorum tratadas con dosis crecientes de glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).....</i>	67
<b>Tabla 2.</b> <i>Resultados promedio, ANOVA y prueba de Tukey para semillas de Guarea gidonia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).....</i>	70
<b>Tabla 3.</b> <i>Resultados medios, ANOVA y Tukey para semillas de Myrciaria dubia tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).....</i>	73

## Introducción

De acuerdo con Artunduaga-Bermeo (1999), el departamento de Caquetá es reconocido por su extraordinaria flora, fauna y paisajes, lo que lo convierte en una de las regiones con mayor biodiversidad de Colombia. Ubicada en la subregión noroccidental de la Amazonía colombiana, limita con Meta y Guaviare al norte, Amazonas y Putumayo al sur, Cauca y Huila al oeste y Vaupés y Amazonas al este, con una superficie de 88.965 kilómetros cuadrados.

Caquetá a pesar del gran nivel de abundancia en temas de diversidad, se muestra una realidad errónea en sus indicadores socioeconómicos. Sustentado en que el 62,18% de la población sigue habitando debajo de la línea de pobreza y solo el 70% recibiendo algún tipo de beneficio educativo, desarrollo integral o balance de equidad se ven lejanos a la realidad. La desnutrición es una realidad cotidiana para el 18% de la población, con un 30% sin acceso a la educación secundaria. La asombrosa cantidad de 92.864 personas han sido desplazadas por la fuerza mientras ocurren 35 conflictos armados cada año, lo que resulta en una tasa de homicidios 40 puntos por encima del promedio nacional. La dependencia del departamento de bienes importados se refleja en el hecho de que el 85% de los productos consumidos son extranjeros. La principal actividad económica de la región, la ganadería, carece de eficiencia con 1,2 millones de cabezas de ganado que utilizan 2,4 millones de hectáreas de tierra, una tasa de productividad de solo 0,5 cabezas por hectárea, inferior a otras regiones del país (García-Lozano 2002; Calderón 2007).

Viendo los escenarios, es imperioso diseñar u ejecutar estrategias que mitiguen y ayuden a fortalecer la paz de la región. Esto nos lleva al fortalecimiento de emprendimientos socio productivos que hagan una economía sostenible, teniendo en cuenta

la importancia que tienen las condiciones ambientales empleando acciones de sostenibilidad, la conservación de la biodiversidad y la gestión ambiental en las políticas públicas que existen en la región.

Desafortunadamente, el glifosato es una opción muy elegida como pesticida en Colombia, usado muy a menudo para combatir el uso ilícito de cultivos de coca. También en la agricultura común se utiliza para eliminar diversas amenazas que llegan a los cultivos como los hongos, las plagas y enfermedades presentes en el entorno de los cultivos. No obstante, el alto nivel de uso del glifosato en áreas rurales ha causado un gran impacto, generando un peligro irreversible en los bosques, los ríos y la vida silvestre. También, su impacto se extiende directamente a las personas que habitan en las regiones afectadas y manipulan el químico directamente e indirectamente por las fumigaciones realizadas por el estado colombiano (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales -ANLA, 2021).

Desde 1978, el gobierno colombiano ha utilizado el glifosato como un medio para la erradicación definitiva de los cultivos ilícitos en las zonas rurales del país, donde se encontraban estos cultivos, sobrepasando la importancia de los demás cultivos de pan coger que yacían en la zona. Entre los años 1999 y 2015, se realizó la primera aspersión del producto (glifosato) en 1.800.000 hectáreas en el territorio nacional, lo que conllevó a un uso conveniente en dichas aspersiones, ocasionando miles de divisiones y discusiones públicas debido al alto nivel de toxicidad que emerge en la salud humana, vegetal y animal, generando alteraciones en los ecosistemas e incluso alterando los ciclos reproductivos de los seres vivos. Ya se han realizado innumerables estudios y revisiones científicas al respecto, y no hay afinidad científica en el mismo (Gaviria y Viveros, 2020, como se citó en Redalyc, 2022).

En 2015, durante el gobierno de Juan Manuel Santos, se suspendió la aspersión de glifosato. Posteriormente, debido a indicios de las afectaciones y basándose en el principio de precaución, la Corte Constitucional, mediante la sentencia T-236 de 2017, ordenó que no se podrían reiniciar las aspersiones debido al grave impacto que estas generaban en la salud humana y vegetal de las zonas rurales a intervenir (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015; BBC News Mundo, 2015).

El uso del herbicida glifosato en Colombia, especialmente en la erradicación de cultivos ilícitos, ha generado una serie de efectos nocivos sobre la flora nativa. Este herbicida, aplicado principalmente a través de fumigaciones aéreas, no solo afecta los cultivos de coca, sino también una amplia variedad de plantas nativas que son cruciales para la biodiversidad y el equilibrio ecológico de las regiones afectadas. La exposición al glifosato puede causar la muerte de especies vegetales no objetivo, alterar los ciclos reproductivos de las plantas y reducir la diversidad vegetal en los ecosistemas locales (Arenas y Mendoza, 2020). Además, la degradación del suelo y la contaminación de cuerpos de agua son consecuencias adicionales que agravan el impacto ambiental (Harvard International Review, 2020). Estos efectos, combinados con la pérdida de hábitats naturales, ponen en riesgo la supervivencia de muchas especies y la salud general de los ecosistemas colombianos.

Por lo anterior, este trabajo de investigación busca generar información sobre los efectos causados por el ingrediente activo glifosato sobre semillas de especies de frutales de importancia para el desarrollo regional con enfoque territorial como lo son el camu camu, el copoazu y la cocona.

## Planteamiento del Problema

Monsanto, el fabricante y distribuidor del herbicida glifosato, afirma en el empaque que este pertenece a la cuarta categoría de herbicidas venenosos, lo que lo hace uno de los menos peligrosos para los seres vivos, incluyendo plantas, animales y humanos (Monsanto, 2015). No obstante, muchos estudios han confirmado que el glifosato causa efectos desfavorables y muy significativos en la salud y el medio ambiente (IARC,2015).

La compañía Monsanto, la cual ahora pertenece a Bayer, sostiene que el glifosato es seguro cuando es empleado correctamente y siguiendo las indicaciones. Pese a los múltiples litigios y disputas, la multinacional sigue apeando por la seguridad de su producto, mostrando así; investigaciones en empresas reguladoras que aseguran que el glifosato no causa cáncer en humanos (Político, 2014). Bayer ha anunciado que, para limitar la responsabilidad, dejara de vender herbicidas a base de glifosato a consumidores a partir de 2023, restringiendo las ventas a agricultores y profesionales de pesticidas (RFI. 2024).

El glifosato, un herbicida ampliamente utilizado, tiene varios efectos a largo plazo en el medio ambiente: el (National Pesticide Information Center-NPIC, 2024). Aunque se degrada principalmente por acción microbiana, su producto de degradación, el ácido aminometilfosfónico (AMPA), es más persistente, a diferencia de otros herbicidas, el glifosato no tiende a bioacumularse en los organismos debido a su alta solubilidad en agua, las dosis de deriva del glifosato pueden causar efectos no deseados en plantas no objetivo, como el aumento del crecimiento de plantas (hormesis) y una mayor susceptibilidad a patógenos vegetales (Stephen, 2020). Además, el uso intensivo de glifosato puede alterar la comunidad microbiana del suelo, afectando la fertilidad y el equilibrio ecológico, el

glifosato puede llegar a los cuerpos de agua a través de la escorrentía, afectando la cadena alimentaria acuática y causando desequilibrios ecológicos, el glifosato puede llegar a los cuerpos de agua a través de la escorrentía, afectando la cadena alimentaria acuática y causando desequilibrios ecológicos; (Carvallo Márquez, *et al*, 2020).

Múltiples informes en el mundo testifican que este herbicida causa graves lesiones que son incurables en la vida vegetal, animal y humana (Donaher & Van den Hurk 2023). En Colombia de manera irresponsable, este herbicida se aplica sobre cultivos de uso ilícito como la *Erythroxylum coca* para su erradicación, como es en altas concentraciones lo combinan con otros agentes promulgando su afectividad.

Sin embargo, el uso excesivo ha provocado problemas alarmantes; los daños no se limitan a los cultivos ilegales, sino que también afectan negativamente las cosechas legales, generando inseguridad en la soberanía alimentaria y causando mutaciones en la fauna, la flora y el desarrollo normal de la vida humana y vegetal (Donaher & Van den Hurk, 2023; Silva *et al.*, 2011).

En el 2016, se llevo acabo los acuerdos de paz y con ello la suspensión de las aspersiones aéreas de glifosato, el cambio de gobierno en año 2018 permitió la reinstauración del mismo para continuar con la erradicación. Lastimosamente, esta acción altero de nuevo el ecosistema que estaba en recuperación y lo puso en riesgo nuevamente.

Además, las crecientes tasas de deforestación en Colombia han sido una causa significativa. Según el Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono del IDEAM, la deforestación resultó en la pérdida de 171,685 hectáreas de bosque en 2020. Sin embargo, en 2023, Colombia registró la cifra de deforestación más baja en 23 años, con una pérdida de 79,256 hectáreas de bosque, lo que representa una reducción del 36% en comparación

con 2022 (El País, 2024). Debido a las acciones de grupos armados al margen de la ley y el fenómeno del niño, el primero trimestre de 2024 mostro un aumento del 40% en la deforestación (Mongabay, 2024). A raíz de esto, es importante evaluar el impacto generado por agroquímicos como el glifosato en muchos modelos agroforestales utilizados para recuperar áreas degradadas,

Una de las particularidades de las aspersiones de glifosato ha sido el deterioro significativo de las especies vegetales de gran importancia económica en el departamento de Caquetá, lo que genera un mayor repudio hacia este pesticida, además de la evidente degradación de los suelos (Marques *et al.*, 2021). Para ahondar en los problemas anteriores, la investigación busco evaluar la viabilidad fisiológica de las semillas frutales tomadas del ecosistema amazónico. El análisis se centró en como la influencia de diferentes dosis de glifosato afectaron el desarrollo y crecimiento adecuado de las semillas de Camu Camu (*Myrciaria dubia*) Copoazu (*Theobroma grandiflorum*) y Cocona (*Solanum sessiflorum*). De esta manera, se recolecto la información valiosa sobre la resiliencia de las plantas amazónicas elegidas frente a la exposición con el herbicida, aportando al desarrollo de nuevas estrategias sostenibles que mitiguen los impactos ambientales en la gestión de cultivos y conservación general. (Soil Association, 2023),

Por otra parte, en marzo de 2015, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) evaluó la carcinogenicidad de los pesticidas organofosforados: glifosato, diazinón y malatión. Los ha reclasificado como "probablemente cancerígenos para los seres humanos", productos que aún se usan en Colombia (Beristain., 2020).

En el caso de los plaguicidas, la IARC identifica el "agente cancerígeno" como la sustancia activa del plaguicida y sus formulaciones comerciales; el papel específico de los

demás ingredientes de la formulación en la aparición de efectos no se considera por separado de los ingredientes activos. Esto está en consonancia con el papel de la evidencia humana en las evaluaciones de la IARC. Los estudios epidemiológicos de agricultores y consumidores tienen información muy limitada sobre los niveles reales de exposición (Ntzani *et al.*, 2013), y utilizan la sustancia activa del plaguicida como descriptor, combinando individuos expuestos a diferentes formulaciones sin discriminar las diferentes composiciones.

Según (Cavalier *et al.*, 2022; Roh *et al.*, 2023), dentro del marco normativo, toda la formulación debe ser evaluada en función de su composición, determinando el rol de la sustancia activa y de los demás componentes; y se definen las estrategias de administración de riesgos para el químico empleado en este caso

Por lo tanto, este análisis tiene como objetivo evaluar la viabilidad fisiológica de semillas de frutas de relevancia agroforestal para la región amazónica de Colombia, tras haber sido sometidas a niveles crecientes de glifosato.

## Justificación

El Caquetá ha tomado el desafío de retomar las diversas iniciativas ambientales y reorientarlas ante las nuevas problemáticas y prioridades que se perciben en la región. Así, el objetivo es crear modelos socio-productivos sustentables, donde el elemento ambiental sea esencial (Gómez & Ramírez, 2022). Además, se ha reconocido la relevancia de crear políticas públicas consistentes en relación a este eje articulador, facilitando la participación relevante y eficaz en los ámbitos de debate y decisión cruciales para el progreso de la región (Pérez *et al.*, 2023).

A pesar de que se han propuesto acciones orientadas a la preservación de la biodiversidad como resultado del aprovechamiento sostenible del territorio, estas aspiran a alcanzar un constante mejoramiento en la calidad de vida de las comunidades locales. Este progreso se evalúa mediante su habilidad para administrar y emplear de manera eficaz los recursos naturales, los servicios de los ecosistemas y la biodiversidad, aprovechando el potencial ecológico y social que brinda el sector. Adicionalmente, se asegura la prosperidad, la salvaguarda del medio ambiente y la unión social (González & Martínez, 2022). Este objetivo abarca varios componentes esenciales para destacar:

Entendida como la diversidad de vida y las tácticas requeridas para salvaguardarla, la conservación de la biodiversidad se refiere a la necesidad de salvaguardar y proteger la vida en todas sus formas (humana y sus vínculos con el medio ambiente que la permiten, animal, vegetal, cultural, político) de todas las amenazas que puedan impactarla.

