

Efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química y calidad de semillas de *Cedrela odorata* L

Effect of storage time on the chemical composition and quality of *Cedrela odorata* L. seeds

Veónica Patricica Ganán Cisneros¹, Alex Lorenzo Pilca Tandayamo¹, Yudel García Quintana¹

<https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep01-17>



Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química y la calidad de las semillas de *C. odorata* L. (cedro) como contribución al manejo silvícola de este importante recurso forestal. Para ello se utilizó un diseño completamente aleatorio con tres tratamientos y réplicas, correspondiente a tres tiempos de almacenamiento (T1, T2 y T3) de las semillas. Se analizó el contenido de compuestos inorgánicos (P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co) y orgánicos (grasa, ceniza, aminoácidos y proteínas). Se realizó la prueba de viabilidad mediante tetrazolio al 1% y se determinaron los indicadores de calidad de semillas (CG, TMG, IT, H), a través de un ensayo de germinación. La composición química de las semillas reveló diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el contenido de compuestos inorgánicos y orgánicos, con valores medios superiores en el primer tiempo de almacenamiento. La viabilidad disminuyó significativamente de T1 a T3, resultando en todos los tratamientos semillas con vigor alto, medio y bajo. Los indicadores de calidad de semillas (CG, TMG, IT) tuvieron un comportamiento inferior en T3, lo que reflejó que la calidad fisiológica de las semillas se vio afectada con el tiempo. El contenido de humedad aumentó con el tiempo, lo que incidió en la respuesta a la germinación. Estos resultados indicaron que las condiciones de almacenamiento de las semillas desencadenaron un deterioro en la composición química y una consecuente reducción de la capacidad para mantener su viabilidad y la calidad de las semillas.

Palabras clave

semillas forestales; compuestos inorgánicos; compuestos orgánicos; viabilidad; indicadores de calidad

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of storage time on the chemical composition and quality of *C. odorata* L. (cedro) seeds as a contribution to the silvicultural management of this important forest resource. A completely randomized design with three treatments and replicates was used, corresponding to three seed storage times (T1, T2 and T3). The content of inorganic compounds (P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co) and organic compounds (fat, ash, amino acids, and proteins) was analyzed. Viability was assessed using a 1% tetrazolium test, and seed quality indicators (CG, TMG, IT, H) were determined through a germination assay. The chemical composition of the seeds revealed significant differences ($p \leq 0.05$) in the content of inorganic and organic compounds, with higher average values in the first storage time. Viability significantly decreased from T1 to T3, resulting in seeds with high, medium, and low vigor in all treatments. Seed quality indicators (CG, TMG, IT) showed lower performance in T3, reflecting that the physiological quality of the seeds was affected over time. The moisture content increased with time, influencing germination response. These results indicated that seed storage conditions triggered a deterioration in chemical composition and a consequent reduction in the ability to maintain viability and seed quality.

Keywords

forest seeds; inorganic compounds; organic compounds; viability; quality indicators

Direcciones

¹ Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: vp.gananc@uea.edu.ec; al.pilcat@uea.edu.ec; ygarcia@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Veónica Patricica Ganán Cisneros. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. email: vp.gananc@uea.edu.ec

Como citar

GANÁN CISNEROS, V. P., A. L. PILCA TANDAYAMO AND Y. GARCÍA QUINTANA Efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química y calidad de semillas de *Cedrela odorata* L. PrePrint UEA, 2024, FOR2324, ep01-17. <https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2324ep01-17>

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 *Cedrela odorata* L. (cedro) perteneciente a la familia Meliaceae, se destaca por su importancia económica en América (Rosales-Castro et al. 2016), siendo originaria de Centroamérica, la cual se distribuye desde México hasta el norte de Suramérica

(Betancourt 1987). Se localiza en áreas tropicales, subtropicales y en climas semihúmedos a una altitud de 1200 m.s.n.m (Asadobay 2019).

