

Evaluación del tiempo de almacenamiento sobre la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *Swietenia macrophylla* King

Evaluation of storage time on the chemical composition, viability and germination of *Swietenia macrophylla* King seeds

Edison Ramiro Orozco Rojas¹, Nayeli Lizbeth Wampanti Grefa¹, Yudel García Quintana¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep02-16>



Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *Swietenia macrophylla* King (caoba) en tres tiempos de almacenamiento, en condiciones ambientales, como indicador de calidad de las semillas para el manejo silvícola, gestión y conservación de la especie en la Amazonía ecuatoriana. Se aplicó un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos y tres réplicas; se determinó el contenido de minerales (P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co y Ceniza), grasa, aminoácidos, proteína, carbohidratos, prueba de viabilidad (tetrazolio al 1 %) y germinación en tres diferentes tiempos de almacenamiento. El contenido de minerales reportó diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tiempos de almacenamiento, resultando T1 con mayor concentración en K, Ca, P y Cu (689,00 mg/100 g, 389,98 mg/100 g, 267,25 mg/100 g, 73,22 mg/100 g), T2 con Na (8,34 mg/100 g) y T3 con ceniza, Zn y Co (2,84 mg/100 g, 2,66 mg/100 g, 0,86 mg/100 g, respectivamente). El T1 fue la de mayor composición orgánica en grasa, aminoácidos y carbohidratos (46,60 mg/100 g, 627,83 mg/100 g, 77,18 mg/100 g respectivamente), y mientras T2 y T3 en proteínas obtuvieron valores inferiores (12,98 mg/100g). Los indicadores de calidad de las semillas presentaron mayor contenido en T1 en viabilidad, capacidad germinativa, Tiempo Medio de Germinación, Índice de Timpson (44,67 %, 56,00 %, 13,49 %, 14,92 %) y a excepción de Humedad obtuvo mayor concentración en T3 (8,77 %) y mientras T2 y T3 en Índice de velocidad de germinación obtuvo valores inferiores (0,23 %), demostrando que el tiempo de almacenamiento afectó la calidad fisiológica, nutrición, viabilidad y capacidad de germinación de las semillas de *S. macrophylla*, aportando información valiosa para su manejo silvícola especializado.

Palabras clave

especie forestal; minerales; composición orgánica; calidad fisiológica; conservación

Abstract

The objective of this research was to evaluate the chemical composition, viability and germination of seeds of *Swietenia macrophylla* King. (mahogany) in three storage times, under environmental conditions as an indicator of seed quality to silvicultural management, management and conservation of the species in the Ecuadorian Amazon. A completely randomized design was applied with three treatments and three replications; The content of minerals (P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co and Ash), fat, amino acids, proteins, carbohydrates, viability test (1 % tetrazolium) and germination are determined at three different storage times. The mineral content reported significant differences ($p \leq 0.05$) between storage times, resulting in T1 with a higher concentration of K, Ca, P and Cu (689.00 mg/100 g, 389.98 mg/100 g, 267.25 mg/100 g, 73.22 mg/100 g), T2 with Na (8.34 mg/100 g) and T3 with ash, Zn and Co (2.84 mg/100 g, 2.66 mg/100 g, 0.86 mg/100 g, respectively). T1 had the highest organic composition in fat, amino acids and carbohydrates (46.60 mg/100 g, 627.83 mg/100 g, 77.18 mg/100 g respectively), and while T2 and T3 in proteins obtained lower values (12.98 mg/100 g). The quality indicators of the seeds have a higher T1 content in viability, germination capacity, Average Germination Time, Timpson Index (44.67 %, 56.00 %, 13.49 %, 14.92 %) and, except for Humidity obtained a higher concentration in T3 (8.77 %) and while T2 and T3 in the germination speed index obtained lower values (0.23 %), demonstrating that storage time affected the physiological quality, nutrition, viability and capacity. germination of *S. macrophylla* seeds, providing valuable information for its specialized silvicultural management.

Keywords

forest species; minerals; organic composition; physiological quality; conservation

Direcciones

¹ Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: er.orozor@uea.edu.ec; nl.wampantig@uea.edu.ec; ygarcia@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Edison Ramiro Orozco Rojas. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: er.orozor@uea.edu.ec

Como citar

OROZCO ROJAS, E. R., N. L. WAMPANTI GREFA AND Y. GARCÍA QUINTANA Evaluación del tiempo de almacenamiento sobre la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *Swietenia macrophylla* King. PrePrint UEA, 2024, FOR2324, ep02-16. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep02-16>

Editores Académicos

Darwin Javier Sucoshany Villalba

Editorial

Editorial de la Universidad Estatal Amazónica
2024

Copyright:

Derechos de autor 2023-2024 UEA | PrePrint UEA

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. 
Los autores del artículo autorizan a PrePrint UEA, a que este artículo se distribuya y sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0)

1. Introducción

La especie *Swietenia macrophylla* King (caoba) es un árbol de alto valor comercial de la familia Meliaceae que se encuentra comúnmente en selvas tropicales abiertas, semideciduas y bosques caducifolios, de ahí la característica de perder sus hojas parcial o totalmente durante la temporada seca (Telrandhe et al. 2022). Se encuentra ampliamente distribuida en Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Perú, Venezuela y de forma exótica en Fiji, Haití, India, Jamaica, Malasia, Nigeria, Filipinas, Puerto Rico, Sierra Leona, Islas Salomón, Sri Lanka, Tobago y Trinidad (Baliyepalli et al. 2015; Ch'ng et al. 2018). Ecuador se encuentra dentro del rango de distribución natural por ser una especie comercial en la Amazonía y otras áreas del país. Sin embargo, se ha detectado que ciertas cosechas de árboles de caoba plantados en la región de la Costa fueron originarias de semillas centroamericanas, los cuales se mezclaron con madera amazónica (Melessa y Palacios 2013).

La madera de caoba posee cualidades excepcionales: durabilidad, atractivo color y facilidad de trabajo. Se utiliza ampliamente en la fabricación de muebles de alta calidad, artículos decorativos, paneles y hasta en la construcción de embarcaciones ligeras. Su estabilidad dimensional y su capacidad para resistir el paso del tiempo la convierten en un material de elección para una amplia gama de aplicaciones (Oliveira et al. 2019).

S. macrophylla se ha considerado como una especie "En Peligro Crítico" según los criterios de la Lista Roja de la UICN a nivel nacional, principalmente debido a la extracción selectiva, por la tala de árboles adultos. Estos árboles son vitales ya que producen grandes cantidades de semillas, las cuales son esenciales para la regeneración natural de la especie. A pesar de la importancia de estas semillas, los nuevos brotes de caoba que emergen de ellas enfrentan desafíos para llegar a la etapa adulta, debido a factores tanto humanos como naturales (Acosta et al. 2011).

Además, se destaca que las prácticas de aprovechamiento mediante tala selectiva no han favorecido la regeneración natural de la especie (MAATE 2017). Siendo una semilla ortodoxa, tiene la capacidad de ser almacenada con éxito a un contenido de humedad específico del 3-7 % y con una temperatura controlada de 3 °C durante un período prolongado de hasta ocho 8 años (INAB 2017). Su regeneración natural es poco efectiva, lo que requiere al menos 30 años para alcanzar su desarrollo completo (Díaz et al. 2020).

En Ecuador son escasos los trabajos realizados sobre germinación y crecimiento en vivero en la Amazonía

ecuatoriana (Jácome et al. 2019) como contribución a la conservación del genofondo de la especie, y en muchos casos se emplean semillas sin criterios de calidad que limitan el éxito del establecimiento de acciones de reforestación y/ restauración. El almacenamiento de semillas también es un tema clave que requiere atención desde el punto de vista silvícola y existen cuatro factores principales que deben ser considerados: la supervivencia de la semilla (viabilidad, la capacidad de una semilla de permanecer viva, de manera que, cuando se necesite germine y produzca una plántula capaz de generar un crecimiento autotrófico); ambiente de almacenamiento; duración del almacenamiento; y las especies (Hong y Ellis 1998). Por ello, es importante proporcionar información sobre posibles cambios en los componentes químicos y fisiológicos de las semillas a medida que se almacenan con el tiempo.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *S. macrophylla* en tres tiempos de almacenamiento, en condiciones ambientales, como indicador de la calidad de las semillas para el manejo silvícola, gestión y conservación de la especie en la Amazonía ecuatoriana.