El uso sostenible del territorio, que tiene implicaciones importantes frente a la necesidad de cambiar los tipos de aprovechamiento y gestión que se realizan actualmente. Esto se sustenta claramente en los indicadores socioeconómicos del

departamento, los cuales en los últimos 30 años no han podido ser modificados hacia cifras positivas frente a la “calidad de vida” de las poblaciones locales, siendo esto una de las principales razones de las luchas y reivindicaciones sociales históricas en el departamento.

La generación de capacidades para gestionar y aprovechar los recursos naturales, con lo que se reconoce que los modelos socio-productivos y de gestión territorial imperantes han sido producto de decisiones centrales, que no han tomado en consideración la información disponible sobre las características ambientales del territorio, sus potencialidades y capacidades ecológicas; adicionalmente, no se ha considerado el análisis histórico de las reglas de juego informales que se generan, producto del relacionamiento de las poblaciones con su entorno, con lo que se podría dibujar claramente la lógica de construcción de territorio y las razones de las formas organizativas actuales. Estos dos elementos son insumos fundamentales para proponer y promover modelos sustentables, que en el Caquetá no se han tomado en consideración, aun cuando existe información de utilidad que garantiza la prosperidad, la protección del entorno y la cohesión social, como el resultado esperado de las intervenciones que se gesten con esta lógica, da espacio para la construcción de indicadores claros y concretos que permitan evaluar y dar seguimiento a la ruta que se construya con la agenda; esto también garantiza el establecimiento de puntos de retorno y corrección en el tiempo, pero además facilita la generación de plazos correctos para alcanzar los logros y resultados esperados propuestos.

Por otra parte, el gobierno nacional en su lucha contra la producción de drogas ilícitas sigue utilizando el Glifosato. El Glifosato está afectando gradualmente la diversidad de flora y fauna y los cultivos sobre los sitios en que se ha implementado su uso, por lo tanto, este método ha definido efectos negativos en la naturaleza y en la sociedad.

Actualmente, el uso de glifosato está sujeto a reevaluación bajo el marco de las sustancias activas de la unión europea (UE) de acuerdo con el reglamento No. 1107/2009 del parlamento europeo y del consejo (Oficial *et al.*, 2009) debido a la detección de glifosato en muestras de orina humana por lo que se demuestra un riesgo potencial para la salud.

La importancia y la necesidad de evaluar el efecto del glifosato en especies presentes en áreas de fumigación en el Caquetá, se ha enfatizado en la producción agroforestal y la conservación de los recursos hídricos principalmente, ya que el departamento del Caquetá ha sido uno de los territorios más afectados por este pesticida en la erradicación de cultivos ilícitos.

La implementación de semillas de importancia agroforestal se asocia bajo la premisa de ser especies promotoras para la reforestación de bosques neotropicales y de vegetación riparia, así como por la producción agrícola de especies amazónicas. Comprender cómo el uso de herbicidas y cuál dosis es considerada tóxicas para la germinación y emergencia de semillas de interés agroforestal en el Caquetá surge debido al constante uso de este herbicida no solo por las prácticas agrícolas como también mediante las aspersiones aéreas para la erradicación de cultivos ilícitos.

Los bioensayos que incluyen semillas y plántulas de especies superiores se consideran métodos efectivos y económicos para evaluar el efecto de los herbicidas, por tal motivo fue considerada esta evaluación en ambiente semi-controlado en laboratorio y casa de vegetación.

La selva amazónica ha sido objeto de intensa deforestación en los últimos años. De acuerdo con Hansen *et al.*, (2013) los servicios ecosistémicos producidos en la Amazonía son esenciales para América del Sur y para el mundo. Según Geist y Lambin (2001) y

Leblois *et al.*, (2017) “al menos el 17% del bosque primario en la cuenca del Amazonas ha sido deforestado en los últimos 50 años”. En relación con la Amazonía colombiana, también presenta intensos y crecientes porcentajes de deforestación, llegando a 215.000 pérdidas en 2018, incluso superiores en comparación con los países vecinos (MURAD Y PEARSE 2018; Hettler *et al.* 2018).

El manejo forestal en la Amazonía colombiana ha sido depredador e intensivo, (Finer y Mamani 2020). Dicha presión, directa o indirectamente, ha reducido las poblaciones de especies arbóreas, entre ellas aquellas seleccionadas para este estudio, *Myrciaria dubia*, *Theobroma grandiflorum*, *Solanum sessiliflorum*. Un proceso importante, poco estudiado y comprendido, es cómo reaccionarían las especies forestales ante la presencia de herbicidas en su hábitat. Si bien en países como Brasil ya se ha reportado el uso de herbicidas organofosforados en la Amazonía occidental para el establecimiento y manejo de nuevos agroecosistemas (Pereira *et al* 2018), para Colombia esta información aún es insuficiente en la literatura.

El glifosato (N-(fosfonometil) glicina), de amplio espectro y no selectivo, sistémico, de post-emergencia es un producto con fuerte solubilidad en agua (12g/L-1), (Amarante Junior *et al.*, 2002 a). El producto ha sido recomendado para el manejo de malezas anuales y perennes en varios cultivos comerciales (Shimitz *et al.*, 2019, como se citó en Avila *et al.*, 2020). También, es importante evaluar el manejo que se esté empleando de este herbicida en áreas hidrobiológicamente vulnerables y su conducta ambiental.

Cuando este herbicida es aplicado, gran parte del mismo producto lo retienen las plantas a las que va dirigido, pero un porcentaje mínimo va al suelo, siendo este el destino final (Morales y Rossi, 2010). Sin embargo, en las regiones tropicales, los suelos se

caracterizan por ser altamente reactivos, con alta meteorización derivada de procesos de formación intensificados por las altas temperaturas y acción de la lluvia e intensas reacciones biológicas, (Oliveira y Breguetti, 2011). Asimismo, la molécula de este herbicida puede permanecer absorbida en la matriz del suelo por años y trasladarse en el perfil del mismo causando así una acción a través del tiempo y el espacio lo cual conlleva a toxicidad (Amarante Junior *et al.*, 2002). Algunos autores advierten sobre evitar el uso de este plaguicida cerca de embalses de agua por el efecto sobre la vegetación y fauna asociada.

En situaciones forestales con aplicación aérea de glifosato, como en Caquetá en los programas del gobierno colombiano para la erradicación de *Erythroxylum coca*, la deposición de aspersion suele ser más alta en el dosel, lo que afecta no solo a las especies objetivo, sino también a la vegetación arbórea circundante.

Blackburn y Boutin (2003) observaron efectos en 7 de 11 especies probadas con 1%, 10% o 100% de glifosato (0,89 kg i.a./ha) formulado como una solución de Roundup rociada cerca de la madurez de la semilla.

En el estudio desarrollado por (Cieślak *et al.*, 2009) se compararon las respuestas fisiológicas de seis especies de plantas incluyendo cultivos populares e indicadores de contaminación del suelo (*Lepidium sativum*, *Sinapis alba*, *Sorghum saccharatum*, *Brassica napus*, *Lupinus luteus* y *Avena sativa*) cuando se les aplicó 16 glifosato concentraciones que oscilan entre 0 y 2000  $\mu\text{M}$ . Para el porcentaje de germinación de semillas, la masa seca de las plántulas y el electro conductividad del lixiviado de las plántulas, no hubo diferencia significativa con la aplicación del herbicida. Sin embargo, se observó una diferencia estadística en la longitud de la raíz de las plantas.

De acuerdo con lo anterior, los bioensayos que incluyen semillas y plántulas de especies superiores se consideran métodos efectivos y económicos para evaluar el efecto de los herbicidas. Para el departamento del Caquetá es esencial comprender el efecto del glifosato utilizado en la erradicación de cultivos ilícitos y en la aplicación de productores rurales sobre especies de interés agroforestal para la región.

Finalmente, con los resultados que obtuvimos en 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, como artículos científicos, un working papers los cuales será enviado a revistas indexadas categoría B en adelante para su publicación. También los resultados parciales serán presentados en evento(s) científico(s) nacionales.

De igual manera, se pretende contribuir 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 adelantaran trabajos de grado relacionados con el presente trabajo de investigación. Beneficiando la comunidad Unadista en general.

### **Pregunta de Investigación**

¿Cómo las dosis crecientes de glifosato afectaron la calidad fisiológica de semillas de especies de frutales de importancia agroforestal para el departamento del Caquetá?

¿Cuál fue el grado de susceptibilidad o de afectación generado por el uso del Glifosato en la calidad fisiológica de las semillas de las especies estudiadas?

### **Hipótesis**

Ho: Las concentraciones crecientes de glifosato afectan la calidad fisiológica de semillas de frutales de importancia para seguridad alimentaria, productiva, comercial y cultural.

H1: Las concentraciones crecientes de glifosato en nada afectan la calidad fisiológica de semillas frutales de importancia para seguridad alimentaria, productiva, comercial y cultural.

Ho: Las especies agrícolas presenta igual grado de susceptibilidad al Glifosato.

H1: Las especies agrícolas difieren en el grado de susceptibilidad al Glifosato.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar la viabilidad fisiológica de semillas de frutales de importancia agroforestal para el área amazónica de Colombia después de haber estado expuestas a intensidades crecientes de glifosato.

### **Objetivos Específicos**

Establecer la germinación de las semillas de frutales amazónicos a través de una prueba de laboratorio con rollos de papel.

Evaluar el crecimiento de plántulas en un medio a base de arena dentro de un ambiente de invernadero controlado.

Analizar las alteraciones en la conductividad eléctrica de las semillas al ser expuestas a glifosato.

## Marco Teórico y Conceptual

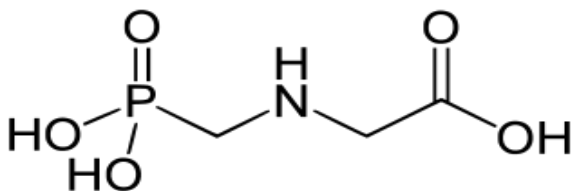
### Glifosato

El glifosato o N –(fosfonometil) glicina es un monofosfato y un análogo del aminoácido natural glicina lo cual se designa a la base conjugada de un ácido, por tanto, su fórmula química es identificada como C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>5</sub>P (*Figura 1*) que corresponde a un ácido orgánico débil formado por una molécula de glicina y otra de fosfonometilo. Su forma física es un polvo cristalino, blanco e inoloro a 20°C, con una densidad de 1,705 g/L, soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos, además no presenta volatilización significativa (Baer & Marcel, 2014) Es el ingrediente principal de diversos pesticidas comerciales para el control no selectivo de malas hierbas o maleza.

Entre los pesticidas a base de glifosato más utilizados en el mundo se encuentra el Rondup®, desarrollado por Monsanto Company en 1974 (Baer & Marcel, 2014) Como pesticida, este producto inhibe la 5-enilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) que reside en los plastidios (cloroplastos verdes de la planta) (Dayan *et al.*, 2019), una enzima de la ruta del shikimato requerida para la biosíntesis de los tres aminoácidos aromáticos (tirosina, triptófano y fenilalanina), que es el destino molecular y el destino necesario para el crecimiento y desarrollo de las plantas y bacterias (Burke & Bell, 2014).

### Figura 1

*Propiedades físicas y químicas Fórmula química del glifosato*



*Fuente:* (Redirect Notice, s. f.)

El glifosato en su forma pura, una utilidad farmacéutica para esta fórmula, solido, cristalito el cual no posee olor ni color. Para su uso en aplicaciones agrícolas y el control de malezas, este se formula como una sal que puede estar compuesta por el ácido glifosato combinado con diversos cationes, como isopropilamina, amonio o sodio (Agencia Internacional para la Re).

En términos de solubilidad, este acido nos muestra una moderada capacidad para disolverse en el agua con una solubilidad de 11.6 g/L a 25 °C pero no se disuelve en solventes orgánicos comunes como acetona, etanol o xileno (International Agency for Research on Cáncer, 2017). Es decir que el manejo afecta donde se aplique el glifosato.

El glifosato es eficaz contra un amplio espectro de malezas, y su aplicación varía según el tipo de cultivo y el objetivo del tratamiento. Por ejemplo, para el uso antes de la cosecha, después de la plantación y antes de la emergencia de las plantas, las dosis recomendadas son de 1,5 a 2 kg/ha. Para aplicaciones directas en viñedos, huertos, pastos y en la silvicultura, así como para el control industrial de malezas, se recomienda una tasa de aproximadamente 4,3 kg/ha. Para el control de malezas en cuerpos de agua, se sugiere una dosis de alrededor de 2 kg/ha (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, 2017). En el contexto de erradicación de cultivos ilícitos en Colombia, las dosis informadas son de 4,9 kg/ha para coca y 1,2 kg/ha para amapola (Solomon et al., 2005).