En la actualidad *C. odorata* se reconoce como una de las especies forestales más apreciadas globalmente, especialmente por la alta calidad de su madera

(Galarza 2021). La misma se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción hasta la fabricación de muebles y ebanistería en general (Cordero et al. 2004). Esta especie requiere especial atención por su elevada demanda y sobreexplotación de madera en el Ecuador (Aguirre et al. 2015), existiendo una gran presión debido a la tala excesiva, encontrándose en la lista de especies condicionadas, catalogada en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (Roa et al. 2020). Otro problema importante que afecta al cedro es el ataque de *Hypsipyla grandella* Zeller (taladrador de las meliáceas), especialmente en las plantaciones comerciales (Díaz et al. 2010).

Las semillas de *C. odorata* constituyen la principal fuente de propagación de la especie, lo que requiere de estándares de calidad para mantener la perpetuidad de los bosques. Estas se clasifican dentro del grupo de semillas ortodoxas, por lo que se necesita manejar adecuadamente las condiciones ambientales. Al mantener las semillas con niveles bajos de humedad y a temperaturas bajas, el período de conservación se incrementa (García et al. 2013). Estas semillas almacenadas a 2 o 3 °C, estén o no herméticamente envasadas conservan su viabilidad durante al menos 9 meses. Sin embargo, si se conserva en condiciones ambientes, sus condiciones físicas y químicas disminuyen rápidamente dentro de un mes (Díaz et al. 2010). El almacenamiento de semillas es vital para los programas de producción de plantas a nivel nacional. No obstante, las semillas no pueden conservar sus condiciones físicas, químicas y la capacidad de germinación de forma indefinida. Las circunstancias de almacenamiento de una semilla son decisivas para la preservación de la viabilidad (Doria 2010). El almacenamiento prolongado afecta la viabilidad y calidad de las semillas debido a que la oxidación de lípidos y proteínas, junto con la pérdida de humedad, alteran su composición química, lo que influye en su capacidad de germinación y crecimiento (Ranganathan et al. 2023). Las prácticas inadecuadas de almacenamiento de semillas influyen de manera directa en la composición química y capacidad germinativa. Las semillas deterioradas poseen baja germinación y vigor, por consiguiente, tienden a producir plántulas débiles con reducido potencial de rendimiento (Minuzzi et al. 2007). De ahí, la importancia de atender los factores que la afectan y los procesos de acondicionamiento, ya que cualquier factor que afecte negativamente la calidad de la semilla, ayuda al incremento de su deterioro.

En este contexto, en Ecuador es esencial llevar a cabo la planificación y ejecución de proyectos destinados a la forestación, reforestación, restauración y enriquecimiento ambiental con especies forestales

producidas en viveros, utilizando semillas de alta calidad (Cué et al. 2019). Por su parte, Prado et al. (2010) mencionan que existe escasez de semillas forestales de buena calidad en cantidad y falta de suministro oportuno para satisfacer las necesidades de los productores. Además, existe poco conocimiento técnico y científico sobre las prácticas de producción, procesamiento y almacenamiento de semillas de diversas especies, lo que compromete su viabilidad. Esta situación no se encuentra exenta para la especie *C. odorata* ya que la misma presenta problemas de establecimiento y/o forestación, presentando altos porcentajes de pérdida en los viveros y en el desarrollo inicial en campo, debido al uso de semillas sin criterios de calidad y al no considerar las condiciones de almacenamiento una vez que son recolectadas de las fuentes semilleras, lo cual incide en la composición química de las semillas y en la capacidad germinativa.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química y la calidad de las semillas de *C. odorata* como contribución al manejo silvícola de este importante recurso forestal.

2. Metodología

2.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), situado en el kilómetro 2 1/2 vía al Tena, provincia de Pastaza. Se emplearon semillas de *C. odorata* recolectadas de árboles semilleros con buenas características fenotípicas, procedentes de la parroquia Unión Milagreña, cantón Joya de los Sachas, de la provincia de Orellana. Éstos se encontraron ubicados en las coordenadas UTM 18M 300956E 9960250N, a una altitud de 270 m.s.n.m. Esta zona, tiene una temperatura promedio anual de 27 °C, con una precipitación anual de 3,125 mm y una humedad relativa media del 79,5 % (GADP Unión Milagreña 2019) (**Figura 1**).

De acuerdo con los datos del INAMHI (2017), el cantón Mera, perteneciente a la provincia Pastaza, se encuentra ubicado en la parte oeste de la provincia de Pastaza, se delimita el territorio con el parque nacional Llanganates, al sur con Morona Santiago, al norte con la provincia del Napo y al este con la parroquia Puyo (**Figura 1**).