2. Metodología

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), ubicada en el kilómetro 2 ½ vía al Tena, en la provincia de Pastaza, a partir de semillas recolectadas de árboles semilleros de *S. macrophylla* con excelentes características fenotípicas; proveniente de la Parroquia Unión Milagrena en el cantón Joya de los Sachas de la Provincia de Orellana (**Figura 1**).

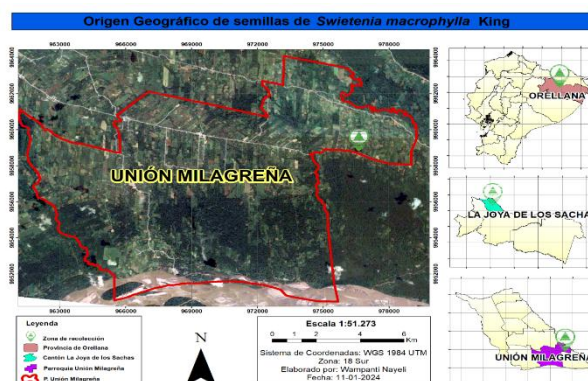


Figura 1 | Ubicación geográfica del origen de las semillas de *Swietenia macrophylla*

Se detallan las características climáticas, coordenadas geográficas y límites del origen geográfico donde se recolectaron las semillas para la presente investigación (**Tabla 1**).

Tabla 1. Coordenadas geográficas, límites y características climáticas del lugar de origen de las semillas de *S. macrophylla*.

Procedencia	Coordenadas geográficas	Límites	Características climáticas
Parroquia Unión Milagrena, en el cantón Joya de los sachas, de la provincia de Orellana	0°22'12.7"S 76°43'13.5"W	Al Norte: Parroquia Urbana La Joya de los Sachas, al Sur: Río Napo, al Este: Parroquia Pompeya y Río Jivino Verde, y al Oeste: Parroquia San Carlos. (GADPR Unión Milagrena 2019)	Altitud 250 y 300 msnm, Clima húmedo tropical, Temperatura media anual de 27 °C, Precipitación anual de 3.125 mm, Humedad relativa media 79.5 %. ((GADPR Unión Milagrena 2019)

2.2. Procedimiento metodológico para determinar la composición química de las semillas

2.2.1. Tratamiento de la muestra

Se llevó a cabo un diseño experimental completamente aleatorizado, para lo cual se consideraron tres tiempos de almacenamiento de las semillas de *S. macrophylla* en condiciones ambientales, con tres réplicas para cada análisis. Se siguió el mismo procedimiento metodológico a lo largo del tiempo de almacenamiento 1, tiempo de almacenamiento 2 y tiempo de almacenamiento 3.

El comportamiento de las semillas fue analizado mediante la determinación de su composición química (orgánica e inorgánica). La composición orgánica incluyó el estudio de proteínas, carbohidratos, aminoácidos y grasas, mientras que la composición inorgánica se relacionó con el contenido de minerales y cenizas. Además, se evaluó la viabilidad de las semillas mediante el porcentaje de semillas viables, categorías de vigor y se describieron indicadores físicos y fisiológicos de calidad de las semillas, que incluyeron el análisis del contenido de humedad, capacidad germinativa, tiempo medio de germinación, índice de velocidad de germinación y el índice de Timpson.

Como parte del tratamiento de la muestra, se pesaron 50 g de semillas enteras completamente secas en cada tiempo de almacenamiento, las cuales fueron trituradas o molidas en un molinillo marca KitchenAid, obteniendo una harina. El contenido se almacenó al vacío en fundas plásticas con cierre hermético y se guardó en la desecadora para mantener una buena temperatura hasta el momento de utilizarlo en cada uno de los análisis de este estudio.

2.2.2. Composición inorgánica de la semilla (Contenido de minerales)

Para conocer el contenido inorgánico de las semillas se realizó la lectura de los siguientes minerales (Fósforo, Potasio, Calcio, Sodio, Zinc, Cobre, Cobalto), mediante la metodológica sugerida por Luna et al. (2024). La mineralización de las muestras se realizó en el microondas ETHOS One de Milestone. Se pesó 0,5 g de muestra en el pocillo del equipo y se adicionó 1 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y 7 mL de Ácido Nítrico concentrado (HNO₃). El tiempo del proceso de mineralización fue de 2 horas. La muestra digerida se

transfirió a un matraz de 10 mL y se aforó con agua desionizada (muestra madre). La lectura de (K, Ca, Na, Zn, Cu y Co) se realizaron en el espectrofotómetro de absorción atómica YOUNGLIN AAS 8020 y, la de P en el espectrofotómetro Uv/vis PERKIN ELMER LAMBDA. De la muestra madre, se tomó una alícuota de 2 mL y se transfirió a un matraz aforado de 50 mL, se añadió 10 mL de molibdo vanadato de amonio y se aforó con agua desionizada. La mezcla se agitó y se almacenó en un lugar oscuro durante 30 minutos, para el desarrollo del color. La lectura del contenido de fósforo se realizó a 400 nm. Para determinar la concentración de minerales en las semillas se utilizó el método de la curva de calibración a través de la expresión (1) propuesta por Luna et al. (2023).

$$m = \frac{PM * FDI}{M} \quad (1)$$

Donde: PM: Concentración de la muestra en mg/L (lectura de la absorción), FDI: Factor de dilución, M: Peso de la muestra inicial (g), y m: concentración del elemento (mg/kg)

Determinación de ceniza

Para determinar la concentración de ceniza se utilizó la metodología de Luna et al. (2023). Se pesó el crisol vacío y, a ese peso se adicionó 1 g de muestra molida. Posteriormente, se colocaron en las hornillas hasta carbonizar la muestra. Después de realizar esta acción, los crisoles se colocaron en la mufla (Thermo Scientific) a una temperatura de 550 °C durante 2 horas, luego se enfriaron en el desecador y se pesaron. Para obtener el porcentaje de contenido de ceniza en las semillas, se utilizó la siguiente expresión (2), empleada por Luna et al. (2023):

$$\%C = \frac{M1 - m}{M2 - m} * 100 \quad (2)$$

Donde: % C: Porcentaje de cenizas totales, M1: Peso del crisol más la muestra incinerada (g), M2: Peso del crisol más la muestra seca (g), y m: Masa del crisol vacío.

2.3. Composición inorgánica de la semilla (Contenido de minerales)

Obtención del extracto acuoso

El extracto fue obtenido mediante el método de extracción asistida por ultrasonido recomendado por Luna et al. (2023). Se pesaron 5 g de muestra de

semilla molida en un balón de vidrio de 250 mL, se agregó 100 mL de agua destilada. Posteriormente, se colocó el balón en el baño ultrasónico a 60 °C durante 30 minutos. El extracto obtenido se filtró y se transfirió a un matraz de 100 mL.

Determinación de aminoácidos

Para determinar el contenido de aminoácidos de estas semillas se empleó el método de hidrato de tricetohidrendeno (Ninhidrina), según lo mencionado por Díaz (2018). En tubos de ensayo, se añadió 1 mL de la muestra filtrada junto con 2 mL de ninhidrina al 2 % utilizando una micropipeta. Este proceso se llevó a cabo por triplicado. Posteriormente, los tubos con las muestras se colocaron en un vaso de precipitación de 1000 mL con aproximadamente 500 mL de agua. Para inducir la reacción de la muestra, se calentaron los tubos a punto de ebullición (100 °C) en una hornilla durante 5 minutos. Transcurrido el tiempo, se apagó la hornilla y se dejó reposar la muestra durante 10 minutos. Luego, el contenido de los tubos se trasvasó a un matraz de 50 mL. Para determinar la lectura de la absorbancia, se utilizó el equipo Espectrofotómetro PERKIN ELMER Lambda, a una longitud de onda de 570 nm. Se aplicó la expresión (3) utilizada por Luna et al. (2023):

$$A = 0,0333 * C - 0,0264 \quad (3)$$

Donde: A: Absorbancia, C: Concentración en mg/L.