## **Historia**

La molécula del glifosato fue descubierta en 1990, por el suizo Henry Martin en la empresa farmacéutica Cilag. A pesar su descubrimiento, en ese momento el ácido no tuvo impacto ni reconocimiento. En 1959 la empresa Cilag fue adquirida por Johnson & Johnson que también vendió el glifosato a Aldrich Chemical, quien dirigía una compañía que

distribuyó el producto durante 60 años. Durante este periodo, Monsanto estaba investigando los compuestos para la descalcificación y sintetizó aproximadamente 100 compuestos muy similares al AMPA, de los cuales dos marcaron propiedades herbicidas.

Fue entonces cuando el Dr. John Franz comenzó a investigar el glifosato, y Monsanto logró sintetizarlo por primera vez en 1970. Después de realizar pruebas tanto en invernaderos como en campo, el glifosato fue lanzado al mercado en 1974.

Monsanto en 1982 inició la adaptación de Roundup Ready (RR), semillas genéticamente modificadas para ser resistentes al glifosato. También en 1985 crearon petunias híbridas resistentes al glifosato, pero sin comparación a la dosis que se usa en agricultura.

En 1989, Agracetus, Asgrow y Monsanto se unieron para desarrollar semillas modificadas genéticamente. Agracetus introdujo un nuevo método de transferencia de genes, Asgrow era un líder en la comercialización de semillas de soja, y Monsanto había desarrollado el gen de resistencia al glifosato (RR) ("A Short History of Glyphosate", 2017).

En 1992, Dupont pagó a Monsanto medio millón de dólares por los derechos perpetuos para usar la semilla de soja resistente al glifosato, mientras que Monsanto obtenía ingresos de la venta de Roundup.

En 1996, la semilla de soja Roundup Ready comenzó a ser comercializada por Ashgrow en colaboración con Monsanto, permitiendo su uso como herbicida post-emergencia y extendiendo significativamente el período durante el cual se podía aplicar el herbicida. Durante el primer año de cultivo de estas semillas, el glifosato representó el 3.8% del total de herbicidas utilizados en los cultivos (Coupe & Capel, 2016). Para 2009, el

glifosato constituía el 53,5% del total de herbicidas utilizados en la agricultura en Estados Unidos (Coupe & Capel, 2016).

En 2011 y 2012, se introdujeron alfalfa RR y remolacha RR, ampliando así los cultivos aptos para Roundup. Sin embargo, los frecuentes usos del glifosato han dado lugar a la proliferación de malezas con alto nivel de resistencia al mismo (Cerqueira *et al.*, 2011) lo que llevo a los agricultores a duplicar sus dosis.

Se han identificado entre 24 y 32 especies de malezas resistentes al glifosato, siendo 16 de ellas comunes en áreas con cultivos RR (Soumis, 2018). En 2010, la patente de Monsanto sobre el glifosato expiró, pero la empresa volvió a patentar el compuesto como antibiótico ese mismo año (Abraham 2005).

## **Uso**

Este ingrediente activo (Glifosato) es altamente efectivo contra las malas hierbas o malezas que afectan la producción de maíz, soya, algodón, frijol, etc. Sin embargo, la constante implementación de este producto a los cultivos afecta los suelos (Hickey, 2021), la producción de alimentos y los animales que intervienen allí de manera indirecta, causando daños ambientales.

El uso del glifosato en Colombia no es limitado, su intervención se ha desarrollado ampliamente en la lucha contra los cultivos ilícitos en las últimas décadas, puesto que el método de distribución de este material sobre los cultivos ilícitos ha sido controversial desde las políticas ambientales y la sociedad campesina debido a la aspersion aérea sobre los cultivos de coca y por afectar un alto espectro de biodiversidad andino-amazónica como la flora, fauna y la salud humana.

En el marco de plan de Colombia entre los años 1999 y 2015, se realizó aspersiones aéreas con glifosato en 1.800.000 hectáreas dentro del territorio colombiano (Ruano-Ibarra & Carreño, 2020). Desde entonces, las conveniencias del uso del glifosato en Colombia se han convertido en una discusión pública en la nación, debido a las posibles afectaciones en los ecosistemas y en la salud humana, entre ellas incluyendo efectos en la salud reproductiva (Ordoñez *et al.*, 2020).

El glifosato es el herbicida de uso más extendido a nivel global. Los herbicidas son sustancias químicas que modifican el metabolismo de las plantas de tal forma que causan su fallecimiento o impiden su crecimiento de manera considerable (Zimdahl, 2003). Este tipo de pesticida constituye cerca del 60% de todos los pesticidas empleados a nivel mundial, siendo el glifosato el encargado de entre 600 y 750 mil toneladas de pesticidas empleadas anualmente. La fabricación de glifosato se concentra principalmente en China. En 2017, la producción global de glifosato llegó a 1.065.000 toneladas, siendo Monsanto el productor principal con 380.000 toneladas y las compañías chinas aportando 685.000 toneladas (Markets, 2018).

La compañía Anhui Huaxing Chemical Industry Company, BASF, Bayer (que compró Monsanto), Dow AgroSciences, DuPont y Syngenta son algunos de los principales productores actuales (Dinero, 2019).

El ICA calcula que cerca de 45 compañías locales fabrican herbicidas basados en glifosato en Colombia (Montes, 2019). En la nación, el ICA, ANLA e INS han autorizado 118 formulaciones de glifosato, importando el 90% del componente activo. Su principal aplicación es en la gestión de malezas y como fertilizantes para los cultivos de algodón,

maíz, arroz y caña, con menos del 5% asignado a la eliminación de cultivos ilegales (Dinero,2019).

En el ámbito doméstico, especialmente en los EE. UU., es el segundo herbicida más utilizado, consumiéndose entre 2000 y 4000 toneladas anualmente en jardines. En Colombia y México se usa este herbicida para erradicar cultivos de uso ilícitos como coca y marihuana; no obstante, en Colombia se usa la dosis de glifosato más alta para erradicar.

De acuerdo con el fabricante, la acción es sistémica inhibiendo la síntesis de aminoácidos, por lo cual no se da la división celular, produce muerte de tejidos y muerte total de la planta en pocos días. Una vez absorbido por la planta no hay reversa y la muerte es inminente.

### **Causas y Efectos**

Las causas más evidentes del manejo inadecuado del glifosato se deben a la contaminación química de los suelos. Los tiempos de degradación (DT50) van de 3 a 174 días, por tanto, la vida media del glifosato para la degradación aeróbica en suelos de Ray, Drummer y Norfolk es de 3, 7 y 130 días, respectivamente. La degradación aeróbica en suelos arcilloso limoso es de 8.1 días, (Baer & Marcel, 2014). El glifosato es absorbido rápida y fuertemente por las partículas del suelo, lo cual impide su movilidad y lixiviación, y lo inhabilita para ser absorbido a través de las raíces de las plantas (Varona et al., 2009), permitiendo así que las plantas no tengan un desarrollo viable y produzca la muerte.

Los efectos de contaminación del agua se ven reflejada en los efectos bajo la toxicidad que esta representa, cuando el glifosato llega al agua es absorbido por partículas en suspensión o en sedimentación para luego ser degradado, lo cual ocurre más lentamente que en los suelos, a causa del menor número de microbios que amortiguan este fenómeno.

El glifosato alcanza permanencia media de 7 a 10 semanas en aguas naturales (Varona *et al.*, 2009).

El uso de herbicidas basados en glifosato afecta la calidad del agua y a organismos no considerados, modificando con esto la estructura y funcionalidad de ecosistemas acuáticos. Estas afectaciones incluyen retardo en el crecimiento de organismos como algas y peces, inhibición de eclosión de erizos, cambios histopatológicos en branquias de tilapia como proliferación de células filamentosas y picnosis en hígado y en riñón.,(Salazar López, 2011), cabe resaltar, que esta sustancia se disipa mucho más rápido en cuerpos de agua estáticos como lo son los lagos y lagunas, y que afecta de gran manera la biodiversidad de estos nichos.

## Especies Agroforestales para Evaluar

### Camu-camu (*Myrciaria dubia*)

#### *Descripción de la Especie*

El camu-camu (*Myrciaria dubia* Kunth McVaugh) es un arbusto nativo de la selva amazónica perteneciente a la familia Myrtaceae. Se le conoce como 'camocamo' (en Perú), 'caçari' o 'araçá d'água' (en Brasil), 'guayabo' y camu-camu (en Colombia), y 'guayabato' o 'guaiabito' (en Venezuela). El camu-camu crece de forma silvestre en las zonas inundables de los arroyos y en las orillas de los ríos, lagos o pantanos de la región amazónica (Perú, Brasil, Colombia, Ecuador y Venezuela). En su ambiente nativo, el árbol puede alcanzar de 4 a 8 m de altura, y puede permanecer hasta seis meses sumergido en agua, y crece naturalmente en la zona de la planicie de inundación. Además de la región amazónica, la especie se encuentra en los estados de Pará y Rondônia (Brasil), (Luduvig, 1997, como se cita en Justi *et al.*, 2000).

El camu-camu es una especie con un potencial económico capaz de colocarlo al nivel de otros frutales regionales tradicionales. La pulpa de la fruta se utiliza en forma de jugos, helados, vinos, licores, jaleas, dulces, cócteles y para dar sabor a pasteles y postres. Estados Unidos ya importó camu-camu de Sudamérica para producir tabletas con el nombre comercial de “camu-plus”, vitamina C natural.

La gran importancia del camu-camu como alimento se debe a su alto contenido de vitamina C (ácido ascórbico – 2.880 mg/100 g de pulpa), muy superior a la mayoría de las plantas cultivadas: la cantidad de ácido ascórbico en el camu-camu es 1,5 veces superior a la de la acerola (1.790 mg/100 g); 13 veces mayor que el anacardo (219,7 mg/100 g) y 65 veces mayor que el limón (44,2 mg/100 g). A pesar de ser el camu-camu un fruto de alto

valor nutritivo, es prácticamente ignorado por los caboclos de la región, quienes a lo sumo lo utilizan como snack o carnada para el pescado, que es el principal dispersor de semillas.

El nombre común más extendido para esta planta es Camu camu en varios países, aunque en Perú también se le conoce como camo camo, y en Brasil como caçari o arazá de agua. En Colombia, en Mitú, recibe el nombre de Minuake (Guanano), y en otras áreas del país se le llama guayabo. En Venezuela, se le conoce como guayabito (Rodrigues, 2001). En Perú, el término Camu camu se utiliza para referirse a cuatro tipos de plantas: la especie arbustiva *Myrciaria dubia*, que es el verdadero Camu camu; la especie arbórea *M. floribunda* (H. West ex Willd.) O. Berg, que produce frutos de color rojo intenso; *Myrciaria* sp 1, un árbol de Camu camu con frutos maduros de cáscara marrón y mayor peso que *M. floribunda*; y finalmente, *Myrciaria* sp 2, conocida como Camu camu dulce, que tiene frutos pequeños y negros al madurar. En cuanto a su distribución geográfica, *Myrciaria dubia* se encuentra en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guayana, Perú y Venezuela, según las colecciones del Missouri Botanical Garden. Chávez (1993), señala que “esta especie se desarrolla principalmente en la cuenca alta del río Orinoco hasta el estado de Rondonia en Brasil”, siendo la Amazonía peruana el área con la mayor concentración de Camu camu, especialmente entre Pucallpa y Pevas.

### ***Hábitat de Crecimiento***

El Camu camu (*Myrciaria dubia*) crece de manera natural a lo largo de los bordes de ríos, pequeños cauces y lagos en várzeas e igapós de la región amazónica, donde forma extensos bosques. Se desarrolla en cuerpos de agua negra de origen amazónico, en áreas de agua blanca y principalmente en suelos de restinga baja o llanuras inundables. Prefiere los meandros abandonados conocidos como cochas, que parecen ser los más adecuados para su

crecimiento, aunque también se encuentra en otros paisajes fisiográficos como las tierras firmes. En las áreas de restinga, el Camu camu se beneficia notablemente de la sedimentación de material disuelto en el río, lo cual ayuda al almacenamiento de nutrientes. En contraste, en las tierras firmes, es necesario el uso de fertilizantes, lo que incrementa los costos de producción (Villachica, 1996; Pinedo *et al.*, 2001). El ambiente del bosque húmedo tropical favorece su desarrollo, con una temperatura media de 26°C y precipitaciones anuales que varían entre 2500 y 4000 mm. La especie se encuentra generalmente a unos 100 metros sobre el nivel del mar, aunque puede crecer hasta los 300 metros sobre el nivel del mar. Las pequeñas variaciones en altitud pueden causar diferencias significativas en términos ecológicos, biológicos y productivos. *Myrciaria dubia* es una planta arbustiva que tolera las inundaciones, siendo capaz de permanecer sumergida durante cuatro a cinco meses y sus plántulas pueden estar completamente cubiertas de agua durante los primeros dos o tres años de crecimiento (Pinedo *et al.*, 2001). Las zonas de restinga, que suelen estar inundadas la mayor parte del año, utilizan estas inundaciones como una estrategia para controlar malezas, regular las poblaciones de insectos y mantener una alta concentración de nutrientes. Los frutos son consumidos por peces como el paco y la gamitada. Esta especie se encuentra en Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guayana, Perú y Venezuela. En Colombia, está presente en el departamento de Amazonas, en las localidades de Amacayacú y Tarapacá sobre el río Putumayo, en el Vaupés en Tabú sobre el río Vaupés (COAH, 2008) y en el río Inírida en Guainía (Pinedo *et al.*, 2001). En el corregimiento de Tarapacá, se ha observado en los lagos de Pechiboy, Santa Clara y Juro de Brasil, Sacambú, Lago Quinina y Lago Ventura.