De acuerdo con Lucio (2019), el suelo del cantón tiene una estructura litológica formada por lutitas, calizas negras y areniscas donde predomina una cobertura de bosque y relieves montañosos. La zona de vida en cuestión corresponde al bosque siempre verde montano bajo, caracterizado por temperaturas que varían en un rango de 16 °C a 22 °C. La temperatura

media anual del cantón Mera es de 21,3 °C con una precipitación de 4.507,6 mm. El cantón posee tres tipos diferentes de pisos altitudinales que son: Premontano a 600 - 2000 msnm, Montano Bajo a 2000 - 3000 msnm y Montano a 3000 - 4000 msnm (Figura 1).

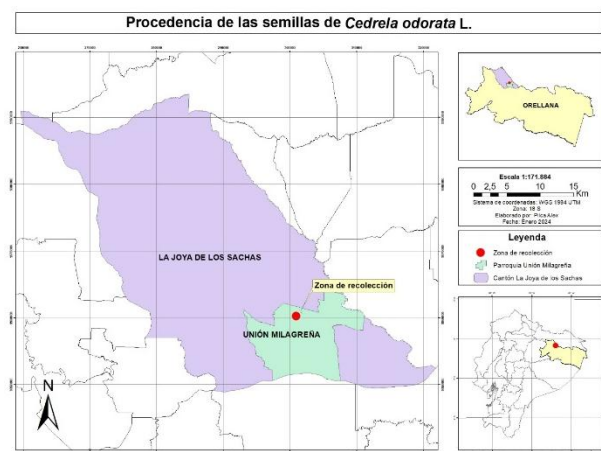


Figura 1 | Ubicación geográfica del origen de los árboles donde se recolectaron semillas de *C. odorata*.

Los ecosistemas de la Cordillera Oriental de los Andes, como el arbustal siempreverde ripario y los bosques inundables, son fundamentales para la biodiversidad regional. Destacan por su extensa cobertura y por albergar una amplia variedad de especies vegetales y animales. Estos ecosistemas desempeñan un papel crucial en la regulación del agua y la conservación del suelo, lo que los convierte en elementos vitales para el equilibrio ambiental. Es esencial proteger y conservar estos hábitats, ya que proporcionan servicios ecosistémicos fundamentales y albergan una rica biodiversidad en la región. La densidad poblacional del cantón es de 19,7 habitantes por kilómetro cuadrado en 2020 (Ministerio del ambiente, 2015).

2.2. Material seminal

Para caracterizar el material seminal se realizó un diseño experimental completamente aleatorio con tres tratamientos, consistente en tres tiempos de almacenamiento del material seminal de *C. odorata* con tres réplicas. La composición química (orgánica e inorgánica) y el control de germinación se realizó durante cada período de almacenamiento. La composición orgánica consistió en el análisis de proteínas, carbohidratos, grasas y aminoácidos. La composición inorgánica incluyó los minerales de P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co y contenido de cenizas. Se examinaron parámetros relacionados con la calidad física y fisiológica de las semillas tales como el contenido de humedad, la viabilidad de las semillas, capacidad germinativa, tiempo medio de germinación, índice de velocidad de germinación e índice de Timpson.

2.3. Preparación de muestra

Se molió las semillas de *C. odorata*, utilizando el molinillo de café KitchenAid, se procedió a pesar una cantidad precisa de 50 g utilizando la balanza analítica Pioneer, se almacenó la muestra molida en una funda hermética dentro de un desecador para evitar la absorción de la humedad durante el período de almacenamiento.