Carbohidratos

La determinación de carbohidratos totales se llevó a cabo mediante el método colorimétrico, según la metodología propuesta por Luna et al. (2023). Se tomó 1 mL de muestra filtrada en tubos de ensayo y se agregaron 3 mL de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), concentrado por cada réplica. Los tubos se colocaron en un baño de hielo durante 3 minutos. La muestra se trasvasó a matraces aforados de 50 mL y se aforó con agua destilada (solución madre). De la solución anterior se tomó una alícuota de 1 mL y se aforó hasta 10 mL con agua destilada. La lectura de la absorbancia se realizó utilizando el equipo Espectrofotómetro PERKIN ELMER Lambda, a una longitud de onda de 315 nm. Se utilizó la expresión (4) empleada por Luna et al. (2023):

$$A = 1,002 * C - 0,368 \quad (R^2 = 0,9946) \quad (4)$$

Donde: A: Absorbancia, C: Concentración en mg/L.

Grasa

La determinación de grasa se llevó a cabo mediante el método descrito por AOAC (2000). Se pesó 1 g de muestra de semillas en una funda XT4 FILTER BAGS, previamente pesada. Luego se colocaron dentro del equipo EXTRACTOR ANKON X15 y se realizó la extracción de la grasa, utilizando hexano como

solvente durante 2 horas. Después de este tiempo, se retiraron las fundas y se las colocó en la estufa durante 30 minutos a 105 °C para eliminar los residuos de hexano. Finalmente, se pesaron las muestras y se calculó el contenido de grasa por diferencia de masa, aplicando la siguiente ecuación (5) determinada por la AOAC (2000):

$$\%G = 100\% - \frac{m2 - m1}{m} * 100 \quad (5)$$

Dónde: M2: Peso de la funda más muestra desengrasada (g), M1: Peso inicial de la funda vacía (g), M: Peso de la muestra empleada (g).

Determinación de proteína bruta

Para determinar la proteína bruta se utilizó el método de Kjeldahl, mencionado por Mejía (2022). El proceso de determinación se dividió en tres etapas: digestión, destilación y titulación.

Digestión

Se pesó 1 g de muestra en papel encerado y se colocaron en los tubos de digestión. Además, se añadió 1 pastilla Kjeldahl y 20 mL de Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4). La digestión de las muestras se realizó a 400 °C por dos horas y finalmente los tubos se dejaron enfriar.

Destilación

Al tubo que contiene la muestra digerida se le añadió 65 mL de agua destilada y se dejó enfriar. Se adicionó 60 mL de Hidróxido de sodio al 45,40 % y junto con el Erlenmeyer de 250 mL que contiene 35 mL de Ácido bórico al 2 % y 3 gotas de indicador Tashiro, se conectaron al equipo de destilación Hanon Instruments por 10 minutos hasta obtener un volumen de 150 mL de destilado aproximadamente.

Titulación

El destilado obtenido se tituló con una solución de Ácido sulfúrico 0,2 N hasta obtener un cambio de color transparente a turquesa a violeta que indica el punto final de la valoración. Para determinar el contenido de nitrógeno, se utilizó la expresión (6) recomendada por Viáfara (2020):

$$\%N \text{ total} = \frac{V * N * 0,014}{m} * 100 \quad (6)$$

Donde: V: Volumen de ácido sulfúrico (mL), N: Normalidad del ácido sulfúrico, y m: Masa de la muestra en gramos.

Para determinar la proteína que contenían las semillas, se empleó la ecuación (7) propuesta por Viáfara (2020):

$$\%Proteína \text{ total} = \%N * F \quad (7)$$

Dónde: N: Porcentaje de nitrógeno, y F: Factor proteínico (6,25).

El factor de conversión para determinar el contenido de proteína fue de 6,25 ($100/16 = 6,25$), que es el factor universalmente utilizado para alimentos en general (García et al. 2023).

2.4. Indicadores de calidad de semilla

2.4.1. Determinación de humedad

Pesar el crisol vacío e incorporar 1 g de muestra. Colocarla en la estufa a 105 °C durante 3 horas. Una vez transcurrido el tiempo enfriarlos en el desecador. Pesar y repetir el procedimiento de secado hasta obtener un peso constante. Para el cálculo del contenido de humedad, se empleó la siguiente ecuación (8) utilizada por ISTA (1993):

$$\%H = 100\% - \frac{M1 - M2}{M1 - M} * 100 \quad (8)$$

Dónde: M2: Peso del crisol más la muestra (peso constante) en g, M1: Peso del crisol vacío más la muestra en g y M: Peso del crisol vacío en g.

2.4.2. Prueba de viabilidad

La prueba de tetrazolio (2,3,5-cloruro de trifenil tetrazolio), con una concentración al 1 %, se llevó a cabo según lo descrito por García et al. (2023). Se utilizó una muestra de 75 semillas (25 semillas por réplica), las cuales se dejaron sumergidas en agua durante 24 horas. Previamente, se preparó la sal de tetrazolio con los siguientes porcentajes: 1 g de sal de Tetrazolio por 100 mL de agua destilada, dejándola reposar por 10 minutos en condiciones de oscuridad.

Pasadas las 24 horas, se colocaron las semillas en cajas Petri que contenían 30 mL de la solución de Tetrazolio, y se procedió a colocarlas en la estufa a 60 °C durante 2 horas. Al finalizar el tiempo, con ayuda de un bisturí, se realizó un corte transversal para verificar la pigmentación del embrión de las semillas, y así determinar si hubo un cambio notorio, como se menciona en la metodología prescrita por Salazar et al. (2020).

Se calculó el porcentaje de viabilidad utilizando la ecuación (9) propuesta por Ríos et al. (2018):

$$\%viabilidad = \frac{\text{semillas teñidas}}{\text{semillas totales}} * 100 \quad (9)$$

Categorías de vigor

Para determinar el número de semillas viables y no viables, se realizó la clasificación por niveles de vigor (alto, medio, bajo) según lo mencionado por Mancipe (2018).

Vigor alto: Se consideran aquellas semillas que presentan una coloración rojiza total.

Vigor medio: Se consideran aquellas semillas con una ligera coloración parcial sin manchas muy grandes.

Vigor bajo: Se consideran aquellas semillas con casi nula coloración rojiza.

No vigorosas: Se consideran aquellas semillas que se caracterizan por tener la radícula destruida y tejido muerto, sin ninguna coloración y manteniendo un color blanco lechoso.

2.4.3. Germinación

Para el control del proceso de germinación de las semillas se llevó a cabo la siembra directa en condiciones de vivero, utilizando envases de tubetes plásticos de 100 cm³ de capacidad y con una dimensión de 14x4 cm. Se empleó como sustrato la siguiente proporción: 35 % de turba, 20% de cascarilla de arroz, 25 % de arena y 20 % de tierra, el cual se agregó hasta la máxima capacidad del tubete. Se realizó riego diario con agua de lluvia para garantizar la hidratación continua de las semillas, estimulando el proceso de germinación. Una vez realizada la siembra, se llevó a cabo el control de germinación desde el día de la siembra hasta que la germinación fuera constante. Este proceso se realizó durante los tres tiempos de almacenamiento de las semillas que duró el ensayo experimental, basado en lo que mencionan (García et al. 2017). Una vez obtenido el registro diario de germinación, se calcularon los indicadores fisiológicos relacionados con la Capacidad germinativa (CG), Tiempo medio de germinación (TMG), Índice de Velocidad de germinación (IVG) e Índice de Timpson (IT).

La Capacidad germinativa se calculó mediante la siguiente ecuación (10) propuesta por García (2020):

$$CG = \frac{ni}{N} * 100 \quad (10)$$

El Tiempo medio de germinación (TMG), se determinó mediante la ecuación (11) recomendada por Abdala et al. (2020):

$$TMG = \frac{T1N1 + T2N2 + TnNn}{N} \quad (11)$$

Dónde: Tn: número de días transcurridos desde el inicio de la germinación hasta el día n, Nn: número de semillas germinadas en el día n, y N: número total de semillas germinadas.