### ***Hábito y Morfología***

El Camu camu es un arbusto hasta de 8 m de altura, bastante ramificado desde la base. La raíz tiene forma cónica que alcanza una profundidad hasta 50 cm de la superficie, con numerosas raíces no 11 muy profundas. Los tallos son teretes, con diámetros hasta de 15 cm, corteza lisa y color marrón, que desprende en finos ritidomas después de las inundaciones. La estructura de la copa varía desde estrechas o columnares hasta anchas o coposas. Sus hojas son simples, opuestas, ovadas, elíptica o lanceoladas con una lámina de 5,6 a 11 cm de longitud y 1.8-5 cm de ancho, con ápice acuminado, base redondeada y margen entera a ondulada; la venación es reticulada, con la vena media plana por la haz y poco prominente por el envés y con 8-24 pares de venas secundarias.

### ***Caracterización Florística***

En el hábitat del camu camu, se observa una notable asociación entre esta especie y otras plantas arbustivas como *Psidium densicomum* (Myrtaceae), conocido localmente como guayabilla, y una especie indeterminada de Rubiaceae, que parece corresponder a *Psyttrochia*, llamada canilla de vieja. El coeficiente de mezcla en esta área es de 0,046, lo que indica una vegetación bastante homogénea, típica de un bosque oligárquico.

### **Figura 2.**

*Recolección de frutos de Myrciaria dubia*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 3.**

*Selección de los frutos Myrciaria dubia aptos para proceder a investigación.*



*Fuente. Autoría propia.*

**Figura 4**

*Lavado y despulpado de frutos de Myrciaria dubia.*



*Fuente.* Autoría propia.

El cupoazu es una planta perenne, que en condiciones naturales y de propagación por semilla es rectilínea con ramificación tricotómica. Los ejemplares en condiciones naturales, encontrados en Marabá, Pará, tenían entre 15 y 25 cm de altura, con un tronco recto de 25 a 30 cm de diámetro. En áreas cultivadas, la altura varía de 6m a 10m y el dosel varía en forma y diámetro, dependiendo del manejo. El sistema de raíces tiene una raíz pivotante y, en los primeros 20-25 cm de profundidad del suelo, desarrolla una gran cantidad de raíces laterales o secundarias.

### **Copoazu (*Teobroma grandiflorum* Schum)**

#### ***Descripción de la especie***

El cupuaçuzeiro es un árbol típico de la región amazónica, cultivado en los estados de Pará, Rondônia, Amazonas, Acre y Maranhao. Es considerado uno de los mejores y más árboles frutales prometedores en el Amazonas. Viene el cupuaçu destacándose como uno de los frutos regionales amazónicos de intensa difusión en territorio brasileño y con gran potencial de industrialización. Su valor económico es basado principalmente en la industrialización y comercialización pulpa, disfrutada en forma de jugo, crema, dulces y

otro procesamiento culinario. A pesar de constituir alrededor del 20% del peso del fruto y tienen un alto valor nutritivo, las semillas son prácticamente descartados en el procesamiento de la fruta. En por sus propiedades, la semilla se considera valiosa, porque tiene una similitud botánica y química con la semilla de cacao, lo que permite su uso en la fabricación de similar al chocolate (Cohen; Jackix, 2005). El proceso de la industrialización de las semillas de copoazú ocurre en un similar a la de los granos de cacao, que incluye las etapas de fermentación, secado y tostado.

### ***Características Botánicas***

El *Theobroma grandiflorum Schum* es un árbol de tamaño mediano a grande, que puede alcanzar hasta 20 metros de altura; con hojas grandes, alternas con forma elíptica u ovalada con los bordes dentados, resaltando el verde brillante. El copoazu posee flores grandes de color blanco o algunas veces rosas pálidas con una fragancia encantadora, agrupándose en terminales axilares; esta floración sucede en épocas de lluvia, para luego darnos un fruto en forma de capsula grande y redonda de unos 20-25 cm brindando una pulpa comestible de color blanco o amarillento.

### ***Cultivo y Producción***

El copoazu requiere un clima tropical, cálido y húmedo por eso se da perfectamente en la amazonia, este prefiere temperaturas de 24 – 28 °C y una pluviosidad alta al año. este cultivo es exigente en sus suelos, pues deben estas bien drenados y con un pH ligeramente ácido a neutro. Para que sus frutos se den sanos y cuando sea la cosecha y estén maduros que normalmente tienen una cáscara dura color marrón oscuro. La pulpa se extrae para realizar diferentes derivados nutricionales.

### ***Usos del Copoazú***

Los usos de estos productos son muchísimos, a lo largo de la historia se ha venido descubriendo los múltiples beneficios del mismo y empleándolo de diferentes maneras ya que en la gastronomía tiene una amplia gama de sabores que le aporta de los platos, no obstante, una buena fuente de vitaminas A y C y minerales que lo hacen un producto con un sabor único.

El copoazu no deja a tras las grandes líneas de la cosmética, ya que ahí también es usado en infinidad de productos que aportan suavidad a la piel humana, aportando hidratación por sus propiedades emolientes, por tanto, aporta vigor a la salud tradicional.

### ***Investigación y Desarrollo***

Investigaciones han mostrado que la pulpa de copoazú tiene un perfil nutricional beneficioso y es rica en compuestos bioactivos, lo que la convierte en un alimento funcional. Alviárez y col, (2016) informaron que “el aceite extraído de las semillas de *T. grandiflorum* exhibió índices de calidad favorables”, lo que indica posibles aplicaciones en las industrias alimentaria y cosmética.

El cultivo de copoazú puede ser una alternativa sostenible para la agricultura en la región amazónica, contribuyendo a la conservación del bosque al proporcionar una fuente de ingreso para las comunidades locales.

### **Figura 5**

Árbol *Teobroma grandiflorum* Schum.



*Fuente:* autoría propia.

**Figura 6.**

*Recolección de fruto y pulpa Teobroma grandiflorum Schum*



*Fuente:* autoría propia.

**Figura 7**

*Lavado y despulpado de frutos de Teobroma grandiflorum Schum.*



*Fuente:* autoría propia.

### **Cocona (*Solanum sessiliflorum*)**

#### ***Descripción de la especie***

La cocona o lulo amazónico (*Solanum sessiliflorum*) es una solanácea arbustiva, originaria de la región del alto Orinoco de la cuenca amazónica. Actualmente, se puede encontrar en toda la Amazonía brasileña, peruana, ecuatoriana, colombiana y venezolana, tanto en forma cultivada como en condiciones sub espontáneas. Se le conoce popularmente como “topiro” en Perú y Venezuela, “cocona” en Colombia y Venezuela, “tomate de indio” en el estado de Pernambuco, “orinoco apple” o “peachtomato” en los países de habla inglesa, así como “maná” en la Amazonía, (Oliveira, 1999).

#### ***Distribución***

Esta planta es una especie nativa de América Tropical, de las vertientes orientales de los Andes (León, 1987). Se encuentra distribuida en las cuencas amazónicas de Brasil, Ecuador, Colombia, Perú y Venezuela. Los departamentos de la selva peruana en los cuales se cultiva dicha fruta son: Loreto, San Martín, Ucayali, Huánuco, Junín, Pasco y Ayacucho (Flores, 1997).

### ***Clima***

Las condiciones ambientales a las cuales se puede adaptar son: precipitación promedio anual de 2,000 a 4,000 mm bien distribuida; temperatura promedio anual de 17 – 30 °C; humedad relativa de 70 – 90 %; y altitudes que varían desde el nivel del mar hasta 1200 msnm (Flores, 1997). Según Morton (1987), en la Florida y Trinidad, “la cocona crece a nivel del mar. En Colombia, crece desde el nivel del mar a una elevación de 610 m, mientras que en América del Sur prospera en las altitudes que van desde los 910 - 1.200 m”.

### ***Suelo***

El cultivo puede darse en varios tipos de suelos, de baja a alta fertilidad, teniendo siempre en cuenta que necesita un buen drenaje que es un punto esencial para esta planta (Flores, 1997). La cocona crece en suelos de fertilidad media según encuestas realizadas en Perú. En la Amazonía del Brasil se ha adaptado de buena manera a la arena pura. En Puerto Rico, se ha dado bien en arcilla; mientras que en la Florida meridional crece en la piedra caliza escarificada (Morton, 1987). 1 Fuente: Flores, S.

### ***Variedades***

Según Morton (1987), la variedad salvaje, topiro var. georgicum Heiser, de las tierras bajas de Colombia y de Ecuador del este,” es una planta más pequeña que presenta frutos más pequeños”. Esta se cruza espontáneamente por hibridación con la variedad típica topiro. En Perú, se distinguen 4 tipos: a) redondo, asemejándose a una manzana, amarillo; b) en forma de pera; c) medio, amarillo; d) pequeño, púrpura – rojo. La cocona de tamaño mediano tiene demanda más grande en el Perú, especialmente para jugo (Morton, 1987).

### ***Utilización***

Según Flores (1997), las partes comestibles son la pulpa y el mucilago que rodea las semillas del fruto maduro; éstas “pueden ser utilizadas para la preparación de refrescos, jarabes, helados, jugos, encurtidos, caramelos y ensaladas”. En la industria se utiliza para la elaboración de jaleas, néctares y mermeladas. También presenta usos en la medicina tradicional, tales como: tratamiento de quemaduras, escabificada, antidiabético, antihipertensivo y antiofídico (Flores, 1997).

### ***Métodos de Propagación***

#### **Propagación Sexual.**

Según Flores (1997), la propagación de esta fruta por semillas botánicas es la metodología más fácil; una vez extraída la semilla de los frutos maduros procedentes de las plantas seleccionadas, son lavadas con mucho cuidado y oreadas. La siembra en almácigos bajo sombra consiste en colocar la semilla en surcos a chorro corrido, en cajones que miden 1x 1x 0.2 m, éstos están rellenos con aserrín húmedo descompuesto y desinfectado, y se cubren con 0.5 cm del mismo substrato. Después de la germinación que se da entre 15 - 30 días y cuando las plántulas están listas, se trasladan a bolsas plásticas negras de 2 kilos de capacidad, en las cuales se usan substratos que contienen tierra negra, arena y materia orgánica descompuesta en una proporción de 1:1:1. Luego de 2 - 3 meses cuando las plantas han alcanzado una altura de 20 - 25 cm se trasplantan al campo. Se deben efectuar controles fitosanitarios y brindarle un buen riego periódico en el vivero (Flores, 1997).

#### **Propagación Asexual.**

La cocona se puede propagar vegetativamente por estacas y por injerto. En el primer método se utilizan estacas semi - leñosas de 1 cm de diámetro por 30 cm de largo, tratando

de colocar de forma lo más inclinada posible las estacas, en un substrato de aserrín descompuesto y desinfectado. En la propagación por injerto se utiliza el método de hendidura terminal y se hace sobre un pie de una solanácea silvestre como *Solanum torvum* (Flores,1997).

### **Germinación.**

Este fruto tarda en germinar de 15 a 30 días.

### **Figura 8**

*Recolección de frutos de Solanum sessiliflorum.*



*Fuente. Autoría propia*

### **Figura 9**

*Lavado y despulpado de frutos de Solanum sessiliflorum.*



*Fuente.* Autoría propia

**Artículos de estudios de especies nativas amazónicas que involucran importancia comercial y desarrollo al territorio amazónico:**

*Aprovechamiento del Asaí (Euterpe oleracea) The Amazonian caboclo and the açai palm: Forest farmers in the global market*

Esta fruta amazónica es una palmera, cuyos frutos poseen gran valor en mercados internacionales debido a sus importantes propiedades nutricionales. Según los estudios realizados han causado gran impacto en la sostenibilidad de su explotación y en comunidades locales Brondízio, E. S. (2008).

*Shiringa (Hevea brasilienses) y Producción de Caucho Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation.*

La gran explotación del caucho amazónico que a través de la historia ha marcado gran tendencia, fue analizado en los estudios recientes como manejar la producción de látex de manera sostenible, además La explotación del caucho en la Amazonía tiene una larga historia, y los estudios recientes se han centrado en cómo manejar la producción de látex de manera más sostenible, además de recuperar áreas afectadas por la sobreexplotación histórica, (Barlow, *et al.*, 2016).

*Cacao Nativo (Theobroma cacao) Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (Theobroma cacao L)*

El cacao nativo ha generado interés a partir de décadas tanto por su valor económico como por sus vínculos culturales, el estudio de mercado ha demostrado que las variedades nativas pueden posicionarse en mercados de nicho, (Motamayor, *et al.*, (2008).