2.4. Composición inorgánica

2.4.1. Determinación de P, K, Ca, Na, Zn, Cu y Co

Para la preparación de la muestra digerida se procedió a pesar 0,5 g de la muestra molida de las semillas en los pocillos designados. Luego, se agregó 1 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 31,4 % y 7 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado al 65 % en cada pocillo, seguidamente las muestras fueron colocadas en el equipo de sistema de digestión de muestras por microonda ETHOS One, las cuales fueron sometidos al proceso de digestión durante un tiempo de 1 hora y 30 minutos, utilizando condiciones controladas de temperatura y presión. Al concluir este proceso, el contenido de los pocillos se transfirió a los matraces de 25 mL, aforando con HNO_3 (1 M) para ajustar el volumen. Posteriormente se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer AAnalyst 800 para determinar la cantidad de K, Ca, Na, Zn, Cu y Co. La cuantificación se realizó por el método de la curva de calibración, y se aplicó la ecuación (1) para expresar el resultado en mg/kg según Luna-Fox 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)

El contenido de fósforo se determinó mediante el método colorimétrico del Vanadato-Molibdato de Amonio recomendado por Valverde et al. (2021), utilizando el equipo espectrofotómetro PerkinElmer Lambda 25. El cálculo de la concentración se realizó mediante la ecuación (2) recomendada por Luna-Fox et al. (2023).

$$A = 0.098654C + 0.013403 \quad (2)$$

Donde: A: Representa la absorbancia de la muestra, y C: Concentración en mg/L

2.4.2. Determinación de ceniza

Para determinar el contenido de cenizas se siguió el procedimiento gravimétrico descrito por Luna-Fox (2023). Se tomó una muestra de 1 g de material molido y se colocó en un crisol de porcelana. Las muestras

fueron sometidas a carbonización en una hornilla hasta la completa ausencia de emisión de humo. Posteriormente, se introdujeron en una Mufla Thermo Scientific precalentada a 550 °C durante un período de 2 horas para su calcinación. Tras este proceso, las muestras fueron enfriadas en un desecador aproximadamente 20 minutos antes de proceder a su pesaje en una balanza analítica de alta precisión. Para la determinación del contenido de cenizas totales, se aplicó la ecuación (3) recomendada por Luna-Fox et al. (2023).

$$\%C = \frac{M1 - m}{M2 - m} * 100 \quad (3)$$

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.

2.5. Composición inorgánica

2.5.1. Determinación de carbohidratos y aminoácidos totales

Preparación del extracto acuoso

Se llevó a cabo la preparación del extracto acuoso mediante la aplicación de la técnica de extracción con baño ultrasonido, siguiendo las directrices establecidas por Luna-Fox et al. (2023). Se utilizaron 5 g de muestra molida, los cuales fueron introducidos en un balón de vidrio de 250 mL y se añadió 100 mL de agua destilada como solvente. El proceso de extracción se inició mediante la aplicación de energía ultrasónica a una temperatura controlada de 60 °C durante un período de 30 min. Posteriormente, el extracto resultante se filtró cuidadosamente utilizando un embudo con papel filtro en un matraz de 100 mL para su posterior análisis.

Carbohidratos

La cuantificación de los carbohidratos totales se llevó a cabo mediante el método ácido sulfúrico-fenol, tal como fue descrito por Luna-Fox et al. (2023). Para ello, se extrajo una muestra de 1 mL del extracto acuoso filtrado para cada réplica, la cual se colocó en tubos de ensayos sumergidos en un baño de hielo. Seguidamente, se añadieron 3 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado a la muestra y se permitió que reaccionara durante 3 min. Finalmente, la solución se diluyó en un matraz aforado de 50 mL con agua destilada, alcanzando una disolución final en matraces de 10 mL. La preparación del blanco se efectuó utilizando 1 mL de agua (H₂O) destilada junto con 3 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Para llevar a cabo la lectura de la absorbancia se utilizó el equipo Espectrofotómetro PERKIN ELMER Lambda, configurado a una longitud de onda específica

de 315 nm. Se aplicó la ecuación (4) recomendada por Ley de-Coss et al. (2013).

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

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

Aminoácidos

La cuantificación de los aminoácidos totales se llevó a cabo mediante el método de proceso de hidrato de tricetohidrindeno (ninhidrina), mencionado por Herrera et al. (2018). Se extrajo 1 mL del extracto acuoso y se adicionaron 2 mL de una solución de ninhidrina al 2 % en tubos de ensayos. Para la preparación del blanco se utilizó 1 mL de agua (H₂O) destilada y 2 mL de la misma solución de ninhidrina al 2 %. Los tubos de ensayo de las muestras y el blanco fueron colocados en un baño de agua a temperatura de ebullición. Una vez que se alcanzó la temperatura deseada se interrumpió el calentamiento y se permitió que los tubos reposaran durante un período de 10 a 15 min. Posteriormente, el contenido de los tubos de ensayo se transfirió a matraces aforados de 10 mL. La absorbancia de las soluciones se registró utilizando un espectrofotómetro PERKIN ELMER Lambda, configurado a una longitud de onda específica de 570 nm. Se calculó el contenido de aminoácidos mediante la ecuación (5) utilizada por Luna-Fox et al. (2023).