Índice de velocidad de germinación (IVG), se calculó mediante la fórmula (12) propuesta por Abdala et al. (2020):

$$IVG = \sum \frac{ni}{ti} \quad (12)$$

Donde: Ni: Número de semillas germinadas, y ti – Tiempo necesario para alcanzar el mayor porcentaje de germinación.

El índice de Timpson permite determinar, el porcentaje de semillas germinadas durante un periodo de 24 horas se termina con la siguiente ecuación (13) prescrita por Flores y González (2021):

$$IT = \sum \left(\frac{G}{t} \right) \quad (13)$$

Dónde: G: porcentaje de germinación en intervalo de 24 horas, y t: período total de germinación.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple se encontraron marcadas diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la concentración de minerales (P, K, Ca y Na) entre los tres períodos de almacenamiento de las semillas de *S. macrophylla* (Figura 2).

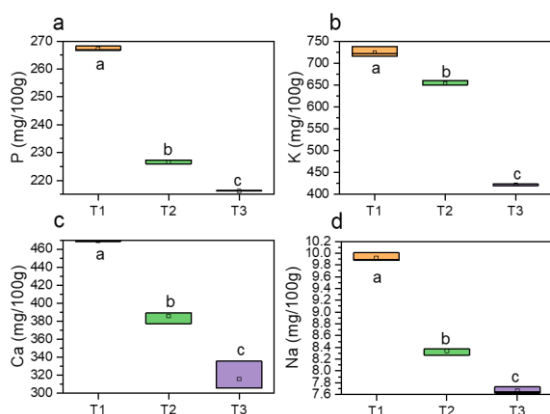


Figura 2 | Contenido de minerales de semillas de *S. macrophylla* de tres tiempos de almacenamiento: a) Fósforo (P), b) Potasio (K), c) Calcio (Ca) y d) Sodio (Na). Letras desiguales indicaron diferencias significativas según ANOVA y prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad.

El reporte del comportamiento de P mostró una mayor concentración en T1 con 267,25 mg/100 g, seguido por T2 con 226,43 mg/100 g y finalmente T3 con 216,27 mg/100 g. Respecto al contenido de K, T1 mostró la mayor concentración con 689,00 mg/100g, seguida por T2 con 653,33 mg/100 g y T3, que tuvo el valor más bajo con 422,08 mg/100 g. Por otro lado, en cuanto al contenido de Ca las semillas del T1 tuvieron el mayor contenido con 389,98 mg/100 g, T2 con 385,45 mg/100 g y T3 con 315,65 mg/100 g. En relación con el Na se observó que las semillas presentaron valores medios inferiores en comparación con el resto de los minerales analizados. En el T1 presentaron una composición de 8,64 mg/100 g, seguido por T2 con 8,34 mg/100 g y por último T3 con 7,67 mg/100 g.

Estos hallazgos evidenciaron comportamientos considerables en la composición de minerales de (P, K, Ca y Na), señalando una variación en la composición inorgánica entre los tres períodos de almacenamiento

estudiados, lo que indicó un deterioro en las semillas con el tiempo de almacenamiento.

Los resultados del ANOVA en lo que respecta a la concentración de (Zn, Cu y Co) y cenizas revelaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los tres períodos de almacenamiento de *S. macrophylla* (Figura 3).

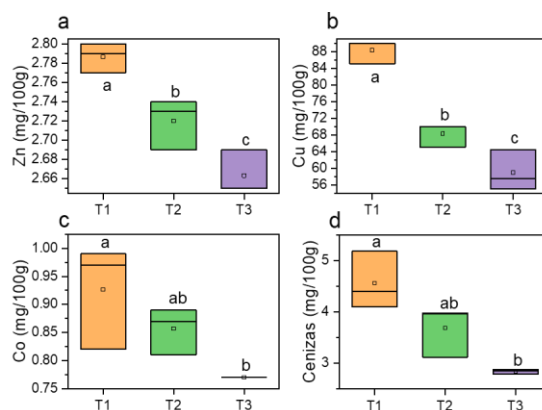


Figura 3 | Contenido de minerales y cenizas de semillas de *S. macrophylla* de tres tiempos de almacenamiento: a) Zinc (Zn), b) Cobre (Cu), c) Cobalto (Co) y d) Cenizas. Letras desiguales indicaron diferencias significativas según ANOVA y prueba de Tukey al 95% de confiabilidad.

El contenido de Zn reportó valores para T1 con 2,79 mg/100 g, seguido de T2 con 2,72 mg/100 g, y T3 presentó un valor medio de 2,66 mg/100 g. El comportamiento del Cu fue alto en comparación con lo reportado en el resto de los elementos inorgánicos. Se encontró mayor concentración en las semillas de T1 con 73,22 mg/100 g, seguido por el T2 con 68,33 mg/100 g y finalmente T3 con 63,00 mg/100 g. El contenido de Co presentó diferencias entre T1 y T3, T1 presentó un valor medio de 0,85 mg/100 g, y T3 tuvo un valor de 0,86 mg/100 g, además T2 tuvo un valor de 0,86 mg/100 g, valor muy similar a T1.

El contenido de ceniza resultó con un comportamiento similar respecto a Co, con diferencias de T1 y T2 con T3, con valores superiores en T1 y T2 que se mantuvieron por encima de 3,69 mg/100 g, contrario al contenido de cenizas de T3 que fue el más bajo con 2,84 mg/100 g.

Los resultados demostraron que existió una variación significativa en los compuestos inorgánicos (Zn, Co, Cu) y cenizas de las semillas de los períodos de almacenamiento de estudio.

Con respecto al contenido de aminoácidos, proteínas, carbohidratos y grasas se comprobó que existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los períodos de almacenamiento (Figura 4). Se obtuvo que el contenido de aminoácidos de las semillas de T1 revelaron un valor de 627,83 mg/100 g, siendo estas diferentes a T2 con un valor medio de 545,05 mg/100 g y T3 de 439,64 mg/100 g. Así mismo el contenido de

proteína para T1 fue de 11,98 mg/100 g, seguido de T2 con valor medio de 12,54 mg/100 g y una variación significativa en T3 con un valor de 9,14 mg/100 g.

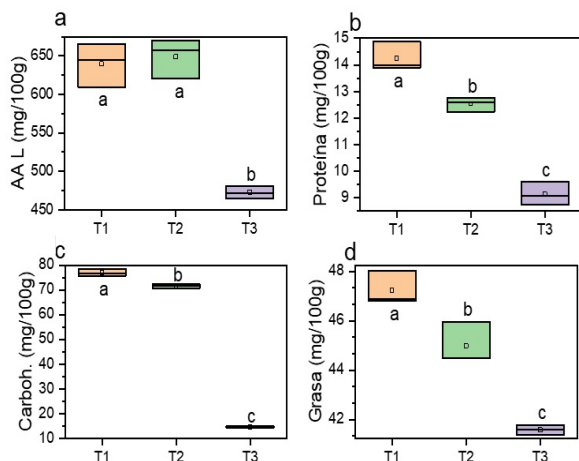


Figura 4 | Contenido de los compuestos orgánicos de las semillas de *S. macrophylla* de tres períodos de almacenamiento a) Aminoácidos (AA L), b) Proteína c) Carbohidratos (Carboh), d) Grasa. Letras distintas mostraron diferencias significativas según ANOVA y prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad.

El contenido de carbohidratos para T1 fue de 77,18 mg/100 g, T2 con valor de 74,32 mg/100 g y T3 con 66,10 mg/100 g, verificando que T1 presentó mayor concentración y T3 fue menor. En cuanto a grasa se obtuvo los siguientes resultados: T1 con 46,60 mg/100 g, T2 con 45,38 mg/100 g y T3 41,79 mg/100 g, siguiendo el mismo patrón de variación en función del tiempo de almacenamiento.

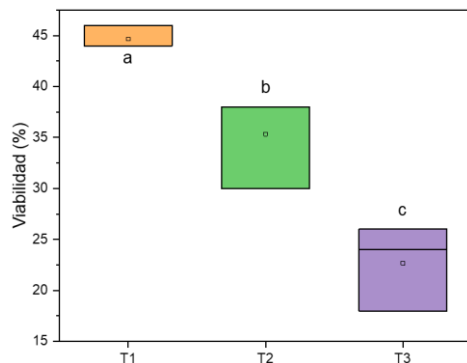


Figura 5 | Porcentaje de Viabilidad en semillas de *S. macrophylla* de tres tiempos de almacenamiento. Letras desiguales indicaron diferencias significativas según ANOVA y prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad.