***Aguaje (Mauritia flexuosa) Livelihood impacts of payments for environmental services in the Brazilian Amazon: An analysis of causality and sustainability.***

Esta palma frutal con índice alto de explotación en la Amazonía, posee una fruta con alto valor comercial ya que demanda por sus propiedades nutricionales y cosméticas, los estudios han analizado las formas de mejorar los cultivos y su cosecha para no degradar los diferentes ecosistemas, (Virapongse, *et al.*, 2016).

***Bacaba (Oenocarpus bacaba) Bacaba (Oenocarpus bacaba): A fruit from the Amazon with potent antioxidant properties.***

Este fruto amazónico ha llamado la atención por su alto contenido de antioxidantes y su uso en bebidas tradicionales. Los estudios recientes han descubierto en este fruto un potencial para mercados internacionales (Schauss, *et al.*, 2006).

***Guayaba Amazónica (Psidium guajava) Psidium guajava: Propiedades nutricionales y potencial comercial en la Amazonía peruana.***

La guayaba amazónica ha sido tradicionalmente utilizada por sus propiedades medicinales. Estudios recientes exploran su comercialización en mercados locales y su potencial para ser cultivada a gran escala en sistemas agroforestales sostenibles (Aguila, & Villarreal, 2015).

***Ubim (Geissospermum argenteum) Geissospermum argenteum: An overlooked fruit with economic potential in the Brazilian Amazon.***

El Ubim es una fruta nativa de la Amazonía que ha sido tradicionalmente subexplotada. Los estudios han identificado su potencial para mercados de alimentos

exóticos y han comenzado a explorar el manejo en sistemas agroforestales que son de gran impacto de conservación (Carvalho & Costa, 2021).

***Inga (Inga edulis) The role of Inga edulis in Amazonian agroforestry systems and its commercial potential.***

El inga es un fruto común de la amazonia que ha sido objeto de estudios recientes para mejorar su cultivo como parte de sistemas agroforestales. Su comercialización ha sido incentivada por sus propiedades nutricionales y su capacidad alta de fijar nutrientes al suelo como el nitrógeno que benefician grandemente a los cultivos Sousa, R. S., (Carvalho & Pires, 2019).

Estos estudios anteriormente mencionados muestran de manera detenida el creciente interés en promover el desarrollo sostenible de la amazonia mundial mediante la explotación de solo especies nativas. Cada una de estas investigaciones académicas son claves para equilibrar las demandas económicas con la conservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades y otros factores que incurren en el desarrollo de los territorios.

## Metodología

### Área de Estudio

Este estudio se realizó bajo condiciones controladas en el laboratorio multipropósito de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CEAD Florencia.

### Enfoque Investigativo

El documento adopto un enfoque **cuantitativo**, que emplea la recopilación y el análisis de datos para abordar preguntas de investigación y validar hipótesis predeterminadas. Se basa en la medición numérica, el conteo y el análisis estadístico para identificar con precisión los patrones de comportamiento dentro de una población determinada.

### Diseño Experimental

Se realizaron tres experimentos independientes (germinación, emergencia). Los tratamientos en cada experimento consistirán de las mismas dosis de 0, 1.8, 3.6, 5.4 y 7.2 g.L<sup>-1</sup> de a.e. del producto comercial Stop West®, con fórmula original que contiene 480 g.L<sup>-1</sup> de sal de isopropilamina de N-(fosfometil) glicina, 360 g.L<sup>-1</sup> del equivalente ácido (e.a.) de N-(fosfometil) glicina (GLIFOSATO) y 648 g.L<sup>-1</sup> de ingredientes inertes. La dosis intermedia de 3,6 g.L<sup>-1</sup> de a.e. corresponde a la recomendación técnica de 2.5L Ha<sup>-1</sup> para la mayoría de las malezas. El diseño experimental será bloques completamente al azar con 4 repeticiones, cada repetición constará de 25 semillas, totalizando 500 para cada especie. Los experimentos se repetirán dos veces.

### Figura 10

*Semillas de Teobroma grandiflorum schum en dosis de glifosato y la dosis testigo*



*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 11.**

Preparación de cada una de las dosis 0, 1.8, 3.6, 5.4 y 7.2 g.L-1.



*Fuente.* Autoría propia.

**Figura 12**

*Semillas de Myrciaria dubia sometidas a las dosis de glifosato y dosis testigo.*



*Fuente.* Autoría propia.

Los frutos de las especies agroforestales de árboles madre se trataron según la metodología de Carneiro Moreira *et al.* (2021). Luego de la recolección, los frutos fueron depositados en bolsas de papel y llevados al laboratorio donde las semillas son procesadas manualmente para eliminar aquellas con malformaciones. Se eliminarán los restos de minerales y residuos orgánicos y se lavan con agua corriente, luego se sumergen en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante un minuto para la desinfección fúngica.

Las semillas se remojan durante media hora a dosis del herbicida glifosato. Después de la imbibición, se evalúa la calidad fisiológica de las semillas según los tres experimentos que se describen a continuación.

### **Germinación.**

Las semillas se distribuyeron en dos hojas de papel para germinación, cubiertas con una tercera y dispuestas en forma de rollos húmedos con agua en la proporción de 2,5 veces el peso del papel seco. Posteriormente, los rollos se embalaron en bolsas de plástico y se colocaron sobre mesón a temperatura controlada de 28 ° C. La germinación fue monitoreada diariamente y se consideraron germinadas aquellas semillas en las cuales se

observó emisiones de raíces primarias (Curiel & Moraes, 2011). El primer conteo (PC) de germinación se realizó junto con la prueba de germinación, calculando el porcentaje de plántulas normales obtenidas a los siete días y la germinación contada a los 14 días después de la siembra (BRASILIA, 2013). Se evaluó el porcentaje de semillas germinadas (G), el índice de velocidad de germinación (IvG), el tiempo medio de germinación (TMG) y la velocidad media de germinación VmG, (Brasilia, 2013).

### **Figura 13**

*Germinación semilla de Teobroma grandiflorum Schum en dosis testigo 0 g.L-1.*



*Fuente:* Autoría propia

### **Figura 14**

*Montaje para germinación de Solanum sessiliflorum en rollo de papel dosis 7.2 g.L-1.*



*Fuente:* Autoría propia

### **Figura 15**

*Germinación semilla de Myrciaria dubia en dosis testigo 0 g.L-1.*



*Fuente:* Autoría propia

### **Emergencia.**

La siembra se realizó manualmente en bandejas de plástico (40 x 26 x 7 cm), las cuales contenían arena a 4 cm de profundidad. Las semillas se distribuyeron en filas. El experimento se mantuvo bajo temperatura controlada de 28°C, luz natural y la arena se humedecerá al 60% de su capacidad de retención con aplicación manual cuando sea necesario. Se realizaron observaciones diarias desde el primer día después de la siembra, contando el número de plántulas emergidas en cada fila. El índice de velocidad de emergencia (IVE) será determinado por la suma del número de plántulas normales emergidas diariamente y dividido por el número de días transcurridos entre la siembra y la emergencia, Maguire (1962). También se evaluó el porcentaje de no germinados (NG), el índice de velocidad de emergencia (IVE), (Brasilia, 2013). Después del final de las observaciones, la longitud del tallo (parte aérea) y las raíces de las plántulas normales se tomarán con la ayuda de una regla graduada. Inmediatamente, parte aérea y raíces se

empacaron en bolsas de papel y se llevarán a horno con circulación forzada de aire, a temperatura de 55 ° C hasta que alcanzaron un peso constante y el material se pesó en una balanza de precisión de 0,001 g (Bento *et al.*, 2010).

### Figura 16

*Semillas de Teobroma grandiflorum schum en germinación arena dosis 3,6 g.L-1. T3-t4.*



*Fuente:* Autoría propia

### Figura 17

*Semillas de Solanun sessiflorum en germinación arena dosis 0 g.L-1.*



*Fuente.* Autoría propia

**Figura 18**

*Semillas de Myrciaria dubia en germinación arena dosis 1,8 g.L-1.*



*Fuente:* Autoría propia

**Conductividad eléctrica.**

Después de sumergir las semillas durante 30 minutos en los tratamientos, se colocaron 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 & Vieira, 2006).

**Análisis estadístico.**

Las variables PC, IvG, TMG, VMG para el ensayo de germinación, IvE, VmE, para la prueba de emergencia en sustrato de arena fueron sometidas a la prueba de Shapiro-Wilk para verificar el análisis de varianza. Después de verificar la homogeneidad y la normalidad, los datos de la repetición de los experimentos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencia estadística entre las repeticiones de los experimentos. Para las variables en las que haya diferencia significativa por efecto del tratamiento los datos se sometieron a análisis de regresión. La calidad del análisis de

regresión se evaluó en base al coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Las medias fueron separadas por la prueba HSD de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Los datos se analizarán utilizando el paquete "Agricolae" en el software R.

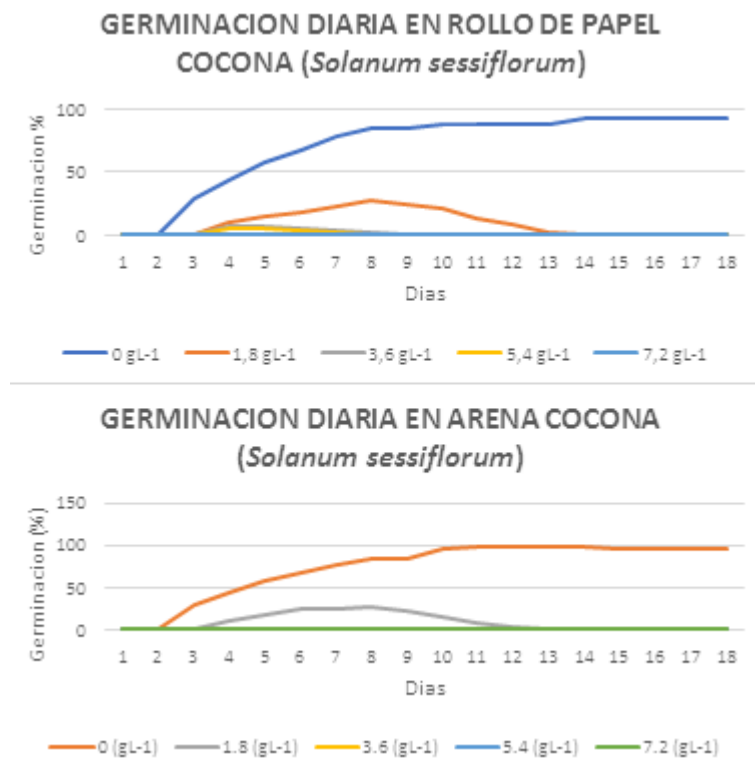
## Resultados.

### *Solanum sessiflorum*

Los resultados obtenidos con los tratamientos de semillas de *Solanum sessiflorum* con el uso de dosis crecientes de glifosato presentan el efecto herbicida de esta molécula en relación a las semillas trabajadas y evaluadas en experimentos sobre sustrato de rollo de papel y arena (Figura 19).

### Figura 19

*Germinación diaria en rollo de papel y arena para Solunum sessiflorum.*



Fuente. Autoría propia.

En cuanto a los análisis estadísticos del ensayo con rollo de papel, para la variable Primer conteo ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue superior con un 44,00% de germinación, diferenciándose de los demás tratamientos. Para la variable Germinación

( $p < 0,01$ ), el mismo tratamiento resultó el mejor con un 92,00% de germinación, destacándose por sobre otros tratamientos investigados. Además, para la variable IVE ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  mostró el mejor índice de 14,75, distinguiéndose del resto de los tratamientos. Finalmente, en lo que se refiere a TMG ( $p = 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue también el más efectivo, siendo similar a los tratamientos con dosis de 1,8 y  $3,6 \text{ g.L}^{-1}$  según la prueba de Tukey, pero diferente de los demás. Para la variable VMG ( $p = 0,01$ ), no se observaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de 0,0, 1,8 y  $3,6 \text{ g.L}^{-1}$  según el test de Tukey (Tabla 1).

En relación con los análisis estadísticos del ensayo en sustrato de arena, para la variable Primer Conteo ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  mostró un 44,00% de germinación, siendo diferente a los demás tratamientos. Para la variable Germinación ( $p < 0,01$ ), el mismo tratamiento obtuvo un 95,00% de germinación, posicionándose como el mejor entre los tratamientos investigados. Asimismo, para la variable IVE ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  alcanzó el mejor índice de 15,00, diferenciándose de los otros tratamientos. Por último, para las variables TMG ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  se destacó con un valor de 22,49 según la prueba de Tukey. En consecuencia, para la variable VMG ( $p < 0,01$ ) se evidenciaron diferencias estadísticas, y según el test de Tukey, la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  resaltó con un índice de 0,5 (Tabla 1).

Para la prueba de conductividad eléctrica en semillas de *Solanum sessiflorum* no hubo diferencia estadística ( $p > 0,05$ ) en la solución con el incremento de las dosis de glifosato.