$$A = 0,0333 * C - 0,0264 \quad (5)$$

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

2.5.2. Determinación de nitrógeno y proteína

Se determinó el contenido de nitrógeno según el método Kjeldahl el cual consta de tres etapas: Digestión, destilación y valoración. Finalmente, el contenido de nitrógeno se multiplicó por un factor de conversión (6,25) para expresar el resultado en porcentaje de proteína bruta (García et al. 2013).

a. Etapa de digestión o mineralización

Se pesó 1 g de muestra de semilla molida y homogenizada de *C. odorata* en papel siliconado, posteriormente se introdujo en el tubo de digestión con una capacidad de 300 mL y se añadió una pastilla catalizadora de Kjeldahl, tres perlititas de ebullición y 20 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado. Se colocaron los tubos de digestión con las muestras en el módulo digestor conectando la bomba de vacío y el colector de humo, se realizó la digestión a una temperatura de 400 °C durante 2 horas y finalmente se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente.

b. Etapa de destilación

Al tubo que contiene la muestra digerida se le añadió 65 mL de agua destilada y 60 mL de hidróxido de sodio al 45,4 % 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 min hasta obtener un volumen de 150 mL de destilado aproximadamente.

c. Etapa de valoración

El destilado obtenido se tituló con una solución de ácido sulfúrico 0,2 N hasta obtener un cambio de color turquesa a violeta que indica el punto final de la valoración. Para el cálculo y expresión de los resultados se utilizó la siguiente ecuación recomendada por Aguilar et al. (2019) ecuación (6).

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

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

Para determinar el contenido de proteína se utilizó la ecuación (7) (Alegre et al. 2019).

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

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

2.5.3. Determinación de grasas

La determinación del contenido de grasas se realizó siguiendo el método estipulado por la AOAC (2000). Se pesó 1 g de semilla molida, y se colocó en las fundas XT4 FILTER BAGS previamente pesada, estas fundas se introdujeron en el equipo EXTRACTOR ANKON X15 donde se llevó a cabo la extracción de la grasa utilizando hexano como solvente durante un período de 2 horas, asegurando una extracción exhaustiva de los lípidos presentes en la muestra. Una vez que finalizó la extracción, las fundas fueron retiradas del equipo y colocadas en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 30 min con el objetivo de eliminar completamente cualquier residuo de hexano. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en la balanza analítica y se calculó el contenido de grasa mediante la diferencia de masa, siguiendo la ecuación (8) definida por AOAC (2000).

$$\%G = 100\% - \frac{m2 - m1}{m} * 100 \quad (8)$$

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)

2.6. Indicadores de calidad de semilla

2.6.1. Determinación de humedad

Para la determinación del contenido de humedad de las semillas se utilizó el método gravimétrico estandarizado Poulsen (1999). Se pesó 1 g de semillas

molidas en crisoles de porcelana por triplicado para asegurar la precisión de los resultados. Las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a una temperatura controlada de 105 °C durante un período de 2 horas para garantizar la eliminación completa de la humedad. Después de enfriar las muestras en un desecador durante 30 minutos, se registraron los pesos iniciales. Este proceso se repitió en un ciclo adicional de secado en la estufa por 1 hora para verificar la constancia del peso y asegurar la precisión de la medición. Los cálculos para determinar el contenido de humedad se llevaron a cabo utilizando la diferencia entre los pesos inicial y final, conforme a la ecuación (9) especificada por la Poulsen (1999).

$$\%H = 100\% - \frac{M1 - M2}{M} * 100 \quad (9)$$

Dónde: M2: Peso de la caja Petri vacía (g), M1: Peso de la caja Petri más la muestra seca (g), y M: Peso de la muestra (g).