Los resultados del ANOVA relacionados con el porcentaje de viabilidad de las semillas mostraron variación significativa ($p \leq 0,05$) entre los tres períodos de almacenamiento de *S. macrophylla*. El porcentaje de viabilidad en T1 reflejó con 44,67 %, seguido del T2 con 35,33 % y finalmente T3 presentó un porcentaje menor con 22,67 %. Los resultados mostraron una disminución progresiva en el porcentaje de viabilidad en función del tiempo de almacenamiento, lo cual indicó que las condiciones de almacenamiento

contribuyeron a una reducción en la capacidad de la semilla para mantener su viabilidad a lo largo del tiempo (**Figura 5**).

El análisis de categorías de vigor de las semillas expresó porcentajes para T1 con 21,33 %, T2 con 38,66 % y T3 con 32,00 %, de semillas en la categoría de vigor alto al resultar semillas teñidas de color rojizo. En la categoría de vigor medio T1 presentó un porcentaje de 69,33 %, T2 con valor de 32,00 % y T3 con 12,00 %, obteniendo T1 un mayor porcentaje con relación a los dos tiempos restantes. En la categoría de vigor bajo T1 resultó con 2,66 %, T2 con 17,33 %, valor final T3 29,33 %, verificando que en el T3 el porcentaje es más alto. En la categoría de No vigorosas generó los siguientes resultados: T1 con 6,66 %, T2 con 12 % y T3 25,33 %, estos resultados demostraron que T3 obtuvo un valor más alto en la categoría de No vigorosas (**Tabla 2**).

Tabla 2 | Categorías de vigor de semillas de *S. macrophylla*, de tres tiempos de almacenamiento.

Almacenamiento	Categoría de vigor			
	V. alto (%)	V. medio (%)	V. bajo (%)	No vigorosas (%)
T1	21,33	69,33	2,66	6,66
T2	38,66	32,00	17,33	12,00
T3	32,00	12,00	29,33	25,33

La curva de germinación acumulada en el tiempo indicó que la germinación inició el día 15 en los dos primeros tiempos de almacenamiento, en T1 con 5 semillas y en T2 con 1 semilla. Para el día 29, T1 presentó un total de 40 semillas germinadas, marcando el período con la mayor tasa de germinación diaria, mientras que T2 alcanzó 26 semillas, y T3 inició la germinación con 1 semilla. Al llegar al día 31, la cantidad de semillas germinadas ascendió a 41 en T1, 28 en T2, y 4 en T3. Continuando hasta el día 37, el conteo final de semillas germinadas fue de 42 para el T1, 31 para T2, y T3 se mantuvo constante con 4 semillas desde el último conteo. Después del día 37 no se percibieron cambios notorios en los niveles de germinación para ninguno de los tres tratamientos. No obstante, T1 mostró una tasa de germinación más elevada y estable desde ese momento hasta el cierre del experimento en el día 45, seguido por T2 con una frecuencia de germinación diaria notablemente menor, caso contrario a T3 que presentó el menor número de semillas germinadas, lo que indicó que estas semillas experimentaron una reducción acelerada en la capacidad de germinación a lo largo del tiempo debido a su período de almacenamiento. Adicional a esto, en la curva se pudo observar un crecimiento exponencial en T1 a partir del día 15 (germinación de 4 semillas) hasta el día 28 o 29 (germinación de 39 o 40 semillas). Esto está dado por el aumento gradual de la germinación, con un incremento notable en la cantidad de semillas que germinaron diariamente. En el caso

del tratamiento T2, el crecimiento fue de tipo exponencial desde el día 15 (germinación de 1 semilla) hasta el día 26 (germinación de 19 semillas), con un aumento rápido en la germinación. En cuanto al tratamiento T3, el crecimiento exponencial ocurrió en el período del día 29 (germinación de 1 semilla) y el día 31 (germinación de 4 semillas), siendo el único momento que hubo un incremento ligero en la germinación (**Figura 6**).

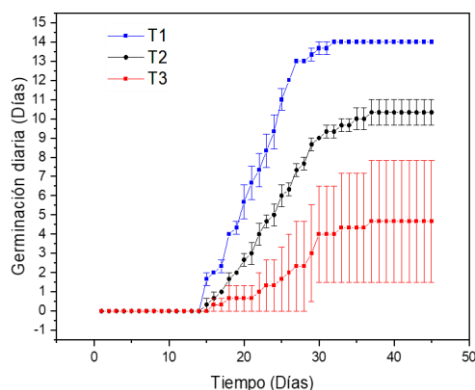


Figura 6 Germinación acumulada en función del tiempo en semillas de *S. macrophylla*, de tres períodos de almacenamiento.

Los resultados del ANOVA referente a los indicadores fisiológicos (CG, TMG, IVG, IT) y humedad mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con los tiempos de almacenamiento de semillas de *S. macrophylla* (**Figura 7**).

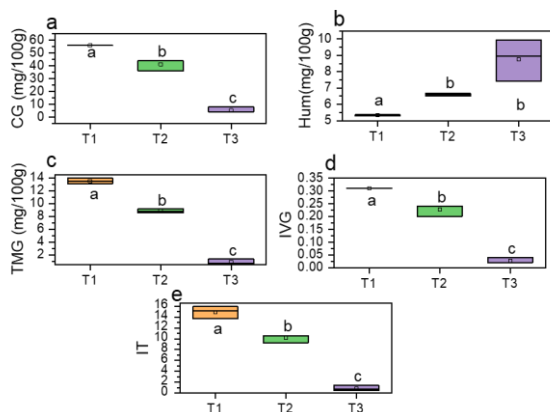


Figura 7 | Indicadores de calidad de las semillas de *S. macrophylla*, a) Capacidad germinativa, b) Humedad, c) Tiempo medio de germinación, d) Índice de velocidad de germinación, e) Índice de Timpson. Las letras diversas indicaron significativas según ANOVA y la prueba de Tukey al 95 % de confiabilidad.

En el caso de la capacidad germinativa (CG) se comprobó un comportamiento diverso en los tres períodos de almacenamiento, reportando un porcentaje en T1 de 56,00 %, comprobando que hubo mayor cantidad de semillas germinadas durante los 45 días del ensayo de germinación, en T2 fue de 41,33 % y seguido de T3 con 5,33 %, revelando que a mayor tiempo de almacenamiento existió menor porcentaje de capacidad germinativa. El índice de Timpson (IT), para las semillas del T1 fue de 14,92 %,

T2 de 10,13 % y el T3 con 0,86 %, reflejando que en T1 obtuvo una mejor respuesta lo cual se relaciona con la velocidad de germinación y el tiempo de germinación.

Por otra parte, el índice de velocidad de germinación (IVG), reportó un valor medio para T1 de 0,31 %, seguido de T2 con 0,23 % y por último T3 con 0,03 %, lo cual un reflejo del inicio de la germinación y el tiempo que duró, comprobando que a en T1 que inició a los 15 días las semillas alcanzaron el mayor el porcentaje de semillas germinadas. El tiempo medio de germinación (TMG), para T1 fue de 13,49 %, seguido de T2 con 8,84 % y por último T3 con 0,85 %. En cuanto al contenido de humedad se comprobó un aumento en función del tiempo de almacenamiento, en T1 fue de 5,60 %, T2 con 6,60 % y T3 con 8,77 %, lo cual es un reflejo del incremento de humedad que generó un deterioro en las semillas y por consiguiente ocurrió proliferación de hongos y bacterias que afectaron la germinación de las semillas (**Figura 7**).