**Tabla 1**

*Resultados medios, ANOVA y Tukey para semillas de **Solanum sessiflorum** tratadas con dosis crecientes de glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).*

---

**SUBSTRATO ROLLO DE PAPEL**


---

Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	Variables (Prueba de Tukey)				
	PC	G	IVE	TMG	VMG
0,0	44.000 b	92.000 c	14.552 d	22.417 c	0.0425 b
1,8	11.000 b	0.000 a	2.175 c	18.872 bc	0.050 b
3,6	7.000 b	0.000 a	0.3825 b	16.412 bc	0.060 b
5,4	5.000 b	0.000 a	0.260 b	12.200 b	0.045 b
7,2	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a
<b>DMS</b>	13,951	3,1901	1,2706	7,9731	0,02970
<b>CV%</b>	47.67	7.94	16.75	26.11	34.43

---

**SUSTRATO DE ARENA**


---

Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	Variables (Prueba de Tukey)				
	PC	G	IVE	TMG	VMG
0,0	44.000 b	95.000 b	15.212 c	22.497 c	0.040 b
1,8	11.000 a	0.000 a	2.140 b	18.100 b	0.052 c
3,6	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a
5,4	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a
7,2	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a	0.000 a
<b>DMS</b>	13,297	1,9535	1,5338	1,0770	0,004883
<b>CV%</b>	55.35	4.71	20.24	6.07	12.09

---

*Nota:* Se observa que en las variables **PC, G, IVE, TMG, VMG** en ambos los sustratos, el aumento de la dosis de las sustancias aplicado a las semillas de *Solanun sissiflorum*, reduce los valores de las variables evaluadas, especialmente a partir de 3.6 g. L-1 donde los valores reducen drásticamente a 0.000 también **DMS** y **CV%** indican la dispersión y la significancia de las diferencias entre los tratamientos.

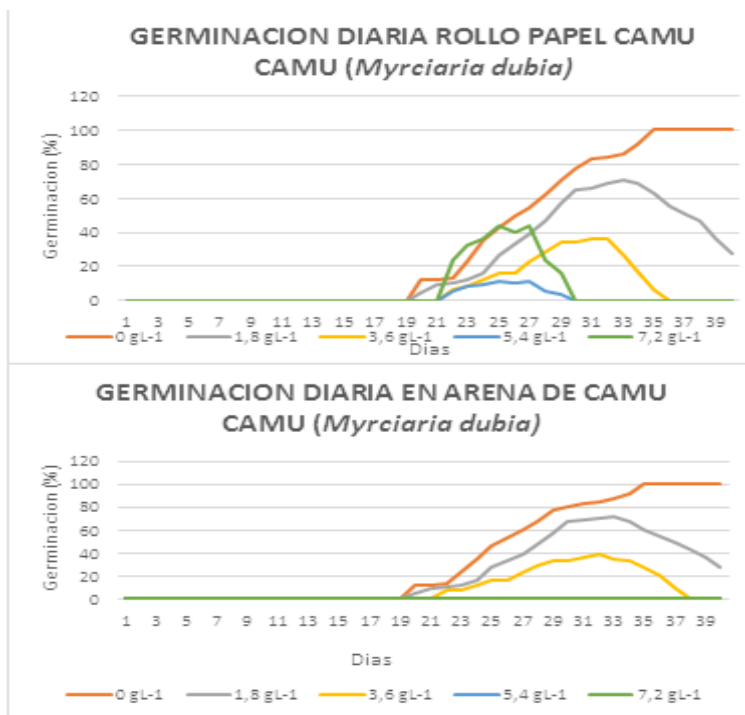
*Fuente.* Autoría propia.

### *Myrciaria dubia*

En relación con los tratamientos de dosis crecientes de glifosato con semillas de *Myrciaria dubia*, podemos verificar el efecto herbicida de esta molécula en relación a las semillas trabajadas y evaluadas en experimentos en sustrato de rollo de papel y arena (Figura 20).

### Figura 20.

*Germinación diaria en rollo de papel y arena para Myrciaria dibia.*



En cuanto a los análisis estadísticos del ensayo con rollo de papel, para la variable Primer Recuento ( $p < 0,01$ ) se observaron diferencias entre tratamientos, siendo la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  la más efectiva con un 12,00% de germinación según la prueba de Tukey. Para la variable germinación ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  también resultó ser el mejor, logrando un 100,00% de germinación y diferenciándose significativamente de otros tratamientos evaluados mediante la prueba de Tukey. En cuanto a la variable IVE ( $p < 0,01$ ), la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  mostró el índice más alto con 11,57, superando al resto de los tratamientos. Respecto a la variable TMG ( $p < 0,01$ ), los tratamientos con  $0,0$  y  $1,6 \text{ g.L}^{-1}$  fueron los mejores, mostrando diferencias estadísticamente significativas respecto a los demás tratamientos. Por último, para la variable VMG ( $p = 0,01$ ), el análisis de Tukey reveló diferencias estadísticas entre tratamientos, destacándose las dosis de  $0,0$ ,  $1,8$  y  $3,6 \text{ g.L}^{-1}$  por ser similares entre sí pero distintas de las otras.

En relación con los análisis estadísticos del ensayo en sustrato de arena, las variables Primer Recuento ( $p < 0,01$ ) y germinación ( $p < 0,001$ ) mostraron que la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue superior, alcanzando un 100,00% de germinación y distinguiéndose claramente de los otros tratamientos. Para la variable IVE ( $p < 0,01$ ), nuevamente el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  alcanzó el mejor índice con 11,80, diferenciándose del resto. Finalmente, en cuanto a las variables TMG ( $p < 0,01$ ) y VMG ( $p < 0,01$ ), la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue la más destacada, mostrando diferencias significativas en el ensayo de Tukey con índices de 33,24 y sobresaliendo entre las demás para VMG.

Para la prueba de conductividad eléctrica en semillas de *Myrciaria dibia* no hubo diferencia estadística ( $p > 0,05$ ) en la solución con el incremento de las dosis de glifosato.

**Tabla 2**

Resultados medios, ANOVA y Tukey para semillas de *Myrciaria dubia* tratadas con dosis crecientes de Glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).

**SUBSTRATO ROLLO DE PAPEL**

Variables (Prueba de Tukey)					
Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	PC	G	IVE	TMG	VMG
0,0	12.00 c	100.00 c	11.545 d	33.350 d	0.040 a
1,8	5.0 b	47.00 b	7.275 c	32.460 d	0.040 a
3,6	0.0 a	0.0 a	2.605 b	29.262 c	0.032 a
5,4	0.0 a	0.0 a	0.645 a	24.922 b	0.030 b
7,2	0.0 a	0.0 a	0.185 a	22.967 a	0.030 b
<b>DMS</b>	680,943	9,232	0,996	1,467	0,00488
<b>CV%</b>	50.37	14.38	10.25	2.35	6.48

**SUSTRATO DE ARENA**

Variables (Prueba de Tukey)					
Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	PC	G	IVE	TMG	VMG
0,0	100.000 c	100.000 c	11.815 d	33.247 d	
1,8	47.000 b	47.000 b	7.270 c	32.405 c	
3,6	0.00 a	0.00 a	3.155 b	30.485 b	
5,4	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	
7,8	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	
<b>DMS</b>	9,232	9,232	0,832	0,414	
<b>CV%</b>	14.38	14.38	8.57	0.99	0.00

Nota: Se observa que en las variables **PC, G, IVE, TMG, VMG** en ambos sustratos, el aumento de la dosis de las sustancias aplicado a las semillas de *Myrciaria dubia*, reduce los

valores de las variables evaluadas, especialmente a partir de 3.6 g. L-1 donde los valores reducen drásticamente a 0.000 también **DMS** y **CV%** indican la dispersión y la significancia de las diferencias entre los tratamientos.

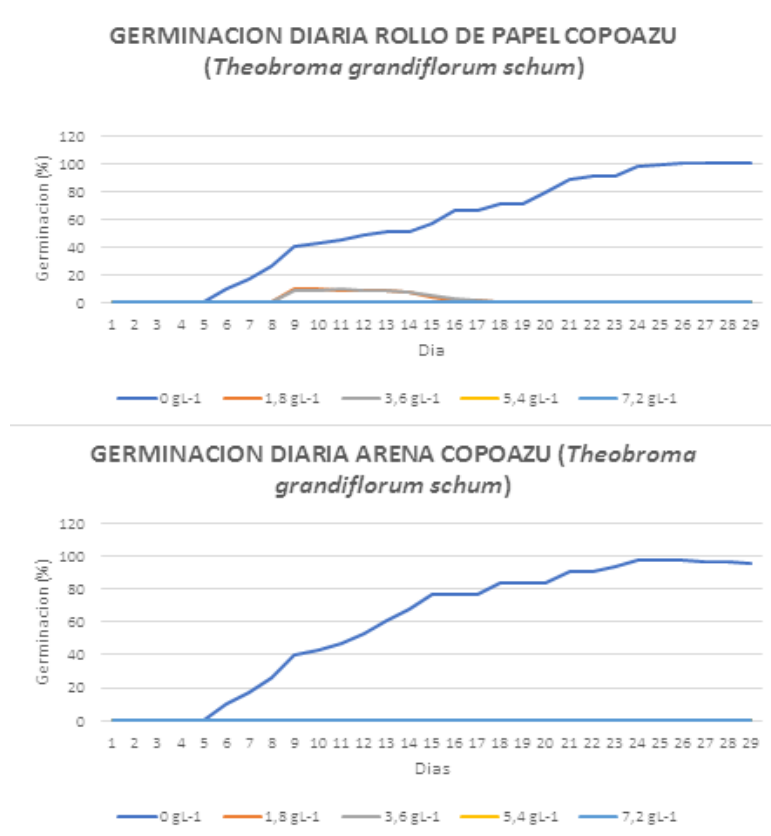
*Fuente.* Autoría propia.

### ***Theobroma grandiflorum schum***

En relación con los tratamientos de dosis crecientes de glifosato con semillas de *Theobroma grandiflorum schum*, podemos verificar el efecto herbicida de esta molécula en relación a las semillas trabajadas y evaluadas en experimentos sobre sustrato de rollo de papel y arena (Figura 21).

#### **Figura 21**

*Germinación diaria en rollo de papel y arena para Theobroma grandiflorum schum.*



*Fuente:* Autoría Propia

Respecto a los análisis estadísticos realizados sobre el ensayo con rollo de papel, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para la variable Primer Recuento ( $p < 0,01$ ), destacando la dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  con un 57,00% de germinación, según la prueba de Tukey. En cuanto a la variable Germinación ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  también fue el más efectivo, alcanzando un 100,00% de germinación y diferenciándose de los otros tratamientos en la prueba de Tukey. Para la variable IVE ( $p < 0,01$ ) el mismo tratamiento obtuvo el mejor índice con un valor de 22,5, superando estadísticamente al resto. Respecto a la variable TMG ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  mostró un desempeño superior con un índice de 20,29, siendo estadísticamente diferente de los demás. Finalmente, para la variable VMG ( $p < 0,01$ ), hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos según la prueba de Tukey, y el tratamiento con una dosis de  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  destacó con un índice de 0,05 (Tabla 3).

En lo que respecta a los análisis estadísticos del ensayo en sustrato de arena, para las variables Primer Conteo ( $p < 0,01$ ) y Germinación ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue el más eficaz con tasas de germinación del 95,00% y 77%, respectivamente, diferenciándose de los otros tratamientos en ambos casos. Para la variable índice de velocidad de emergencia IVE ( $p < 0,001$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  fue nuevamente el mejor, obteniendo un índice de 24,10 significativamente diferente de los otros tratamientos. Finalmente, en las variables tiempo medio de germinación TMG ( $p < 0,01$ ), el tratamiento con  $0,0 \text{ g.L}^{-1}$  sobresalió con un índice de 19,94 en la prueba de Tukey. Finalmente, para la variable velocidad media de germinación ( $p < 0,01$ ), se observan

diferencias estadísticas entre tratamientos, destacando nuevamente la dosis 0,0 g.L<sup>-1</sup> con un índice de 0.05 en la prueba de tukey (Tabla 3).

Para la prueba de conductividad eléctrica en semillas de *Theobroma grandiflorum schum* no hubo diferencia estadística ( $p > 0,05$ ) en la solución con el incremento de las dosis de glifosato.

### Tabla 3

*Resultados medios, ANOVA y Tukey para semillas de Theobroma grandiflorum schum tratadas con dosis crecientes de glifosato y evaluadas en diferentes sustratos (rollo de papel y arena).*

---

#### SUBSTRATO ROLLO DE PAPEL

Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	Variables (Prueba de Tukey)				
	PM	G	IVE	TMG	VMG
0,0	57.000 b	100.000 b	22.555 c	20.297 c	0.090 c
1,8	5.000 a	0.00 a	1.312 b	11.427 b	0.050 b
3,6	4.000 a	0.00 a	1.265 ab	0.00 a	0.00 a
5,4	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
7,8	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
<b>DMS</b>	13,813	0	1,2743	1,0922	0,00797
<b>CV%</b>	47.91	0.00	11.61	7.88	13.04

---

#### SUSTRATO DE ARENA

Dosis (g.L <sup>-1</sup> )	Variables (Prueba de Tukey)				
	PC	G	IVE	TMG	VMG
0,0	77.000 b	95.000 b	24.105 b	19.942 b	0.050 b
1,8	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a

---

3,6	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
5,4	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
7,8	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a	0.00 a
<b>DMS</b>	8,0548	1,9535	1,2745	0,1382	0
<b>CV%</b>	23.95	4.71	12.10	1.59	0.00

*Nota:* Se observa que en las variables **PC, G, IVE, TMG, VMG** en ambos sustratos, el aumento de la dosis de las sustancias aplicado a las semillas de *Myrciaria dubia*, reduce los valores de las variables evaluadas, especialmente a partir de 3.6 g. L-1 donde los valores reducen drásticamente a 0.000 también **DMS** y **CV%** indican la dispersión y la significancia de las diferencias entre los tratamientos.