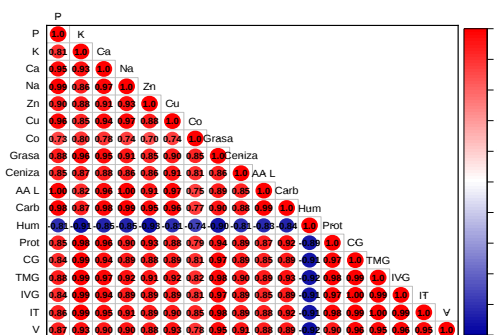


Figura 8 | Matriz de correlación de Pearson entre los parámetros de la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *S. macrophylla*, de tres tiempos de almacenamiento. Fósforo(P), Potasio (K), Calcio (Ca), Sodio (Na), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Grasa, Ceniza, Aminoácidos (AAL), Carbohidratos (Carb), Humedad, Proteína, Capacidad germinativa (CG), Tiempo medio de germinación (TMG), Índice de velocidad de germinación (IVG), Índice de Timpson (IT), Viabilidad (V).

Los resultados obtenidos de la matriz de correlación de Pearson mostraron una alta relación entre las variables de composición química orgánica e inorgánica, viabilidad y los indicadores de calidad de semillas. Se comprobó una alta correlación positiva por encima del 50 % en todos los parámetros. Las mayores relaciones se reportaron entre P con AAL (1), K con Na- CG- TMG- IVG- IT- V- (0,99), Ca con Carbohidratos- Proteína- TMG- Humedad (0,98), Na con Cu- CG- IVG- (0,97), AAL con Carbohidratos- (0,99), Cu con Grasa- Proteína- V (0,96), Co con K (0,80), Zn con Na (0,93), Ceniza con Na- Zn- Grasa (0,86). Por otro lado, se comprobó que existe una relación inversa negativa fuerte del contenido de humedad con la composición química, viabilidad y los indicadores de calidad de semillas, lo cual es un reflejo del deterioro de las semillas asociado por un aumento de la humedad en el tiempo (**Figura 8**).

Los resultados del análisis de componentes principales reportaron dos componentes, el PC1 con un 94,83 % de la varianza y el PC2 con un 5,17 % de la variabilidad total de los datos. El tratamiento T1 se ubicó en el eje 2 del extremo positivo con mayor contribución en los siguientes compuestos inorgánicos (P, Co, Cu), en los orgánicos como (AA libres y Grasa) y en los indicadores fisiológicos de calidad de semilla (CG, TMG, IVG) y viabilidad. Por el contrario, el T2 se localizó en el eje 1 del extremo positivo agrupando la mayor concentración de (Na, K, Zn, Ca), ceniza, proteína y el índice de Timpson como indicador de calidad de la semilla, mientras que T3 se encontró en el eje 2 del extremo negativo relacionado con el contenido de humedad. Los resultados permitieron disminuir la magnitud de expresión de los datos obtenidos en el estudio (composición química, viabilidad y germinación de semillas de *S. macrophylla*), reflejando en el sistema cartesiano información sobre los patrones diferenciales en función de los períodos de almacenamiento. Estos resultados reportaron el efecto del tiempo de almacenamiento sobre la composición química, viabilidad y la calidad de la semilla (Figura 9).

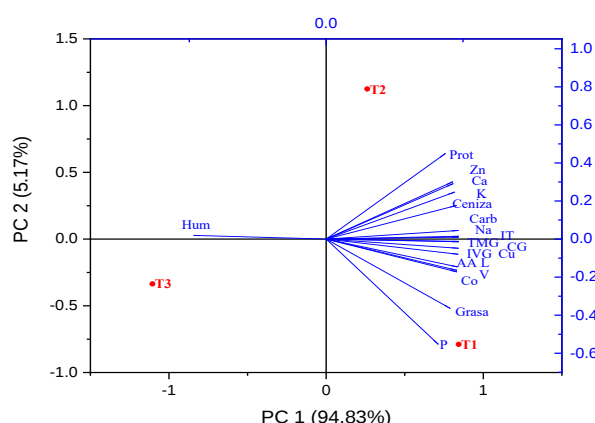


Figura 9 | Análisis de componentes principales de la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *S. macrophylla*, de tres tiempos de almacenamiento. Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Sodio (Na), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Germinación (G), Viabilidad (V), Ceniza, Aminoácidos libres (AAL), Carbohidratos (Carb), Grasa, Proteína (Prot), Humedad (Hum), Capacidad germinativa (CG), Tiempo medio de germinación (TMG), Índice de velocidad de germinación (IVG), Índice de Timpson (IT).

3.2. Discusión

Los resultados de la composición inorgánica de las semillas de *S. macrophylla* reportaron alta variación en función del tiempo de almacenamiento. Este comportamiento puede estar relacionado con varios factores, tales como: la calidad fisiológica de la semilla, la zona geográfica de donde fueron extraídas, potencial genético, especie y las condiciones ambientales en las que fueron almacenadas, conforme lo que menciona Carvalho et al. (2022). Es notorio resaltar que son escasos los estudios de composición química en semillas de especies forestales, siendo este uno de los

trabajos pioneros, sin embargo, existe un marco más amplio para semillas agrícolas.

El análisis de la composición inorgánica de las semillas de la especie en estudio indicó un deterioro de las semillas en función del tiempo. Estos hallazgos indicaron una disminución progresiva en los niveles de estos minerales a medida que avanzó el período de almacenamiento. Estos resultados coinciden con las observaciones de Espinoza et al. (2016), quienes señalaron que las semillas de frejol experimentaron cambios en su composición química con el tiempo de almacenamiento, y destacaron la influencia crucial del contenido de humedad en la conservación de dicha composición. Se destacó que, a mayores niveles de humedad, la semilla se deteriora con una velocidad mayor.

Según Domínguez (2021), el análisis de los parámetros inorgánicos de las semillas reveló discrepancias asociadas a las condiciones de almacenamiento. Por lo que afirma la teoría que es necesario controlar las condiciones ambientales durante el período de almacenamiento para la especie en estudio. En la determinación de cenizas se encontraron diferencias significativas durante los tres períodos de almacenamiento, lo cual indicó una disminución gradual en cada intervalo temporal almacenado. Estos resultados coinciden con lo que menciona Domínguez (2021) y Ostojich et al. (2012) en relación al contenido de cenizas, lo cual sigue el mismo patrón de los minerales analizados con anterioridad.

La concentración de AAL, proteína, grasa y carbohidratos como variables que describen la composición orgánica de las semillas marcó diferencias en los tres períodos de almacenamiento, evidenciando que la parte orgánica de la semilla se deterioró con el tiempo. Un comportamiento similar fue observado por Ruiz et al. (2013) en semillas de Sacha inchi, que presentaron valores por debajo del 70,00 %, lo que indicó una composición orgánica moderada en las semillas de esta especie.

Estos resultados confirmaron el deterioro en la composición química de las semillas como reflejo de la calidad fisiológica, lo que incidió en la disminución del porcentaje de germinación a lo largo del tiempo. Este patrón de comportamiento es consistente con el estudio de Manjarrez et al. (2017) en semillas de Canola.

En relación con la viabilidad de semillas se demostró que las categorías de vigor (alto, medio, bajo y no vigorosas) resultó diferente en tres períodos de almacenamiento. Estos resultados fueron similares a lo reportado por García et al. (2023) en un estudio realizado con semillas de *S. macrophylla*, evaluadas mediante tetrazolio al 1,00 %, los cuales reportaron un

bajo porcentaje de semillas viables, por debajo del 70%. Estos resultados son un reflejo del deterioro de las semillas por lo que manifestaron un bajo vigor con el tiempo, como lo señalaron Saumell (1980) en su investigación sobre semillas de girasoles. Esto demostró la importancia en la longevidad durante el almacenamiento y su capacidad para germinar en condiciones de campo, según lo descrito por Domínguez (2021).

El contenido de humedad de las semillas de *S. macrophylla* tuvo un patrón de comportamiento inverso al resto de las variables analizadas de composición química, viabilidad y germinación, debido a que ocurrió un aumento gradual con el tiempo, esto indicó la influencia de las condiciones ambientales durante el tiempo de almacenamiento de las semillas, lo cual trajo como consecuencia la aparición de hongos y bacterias que afectaron la germinación de las semillas, como lo menciona Gómez et al. (2006). Este incremento de la humedad con el tiempo se corresponde con lo reportado por Romero y Riveros (1989), quienes manifestaron que el incremento de la humedad en las semillas reflejó un deterioro en las semillas dando lugar a la proliferación de hongos y bacterias que afectaron directamente a la germinación.

Se comprobó que existe un patrón de disminución paulatina con el tiempo en los indicadores de calidad de las semillas, lo que indicó una disminución en la calidad de la calidad fisiológica de las semillas. Este patrón de comportamiento fue similar a lo reportado por Grajales et al. (2023). La interacción entre la humedad y las condiciones de almacenamiento ejerció una influencia significativa en la germinación de las semillas de caoba, como lo evidenció Gómez et al. (2006). Este comportamiento se reflejó en porcentajes de germinación del 43,30 %, demostrando una relación directa pero inversa entre el contenido de humedad y el proceso germinativo de las semillas.

De acuerdo con los hallazgos de Ceballos et al. (2007), la conservación de semillas a temperatura ambiente ejerció un impacto determinante en su capacidad germinativa. Este fenómeno se vinculó directamente con la continuación de procesos metabólicos, tales como la respiración celular y la oxidación de lípidos y proteínas. En consecuencia, se desencadenó un proceso de degradación progresiva que culminó con la muerte del embrión. Las posibles causas que contribuyen al deterioro de la calidad de la semilla pueden incidir en la disminución tanto del vigor como de la germinación, conforme lo indicado por Gómez et al. (2006).

Gómez et al. (1997) indicaron que, con el paso del tiempo, las semillas de caoba experimentaron una disminución en su calidad fisiológica y viabilidad, lo

cual depende de las condiciones bajo las cuales se almacenaron. Sin embargo, Niembro (1997) indicó que la calidad de la semilla influyó directamente en el porcentaje de germinación, el cual obtuvo el 91% para las semillas de *S. macrophylla* King.

La matriz de correlación de Pearson permitió entender la relación entre las variables relacionadas con la composición química, viabilidad y calidad de semillas en los tratamientos T1, T2, y T3, en el eje positivo (+), y eje negativo (-), confirmando la relación fuerte positiva entre los minerales, composición orgánica, viabilidad y los indicadores de calidad de semillas y una relación negativa con la humedad. Este comportamiento se debe a la singularidad de los patrones de las variables, según lo que menciona Hernández et al. (2018).

Los resultados obtenidos en esta investigación contribuyen con información valiosa de la composición química de las semillas de *S. macrophylla*, en tres tiempos de almacenamiento, lo que es evidente que a medida que el tiempo de almacenamiento transcurrió se produce una degradación en la composición química, viabilidad y germinación de las semillas bajo condiciones naturales de almacenamiento (luz, temperatura y humedad relativa), lo que se corresponde con lo referido a Gómez et al. (2006).

4. Conclusiones

La composición química de las semillas de *S. macrophylla* resultó con diferencias significativas en función del tiempo de almacenamiento. Esto indicó cambios en la composición inorgánica y orgánica de las semillas como respuesta del deterioro gradual que sufrieron las semillas con el tiempo, lo que evidenció la importancia de monitorear y gestionar el almacenamiento de semillas en condiciones ambientales.

La prueba de viabilidad indicó que las semillas de *S. macrophylla* del primer tiempo de almacenamiento (T1) alcanzaron un 44,67 %, las del segundo tiempo (T2) un 35,33 % y del tercer tiempo (T3) un 22,67 %. Esto demostró que existe una disminución progresiva en el porcentaje de viabilidad de las semillas en función del tiempo de almacenamiento como expresión de que las condiciones de almacenamiento contribuyeron a una reducción en la capacidad de las semillas para mantener su viabilidad a lo largo del tiempo.

La germinación de las semillas disminuyó con el tiempo de almacenamiento, lo cual es un reflejo de la baja calidad fisiológica de las semillas que fue expresado mediante el conjunto de indicadores de calidad (capacidad germinativa, viabilidad, tiempo

medio de germinación, velocidad de germinación y el índice de Timpson).

El análisis de los componentes principales (ACP) reportó el efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química, viabilidad y germinación de las semillas de *S. macrophylla*, destacando que un menor tiempo de almacenamiento ayudó a preservar la

composición química y calidad de las semillas. Esto aportó información importante valiosa para la silvicultura de la especie en relación con las prácticas de almacenamiento de semillas para asegurar la germinación, supervivencia y sostenibilidad de esta especie, clave en los ecosistemas forestales amazónicos.

Contribuciones de los autores	Edison Ramiro Orozco Rojas: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada Nayeli Lizbeth Wampanti Grefa: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada Yudel García Quintana: Concepción del trabajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada
Conflicto de intereses de los autores	Los autores declaran no tener conflicto de intereses.
Financiamiento	Este Preprint fue desarrollado con el apoyo del Proyecto de Investigación <i>Propuesta de especies forestales arbustivas y arbóreas con potencial bioacumulador de metales pesados para mitigar la contaminación en áreas del cantón Arosemena Tola, región amazónica ecuatoriana</i> de la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

5. Referencias

- ABDALA, NR., BRAVO, S. Y ACOSTA, M. Germinación y efectos del almacenamiento de frutos de *Prosopis ruscifolia* (Fabaceae). Bosque (Valdivia) [online]. 2020, vol.41, n.2 [citado 2024-03-12], pp.103-111. Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002020000200103&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0717-9200. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002020000200103>.
- ACOSTA, FD, ORANTES, C. Y GARRIDO, ER. Germinación y crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) en condiciones de vivero. 2011.
- AOAC. Official Methods of Analysis of A.O.A.C international; agricultural chemicals, contaminants, drugs. 17a Edición. Maryland. E.E.U.U. (2000).
- BALIJEPAI, MK., SUPPAIAH, V., CHIN, A., BURU, AS., RAO, SS. Y PICHKA, MR. Acute oral toxicity studies of *Swietenia macrophylla* seeds in *Sprague Dawley* rats. *Pharmacology Research*;7(1): 38-44. 2015. <https://ijpbr.in/index.php/IJPBR/article/view/714/479>.
- CARVALHO, LS., FACHINI, C., DA SILVA V. Y FORTI V. Maíz criollo del suroeste de São Paulo, Brasil: diversidad y calidad de semillas. 1, *Texcoco: Rev. Mex. Cienc. Agríc*, 2022, Vol. 13. ISSN 2007-0934, 2022. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-342022000100015&script=sci_arttext#B16
- CEBALLOS F., A.J.; LÓPEZ R., J.A. Conservación de la calidad de semillas forestales nativas en almacenamiento. *Cenicafé* 58(4): 265-292.2007.
- CH'NG, YS., LOH, YC., TAN, CS., AHMAD, M., ASMAWI, MZ., WAN, WM. Y YAM, MF. Vasodilation and antihypertensive activities of *Swietenia macrophylla* (mahogany) seed extract. *J Med Food*; 21(3): 289-301, 2018. Disponible en: <https://ijpbr.in/index.php/IJPBR/article/view/714/479>.
- DÍAZ, CA. Y GONZALEZ, EJ. Universidad Nacional de Trujillo Facultad de Farmacia y Bioquímica Escuela Académico Profesional de Farmacia y Bioquímica [Universidad de Trujillo- Facultad de farmacia y bioquímica], 2018. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/994178d9-079a-49f4-adab-18dfad813962/content>.
- DÍAZ, PC. Y RODRÍGUEZ, OA. Crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en respuesta a extractos vegetales. *Agrociencia*, 2020, vol. 54, no 5, p. 673-681.
- DOMÍNGUEZ, A. Efecto del almacenamiento sobre la calidad física y fisiológica de semillas de *Swietenia macrophylla* King. dc. Date. issued, 2021-07; dc.
- ESPINOZA, N., MARTÍNEZ, R., CHÁVEZ, JL., VERA, AM., CARRILLO, JC., HEREDIA, E. Y VELASCO, VA. Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista fitotecnia mexicana*, 2016, vol. 39, no 3, p. 215-223.