*Fuente.* Autoría propia.

## Discusión

Los hallazgos de esta investigación indican que las semillas de *Theobroma grandiflorum* Schum, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum* son susceptibles al glifosato, un herbicida muy utilizado para el control de plantas invasoras. Esta sensibilidad podría estar vinculada con la composición química del glifosato y su interacción con las semillas como resultado.

Según Amarante Junior *et al.* (2002), se aconseja utilizar esta molécula para disminuir las poblaciones de malezas en distintas etapas del ciclo vegetal en varios cultivos comerciales, ya sean monocotiledóneos o dicotiledóneos, durante la etapa pre y post emergencia. La eficacia de esta molécula se vincula con el proceso de absorción de agua requerido para la germinación, en particular a través del camino empleado para la germinación (Shimitz *et al.*, 2019; Ávila *et al.*, 2020). De acuerdo con Amarante Junior *et al.* (2002), el glifosato puede influir en las semillas de especies forestales, pese a que la bibliografía no ofrece suficientes datos para detallar este proceso bioquímico. No obstante, (Oliveira *et al.*, (2020) describen el impacto del glifosato en varias especies vegetales, entre ellas la Fabaceae de naturaleza forestal, como *Theobroma grandiflorum* Schum, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum* especies que fueron analizadas en esta investigación.

Se ha observado que algunas semillas de especies como *Theobroma grandiflorum*, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum*, tienen un tegumento endurecido que limita la entrada de agua durante la germinación. Una vez que el agua fluye, las sustancias en el sustrato penetran más fácilmente (Ávila *et al.*, 2020). Esto sugiere que la acumulación de glifosato dentro de las semillas podría estar relacionada con la mayor mortalidad y menor vigor a medida que aumentan las dosis del herbicida.

Otro tema relevante para tratar se relaciona con las semillas del grupo mencionado, las cuales pueden presentar dormancias debido a procesos externos a la semilla, como un mecanismo de protección (Shimitz *et al.*, 2019). Sin embargo, al considerar los datos observados, este factor podría no haber influido en los resultados obtenidos en este estudio. En ambos casos, el análisis de semillas de *Theobroma grandiflorum Schum*, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum* expuestas al glifosato mediante la técnica del tetrazolio podría esclarecer mejor este aspecto, aunque actualmente no existe un protocolo válido para estas especies (Alvila *et al.*, 2020).

En este estudio, se observó una disminución del 26,43% entre la germinación y la emergencia de las semillas, lo que sugiere una interacción del glifosato con la arena utilizada. Bruggen *et al.* (2021) describe que el glifosato y su principal metabolito, el ácido aminometil fosfórico, son absorbidos en el suelo y se descomponen lentamente. El tiempo para alcanzar un 90% de disipación puede superar los mil días, dependiendo del tipo de suelo, las condiciones ambientales y la exposición previa a microorganismos (Guijarro *et al.*, 2018).

En la Amazonia colombiana, las instituciones gubernamentales están cada vez más preocupadas por los efectos residuales del glifosato en el suelo, agua, vegetación y salud humana tras las aspersiones aéreas. Un estudio de Geng *et al.* (2021) observó que el glifosato puede ser transportado por erosión eólica hacia cuerpos de agua, donde podría permanecer en distintas formas. Además, el glifosato y el ácido amino-metil fosfórico pueden pasar al agua natural y sedimentos (Silva *et al.*, 2018). Se han encontrado trazas de glifosato en agua de riego y plantas de tratamiento, con concentraciones más altas en aguas superficiales de América del Norte y del Sur (Marques *et al.*, 2021).

Se han realizado experimentos para evaluar el efecto del glifosato en especies forestales. Santos *et al.* (2020) analizaron su uso en una dosis de 1,44 kg/ha para manejar braquiaria en la restauración forestal con 10 especies nativas, reportando una supervivencia del 82,8% a los 30 meses, indicando alta tolerancia al herbicida. Sin embargo, la respuesta al glifosato puede variar según la diversidad genética. Florencia *et al.*, (2017) observaron que algunas especies morían con sub-dosis de glifosato, mientras otras solo sufrían efectos moderados o eran tolerantes. Este estudio mostró que las semillas de *Theobroma grandiflorum* Schum, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum* son sensibles al herbicida.

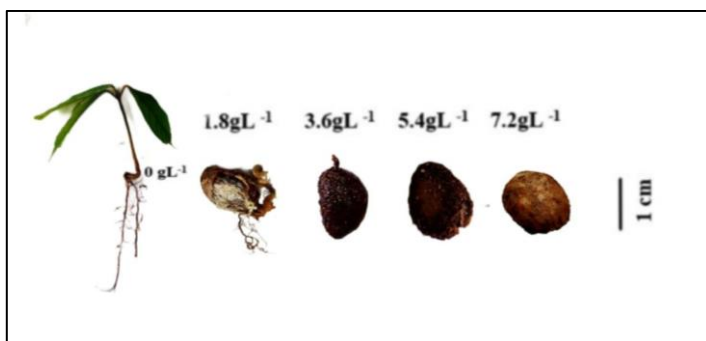
Pereira *et al.*, (2015), aplicaron diversas subdosis de glifosato (0; 7,5; 15; 30 y 60 g. ha-1) en plántones de *Psidium cattleianum*, *Citharexylum myrianthum* y *Cedrela odorata* a los 120 días de germinación. Estos son árboles nativos usados en la reforestación en Brasil. El estudio concluyó que el herbicida no causó fitotoxicidad. Las dosis de 30 y 60 g. ha-1 aumentaron significativamente la altura, diámetro y masa seca de *Citharexylum myrianthum* y *Psidium cattleianum*, respectivamente. Sin embargo, nuestros resultados contrastan con estos hallazgos, ya que se observó una reducción en el crecimiento de semillas germinadas en arena con mayores dosis de glifosato.

Yamashita *et al.*, (2009) evaluaron el impacto del glifosato y 2,4-D en *Schizolobium amazonicum* y *Ceiba pentandra*, observando una reducción en su crecimiento con dosis superiores a 180 g ha-1. Investigaciones han reportado efectos adversos en eucaliptos (Santos *et al.*, 2020), *Toona ciliata* (Oliveira *et al.*, 2020) y otras especies de restauración forestal (Ávila *et al.*, 2020). Sin embargo, Silva *et al.*, (2018), mencionó una alta tolerancia de algunas especies nativas al glifosato.

Este estudio sugiere que el herbicida afectó negativamente la germinación y emergencia de semillas de *Theobroma grandiflorum*, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum*, subrayando la necesidad de más investigaciones sobre aplicaciones y dosis adecuadas en la región amazónica colombiana.

### Figura 22

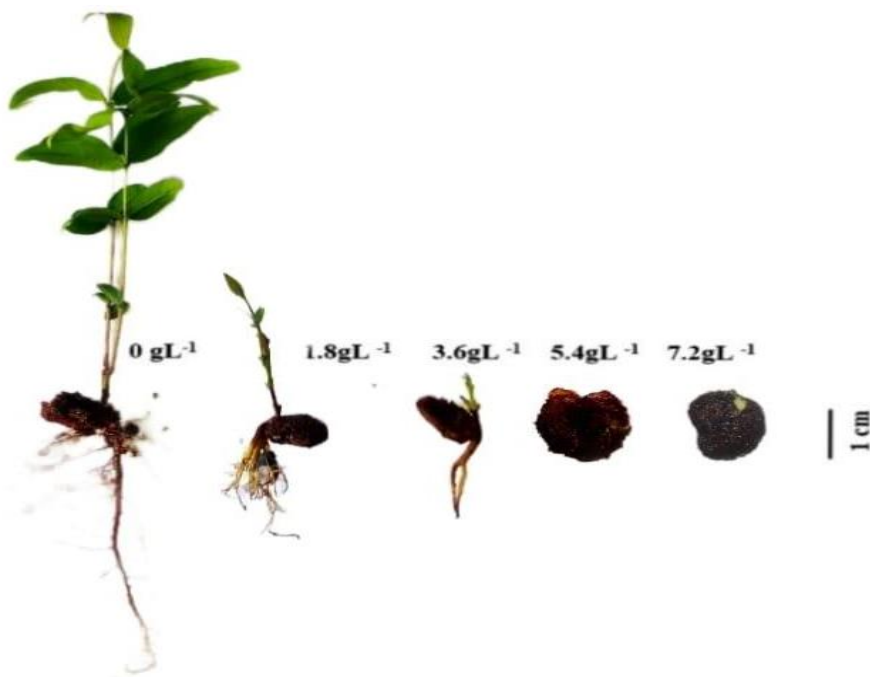
*Emergencia de semillas de Theobroma grandiflorum schum en función de dosis de glifosato.*



Fuente. Autoría propia.

### Figura 23

*Emergencia de semillas de Myrciaria dubia en función de dosis de glifosato.*



Fuente. Autoría propia.

### Figura 24

*Emergencia de semillas de Solanum sessiflorum en función de dosis de glifosato.*



Fuente. Autoría propia.

## Conclusiones

En esta investigación se observó como resultados, la disminución de germinación y emergencia de semillas de *Theobroma grandiflorum* Schum, *Myrciaria dubia* y *Solanum sessiflorum*, de 78,4% y 98,83% respectivamente, con el acrecentamiento de la dosis de glifosato de 0 a 7.2 gL<sup>-1</sup>.

En este entendido, se estableció la germinación de las semillas frutales amazónicas a través de una prueba de laboratorio con rollos de papel, lo cual evidenció notoriamente la poca germinación de las semillas en los tratamientos que influía el glifosato, esto incrementando su tasa de mortalidad a medida que las dosis eran más altas.

También se evaluó el crecimiento de plántulas en un medio a base de arena dentro de un ambiente de invernadero controlado, obteniendo como resultado la inhibición del glifosato en las vías metabólicas de las plantas que son conocidas como las rutas del ácido shikímico, una fuente crucial para la síntesis de varios aminoácidos esenciales en el desarrollo de la misma, bloqueando así mismo; las acciones de la enzima llamada 5-enolpiruvilshikímato-3-fosfato sintasa (EPSPS).

El glifosato tuvo un mayor efecto sobre la emergencia de las plántulas sembradas en arena. Esta consecuencia adversa particularmente notable sugiere que el medio de cultivo puede influir en la intensidad del impacto del herbicida, ya que la arena, al tener una capacidad limitada para retener agua y nutrientes, podría haber acelerado los efectos negativos del glifosato, haciendo que las semillas fueran más susceptibles a los daños. Esto implica que el tipo de sustrato desempeña un papel crucial; este hallazgo puede aplicarse a cultivos que posean una mayor retención de agua o características biológicas que les confieran resistencia al herbicida.

Sobre las semillas amazónicas analizadas se evidencio en su reacción de conductividad eléctrica que el glifosato altero los cambio en la integridad de la membrana celular y la actividad metabólica, lo cual afecto la germinación y el crecimiento de las plántulas y semillas evaluadas, esto no definió diferencia estadística en ninguna de las dosis usadas, es decir; que no son tolerables a ninguna cantidad de glifosato.

Este estudio arrojó resultados que poseen implicaciones para el manejo de cultivos en áreas donde se usa o se ha usado el glifosato, especialmente en entornos agrícolas donde podemos encontrar la *Myrciaria Dubia*, *Theobroma grandiflorum* y *Solanum sessiflorum*. Los altos niveles de reducción en la germinación y emergencia de las semillas sugieren que el uso constante del herbicida causa afectaciones irreversibles en el suelo, alterando el desarrollo adecuado en la seguridad alimentaria e incluso la salud humana y vegetal.

### Referencias Bibliográficas

- Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (2017). Evaluación de riesgos de cáncer para los humanos: Glifosato.  
<https://www.agenciasinc.es/Reportajes/Glifosato-el-pesticida-que-enfrenta-a-los-cientificos>.
- Algarin sanchez, y. (2021). Manejo de prácticas agroecológicas y siviculturales en la zona de influencia de la hidroelctrica urra i.
- Arellano-Acuña, Ericka, Rojas-Zavaleta, Irvin, & Paucar-Menacho, Luz María. (2016). Camu-camu (*Myrciaria dubia*): Fruta tropical de excelentes propiedades funcionales que ayudan a mejorar la calidad de vida. *Scientia Agropecuaria*, 7(4), 433-443. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.04.08>
- Arenas-Mendoza, H. A. (2020). Fumigaciones con glifosato en territorios indígenas en Colombia *Revista de Estudios Socio-Jurídicos*, 23(1), 191-210.
- Arias-campos, I. D. (2015). Aves atraídas por la floración de *Zygia longifolia* ( Fabaceae ), en el valle de el general , costa rica.
- Bacci, f., & campo, p. (2021). Emerging and less commonly recognized chemical contaminants: organic micropollutants. Reference module in earth systems and environmental sciences. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819166-8.00038-4>
- Baer, k. N., & marcel, b. J. (2014). Glyphosate. *Encyclopedia of toxicology: third edition*, 2, 767–769. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.00148-2>
- Ballesteros, D.; Soto Oviedo, A.; Murillo Palacios, M.;, García, C. (2021). Intoxicación por paraquat y uso de terapias de remoción extracorpórea: reporte de 7 casos y revisión

- de literatura. *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo*. Volume 21, Issue 1, January–March 2021, Pages 94-104
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Mac Nally, R., ... & Gardner, T. A. (2016). "Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation." *Nature*, 535(7610), 144-147
- BBC News Mundo. (2015). Colombia suspende uso del polémico pesticida glifosato contra cultivos de coca.
- Benbrook, c. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the united states and globally. *Benbrook environ sci eur*, 28, 3. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>
- 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.*). 32, 111–117.
- Beristain., B. T. (3 de noviembre de 2020). Herbicida que envenena (sobre el uso de glifosato). *Herbicida que envenena (sobre el uso de glifosato)*. Universidad Veracruzana
- Brasilia. (2013). Instrucoes para analise de sementes de especies florestais.
- Brondízio, E. S. (2008). "The Amazonian caboclo and the açai palm: Forest farmers in the global market." *New York Botanical Garden Press*.
- Burke, i. C., & bell, j. L. (2014). Plant health management: herbicides. *Encyclopedia of agriculture and food systems*, 425–440. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-52512-3.00181-9>

- Carneiro, t. H. M., cavalcante, a. G., pereira, cássio, cavalcante, a., andrade, g. A. V. De, lima, n. J. C., & aquino, l. A. De. (2020). Efeito do vigor de sementes sobre as características fisiológicas e produtivas da soja. 122–133.
- Carvalho, C. J., & Costa, S. D. (2021). "Geissospermum argenteum: An overlooked fruit with economic potential in the Brazilian Amazon." *Acta Amazonica*, 51(3), 201-210.
- COAH (2008). Registro de especies en Colombia.
- Covaci, a. (2014). Environmental fate and behavior. *Encyclopedia of toxicology: third edition*, 372–374. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.01041-1>
- Curiel, a. C., & moraes, c. P. (2011). Germinação de ormosia arborea ( vell .) Harms submetida a diferentes períodos de exposição e concentração de ga 3 pós escarificação mecânica. 7, 1–6.
- Del Aguila, J. A., & Villarreal, C. P. (2015). "Psidium guajava: Propiedades nutricionales y potencial comercial en la Amazonía peruana." *Revista Peruana de Biología*, 22(4), 27-34.
- Dest, a. (2021). The coca enclosure: autonomy against accumulation in colombia. *World development*, 137, 105166. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105166>
- Donaher, S. E., & Van den Hurk, P. (2023). Ecotoxicology of the herbicide paraquat: effects on wildlife and knowledge gaps. *Ecotoxicology*, 32, 1187-1199. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02714-y>
- Dutra, a. S., & vieira, r. D. (2006). Teste de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de abobrinha. *Revista brasileira de sementes*, 28, 117–122.

- El Camino Academy. (2022). Glyphosate in Colombia. <https://eca.edu.co/2022/glyphosate-in-colombia/>
- El País. (2024). Colombia frena la deforestación y registra la cifra más baja en 23 años. Diario [El País](https://elpais.com/america-colombia/2024-07-08/colombia-frena-la-deforestacion-y-registra-la-cifra-mas-baja-en-23-anos.html). <https://elpais.com/america-colombia/2024-07-08/colombia-frena-la-deforestacion-y-registra-la-cifra-mas-baja-en-23-anos.html>
- Gaviria Mesa, J. I., & Granda Viveros, M. L. (2020). Soberanía y ambiente en la Constitución de 1991. Un análisis del uso y efectos del glifosato en la lucha antidrogas en Colombia. *Revista de Estudios Socio-Jurídicos*, 23(1), 191-210.
- Gómez, L., & Ramírez, M. (2022). Estrategias ambientales en el Caquetá: Un enfoque hacia la sostenibilidad. *Revista de Desarrollo Regional*, 15(3), 45-60. <https://doi.org/10.1234/rdr.2022.15345>
- Harris, C. M., & Wood, G. A. R. (1991). *Theobroma grandiflorum*: A Review of Its Agronomy and Uses. *Economic Botany*, 45(2), 148-155.
- Harvard International Review. (2020). Aerial Fumigation in Colombia: The Bad and The Ugly. Recuperado de <https://hir.harvard.edu/aerial-fumigation-in-colombia-the-bad-and-the-ugly/>
- Hickey, w. J. (2021). Biodegradation of environmental pollutants. Principles and applications of soil microbiology, 581–605. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820202-9.00021-6>  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150514\\_colombia\\_glifosato\\_suspension\\_nc](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/05/150514_colombia_glifosato_suspension_nc)

International Agency for Research on Cancer. (2017). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Glyphosate. World Health Organization. Retrieved from.

Irene, y., & gaitén, g. (2020). Evaluación farmacognóstica , toxicológica y potencialidades hemostáticas de hojas y tallos de guarea guidonia ( l . ) sleumer pharmacognostic , toxicological assessment and hemostatic potentials of the leaves and stems of guarea guidonia ( l . ) sleumer. 53(3), 1–19.

Javier idrovo, a., & rodra, l. A. (2018). Moving back in policy banning glyphosate use in colombia. In the lancet (vol. 392). [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)31883-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)31883-x)

Jonathas Gomes de Carvalho Marques; Klayde Janny da Silva Veríssimo;

Bruna Soares Fernandes; · Silvio Romero de Melo Ferreira;

Suzana Maria Gico Lima Montenegro; y Fabrício Motteran 2021). Glyphosate:

A Review on the Current Environmental Impacts from a Brazilian Perspective.

Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology (2021) 107:385–397

<https://doi.org/10.1007/s00128-021-03295-4>

José enrique lópez-contreras, maria de lourdes rico-arce, l. L. C.-i. & r. D. De s. (2015). El género zygia p. Browne (leguminosae, mimosoideae, ingeae) en la porción mexicana de la península de yucatán. 72(2), 1–7.

Lyons, k. (2018). Chemical warfare in colombia, evidentiary ecologies and senti-actuando practices of justice. Social studies of science, 48(3), 414–437.

<https://doi.org/10.1177/0306312718765375>

Marqués, J. G. de C., Veríssimo, K. J. da S., Fernández, B. S., Ferreira, S. R. de M., &

Montenegro, S. M. G. L. (2021). Glyphosate: A review on the current

environmental impacts from a Brazilian perspective. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 107, 385-397. <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03295-4>

Mesnage, r., & antoniou, m. N. (2018). Roundup ready! Glyphosate and the current controversy over the world's leading herbicide. *Encyclopedia of the anthropocene*, 1–5, 149–153. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809665-9.09981-x>

Ministerio de Salud y Protección Social. (2015). Presidente Santos ordena suspender aspersiones con glifosato. <https://www.minsalud.gov.co/Paginas/Presidente-Santos-ordena-suspender-aspersiones-con-glifosato-.aspx>

Mongabay. (2024). Colombia: disminuyó la deforestación en el 2023, pero va en aumento en el 2024. *Revista Mongabay*. <https://es.mongabay.com/2024/04/colombia-incendios-deforestacion-sequia/#:~:text=Colombia%3A%20disminuy%C3%B3%20la%20deforestaci%C3%B3n%20en%20el%202023%2C%20pero,perdido%20m%C3%A1s%20de%20cientos%20mil%20hect%C3%A1reas%20de%20bosque.>

Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). "Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L)." *PLOS ONE*, 3(10), e3311.

Myers, j. P., antoniou, m. N., blumberg, b., carroll, l., colborn, t., everett, l. G., hansen, m., landrigan, p. J., lanphear, b. P., mesnage, r., vandenbergh, l. N., saal, f. S., welshons, w. V., & benbrook, c. M. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures : a consensus statement. *Environmental health*, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>

National Pesticide Information Center-NPIC (2024). Glyphosate.

<http://npic.orst.edu/factsheets/glyphogen.html>

Niemann, I., Sieke, C., Pfeil, R., & Solecki, R. (n.d.). A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. <https://doi.org/10.1007/s00003-014-0927-3>

Nogueira, A., & Santos, C. (2017). Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) and Its Economic Potential. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19(3), 244-258.

Norma Julieta Salazar López, M. L. A. M. (2011). Herbicida glifosato : usos , toxicidad y regulación. *Revista de ciencias biológicas y de la salud*, 23–28.

Oficial, D., Europeo, D. E. L. P., Consejo, D. E. L., Europea, C., & Europeo, S. (2009). 24.11.2009. 1–50.

Ordoñez, J., Abrahams, N., & Méndez, F. (2020). Efectos del glifosato en la salud reproductiva humana.

Organization, T. I. T. T. (2010). Fe de erratas: manual de identificación de especies forestales de la subregion andina.

P. I. Lima, C. E. C. Silva, A. M. Pereira, T. J. Oliveira, and E. A. C. Sousa "Nutritional composition and bioactive compounds of cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pulp: A review."

Pérez, J., Martínez, A., & Torres, F. (2023). Políticas públicas y participación ciudadana en el desarrollo regional. *Journal of Environmental Policy*, 28(1), 112-130. <https://doi.org/10.5678/jep.2023.28112>

- Philipp schledorn, m. K. (2014). Detection of glyphosate residues in animals and humans. *Journal of environmental & analytical toxicology*, 04(02).  
<https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000210>
- Politico (2014). Glyphosate is here to stay in EU — at least for now.  
<https://www.politico.eu/article/monsanto-glyphosate-pesticide-is-here-to-stay-in-eu-at-least-for-now/>
- Redalyc. (2022). El debate sobre el glifosato en Colombia: controversia científico-tecnológica y ciencia regulativa. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 17(49), 11-37.
- RFI (2024). EU proposes 10-year extension for glyphosate herbicide linked to cancer.  
<https://www.rfi.fr/en/europe/20230921-eu-proposes-10-year-extension-for-glyphosate-herbicide-linked-to-cancer>
- Ruano-ibarra, e. Del s., & carreño, a. A. (2020). Erradicación voluntaria de cultivos ilegalizados en colombia: del plan alterno al programa nacional de sustitución (issue 1).
- Schauss, A. G., Jensen, G. S., & Wu, X. (2006). "Bacaba (*Oenocarpus bacaba*): A fruit from the Amazon with potent antioxidant properties." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1882-1887.
- Schimpf, H. P., & Moreira, R. F. (2015). Agronomic Aspects and Cultivation of Cupuaçu in the Amazon Region. *Horticultural Science*, 50(1), 32-40.
- Silva, A. P., & Lima, E. S. (2013). Nutritional and Medicinal Properties of *Theobroma grandiflorum* (Cupuacu). *Journal of Tropical Agriculture*, 51(4), 121-130.

Soil Association. (2023). The impact of glyphosate on soil health.

<https://www.soilassociation.org/media/7202/glyphosate-and-soil-health-full-report.pdf>

Solomon, K. R., Thompson, D. G., & Van den Brink, N. W. (2005). Effects of glyphosate on non-target species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(4), 911-920.

<https://doi.org/10.1897/03-552>

Sosa vargas, v. S. (2018). Diversidad de hongos presentes en raices de tres especies arboreas plantadas en suelos perturbados por la actividad petrolera en la amazonia ecuatoriana.

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.

Stephen O. Duke (2020). Glyphosate: environmental fate and impact. *Weed*

*Science* , Volume 68 , Issue 3 , May 2020 , pp. 201 – 207

DOI: <https://doi.org/10.1017/wsc.2019.28>

Tarazona, J. V., Court-Marques, D., Tiramani, M., Reich, H., Pfeil, R., Istace, F., &

Crivellente, F. (2017). Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC.

*Archives Of Toxicology*, 91(8), 2723-2743. <https://doi.org/10.1007/s00204-017-1962-5>

Valencia, c. J. C. (2021). Estudio del crecimiento de *artocarpus altilis* y *zygia longifolia* en condiciones de vivero con fines de restauración (vol. 2).

Varona, m., hena, g. L., díaz, s., lancheros, a., murcia, á., rodríguez, n., & álvarez, v. H.

(2009). Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos.

Villachica, J. (1996). Aspectos ecológicos y productivos del Camu camu.

Virapongse, A., Schmink, M., Larkin, S., & Alavalapati, J. (2016). "Livelihood impacts of payments for environmental services in the Brazilian Amazon: An analysis of causality and sustainability." *Forest Policy and Economics*, 72, 1-11.