- FLORES, A. Y GONZÁLEZ, JM. Quantitative assessment of *Quercus variabilis* Blume germination in three seed sizes. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(68), 202–211, 2021. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.1104>.
- GADPR UNIÓN MILAGREÑA. Datos generales-Unión Milagrena. (2019). Disponible en: <https://unionmilagrena.gob.ec/index.php/la-parroquia/datos-generales>.
- GARCÍA, E. Y FERNÁNDEZ, I. Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. (2012).
- GARCÍA, E., RODRIGUEZ, DA., GUÍZAR, E. Y ARTEAGA, B. Capacidad Germinativa y su tasa de declinación en semilla de *Lupinus bilineatus* benth. almacenada 15 años. *Capacidad Germinativa*, 54(1), 1–14, 2020. <https://agrocienca-colpos.org/index.php/agrocienca/article/view/1886/1883>.
- GARCÍA, Y., ARTEAGA, Y., ABREU, R., DE DECKER, M. Y LAZO, Y. Quality indicators in *Ochroma pyramidale* seeds from three sites in the Ecuadorian Amazon for reforestation in degraded areas. *Quality Indicators in Ochroma pyramidale Seeds from Three Sites in the Ecuadorian Amazon for Reforestation in Degraded Areas*, 4609, 2017. <https://doi.org/10.3390/mol2net-03-04609>.
- GARCÍA, Y., ARTEAGA, Y., DECKER, M. Y DEL CARMEN, M. Seed viability, germination, and seedling quality patterns of three forest species for restoration in Amazonian conditions. 1, Quito: Enfoque UTE. vol.14. ISSN 1390-6542versión impresa ISSN 1390-9363 (2023). http://scielo.senecyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422023000100018&script=sci_arttext.
- GÓMEZ, J., JASSO J., VARGAS, J. Y SOTO, MR. Deterioro de semilla de dos procedencias de *Swietenia macrophylla* King, bajo distintos métodos de almacenamiento. *Ra Ximhai: Revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 2006, vol. 2, no 1, p. 223-239.
- GÓMEZ, J. Y JASSO. J. Deterioro de la semilla de *Swietenia macrophylla* King, (Caoba) bajo diferentes métodos de almacenamiento. *M en C Adolfo Sánchez Zamora*, p. 133. 1997.
- GRAJALES, M., SUÁREZ, RS. Y MENDOZA, MR. Potencial de almacenamiento de semillas de las especies forestales Caoba (*Swietenia macrophylla* King) y Abarco (*Cariniana pyriformis* Miers). *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 2023, vol. 35, no 1, p. 440-451.
- HERNÁNDEZ, JD., ESPINOSA, F., RODRÍGUEZ, JE., CHACÓN, JG., TOLOZA, CA., ARENAS, MK., CARRILLO, SM. Y BERMÚDEZ, VJ. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, vol. 37, núm. 5, Sociedad Venezolana de Farmacología Clínica y Terapéutica, Venezuela, ISSN: 0798-026, (2018). <https://www.redalyc.org/journal/559/55963207025/55963207025.pdf>.
- HONG, TD. Y ELLIS, RH. Contrastando el comportamiento de almacenamiento de semillas entre diferentes especies de Meliaceae. 1998.
- INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES. Caoba *Swietenia macrophylla*; paquete tecnológico forestal. Guatemala, INAB, 2017.
- ISTA. International Rules for Seed Testing Rules. *Seed Science & Technology*, 21, Supplement. (1993).
- JÁCOME, CS., GARCÍA Y., GUERRERO, JP., ARTEAGA, Y., LAZO, Y. Y MORALES, A. «Efecto de *Trichoderma harzianum* como bioestimulante en el crecimiento de plántulas de *Swietenia macrophylla* en condiciones de vivero», *Rev. Amaz. Cienc. Tecnol.*, vol. 8, n.º 1, pp. 40–51, ago. 2019.
- LUNA, SB., ÁLVAREZ, RR., PEÑAFIE, NJ., RADICE, M., SCALVENZI, L., ARTEAGA, Y., LÓPEZ, OD. Y BRAVO, LR. Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica Revista de Las Agro ciencias* ISSN 2477-8982, 13(1), 47–56, 2023. <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5725>.
- LUNA, SB., RODRÍGUEZ, NN., DAHUA, RD. Y SANCHO, D. Compuestos polifenólicos, contenido mineral y tamizaje fitoquímico de extractos acuosos de *Simira cordifolia* obtenidos mediante ultrasonidos. *Polo Del Conocimiento*, 9(1), 418–437, 2024. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i11.6216>.
- MAATE. Acuerdo N° 90 - Establece en todo el territorio continental del Ecuador la veda de la especie *Swietenia macrophylla* (caoba/ahuano). *Acuerdo*1;2;3;4. 2017.
- MANCIPE, C., CALDERON, M. Y PEREZ, LV. Evaluación de viabilidad de semillas de 17 especies tropicales altoandinas por la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio. *Caldasia* [online]. 2018, vol.40, n.2, pp.366-382. ISSN 0366-5232. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v40n2.68251>.
- MANJARREZ, FJ., DÍAZ, R; CARBALLO, A., ESTRADA, A., VAQUERA, H., ACOSTA, JA., ÁVILA, MA. Y GÁMEZ, AJ. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de semilla de canola.

- Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 8, núm. 4, mayo-junio, 2017, pp. 933-948. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Estado de México, México.
- MEJÍA, GT. Determinación del poder calorífico superior correlacionado con el contenido de proteína, grasa y carbohidrato de tres pseudocereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen.) y kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) [Universidad Nacional Mayor de San Marcos], 2022. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/18144/Mej%c3%ada_hg.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- MELESSA, U. Y PALACIOS, W. Huella isotópica: ¿puede el análisis forense mejorar el control forestal? Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, [S. l.], n. 10, p. 21–32, 2013. DOI: 10.17141/letrasverdes.10.2011.909. Disponible en: <https://revistas.flacsoandes.edu.ec/letrasverdes/article/view/909>.
- OLIVEIRA, LFR., SANTOS, PHR., SILVA, LG., CORREIA, LPS. Y LAFETÁ, BO. Cultivo de meliáceas arbóreas no Brasil. Applied Research & Agrotechnology, Guarapuava-PR, v.12, n.2, p.139-151, Mai-ago., 2019. DOI: 10.5935/PAeT.V12. N2.14.
- OSTOJICH, Z. Y SANGRONIS, E. Caracterización de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) cultivadas en Venezuela. ALAN [online]. 2012, vol.62, n.2 [citado 2024-03-12], pp.192-200. Disponible en: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222012000200014&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0004-0622.
- NIEMBRO, A. Efectos de tres formas de almacenamiento de las semillas de caoba “*Swietenia macrophylla* King” sobre su porcentaje de germinación. M en C Adolfo Sánchez Zamora, p. 128. 1997.
- RÍOS, CA., ORANTES, C., MORENO, RA. Y FARRERA, Ó. Efecto del almacenamiento sobre la viabilidad y germinación de dos especies arbóreas tropicales. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5(13), 103–109, (2018). <https://doi.org/10.19136/era.a5n13.1161>.
- ROMERO, CE., Y RIVERO, G. Condiciones de almacenamiento v su efecto sobre la viabilidad de semilla de *Centrosema pubescens*, Benth. Revista ICA, 1989, no 4, p. 370-380.
- RUIZ, C., DÍAZ, C., ANAYA, J. Y ROJAS, R. Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). 1, Lima: Rev. Soc. Quím. Perú v.79. ISSN 1810-634X (2013). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100005.
- SALAZAR, SA., QUINTERO, JD. Y BUSTOS, VJ. Implementación de la prueba de tetrazolio en las semillas de *Raphanus sativus* L. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 15(2), 7–15, 2020. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3831>.
- SAUMELL, H. Girasol. Técnicas actualizadas para su cultivo. 2da.Edición. Edit. hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 161p, (1980).
- TELRANDHE, UB., KOSALGE, SB., PARIHAR, S., SHARMA, D. y LADE, S N. Phytochemistry and pharmacological activities of *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae). Sch Acad J Pharm, 2022, vol. 1, p. 6-12. https://saspublishers.com/media/articles/SAJP_111_6-12.pdf.
- VIÁFARA, D. Técnicas analíticas laboratorio de Bromatología Universidad Estatal Amazónica. (2020).