2.6.2. Prueba de viabilidad

La prueba de viabilidad de las semillas se llevó a cabo utilizando el método de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio) con una concentración del 1% (García et al. 2017; Salazar 2020).

El porcentaje de viabilidad se obtuvo a través de la ecuación (10) propuesta por Ríos-García et al. (2018).

$$\%viabilidad = \frac{\text{semillas teñidas}}{\text{semillas totales}} * 100 \quad (10)$$

Preparación de la disolución

Se realizó la preparación de la disolución de tetrazolio al 1,0 % mezclando 1 g de la sal de tetrazolio y se disolvieron completamente en 100 mL de agua destilada, asegurando una mezcla homogénea. La disolución resultante se transfirió cuidadosamente a un frasco de vidrio de color ámbar, que proporciona protección contra la luz. Este frasco fue puesto a reposar por 10 min en un lugar oscuro y fresco para mantener una buena concentración con la metodología utilizada por Luna-Fox et al. (2023).

Acondicionamiento previo de las semillas

Las semillas fueron envueltas en papel de cocina previamente humedecido y se mantuvieron en estas condiciones durante un período de 24 horas a temperatura ambiente (Machuca 2022). Este proceso permitió que las semillas absorbieran la humedad necesaria para ser expuestas a la prueba de viabilidad en tetrazolio.

Preparación y análisis de las muestras de las semillas

Las semillas fueron distribuidas en tres réplicas, cada una compuesta por una submuestra de 25 semillas, se sumergieron en una solución de tetrazolio en cajas

Petri y fueron colocadas en la estufa a 60 °C por 24 h. Para el análisis de las semillas se realizó un corte longitudinal sobre el costado dorsal de la semilla con la finalidad de verificar si se había producido un cambio de color rojizo, conforme a la descripción proporcionada por García et al. (2023).

Categorías de vigor

Para clasificar los niveles de vigor (alto, medio, bajo y no vigorosas) se adoptó la metodología de dos Santos et al. (2019), lo cual facilitó la diferencia entre las semillas viables y no viables.

Alto vigor: Semillas que estaban completamente manchadas con un aspecto rojizo.

Vigor medio: Semillas con pequeñas áreas de color rojizo sin manchas, con poca profundidad, tejidos necróticos o flácidos.

Bajo vigor: Semillas con la presencia de áreas grandes o múltiples menores de color rojizo sin tinción, con tejidos necróticos o flácidos de mayor extensión.

No vigorosas: Semillas con radícula deteriorada sin coloración (blanco lechoso), lo que indicó tejido muerto.

2.6.3. Germinación

La prueba de germinación permitió evaluar la viabilidad de un lote de semillas, determinando el porcentaje de semillas capaces de desarrollar plántulas normales bajo condiciones ideales de luz, agua, aire y temperatura (López et al. 2016).

Las semillas fueron sometidas a un preacondicionamiento mediante inmersión en agua destilada durante 24 horas en un intervalo de tiempo conforme a los estándares recomendados para especies arbóreas (Correa et al. 2013).

La germinación fue realizada en condiciones de laboratorio a temperatura ambiente, para lo cual se utilizó caja Petri y papel toalla húmedo como sustrato. Se llevaron a cabo tres tratamientos, cada uno con 50 semillas, sumando un total de 150 semillas en cada ensayo de germinación. Las semillas se regaron diariamente con agua destilada para asegurar la humedad adecuada. El control de germinación de las semillas se realizó diariamente desde el proceso de siembra hasta la conclusión del período germinativo, lo cual permitió analizar la cantidad de plántulas que emergieron diariamente y el número de días transcurridos desde la siembra. Esta información facilitó calcular los indicadores de calidad de las semillas relacionados con la capacidad germinativa (CG), tiempo medio de germinación (TMG), velocidad de germinación (SG) y el índice de Timpson. Para calcular la capacidad germinativa se aplicó la ecuación (11) recomendada por Staniak et al. (2021).

$$CG = \frac{n^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{n^{\circ} \text{ de semillas sembradas}} \quad (11)$$

El Tiempo Medio de Germinación (TMG) se utilizó para evaluar tanto la velocidad como la variabilidad en el proceso de germinación, lo cual fue posible con la ecuación (12) recomendada por Rodríguez et al. (2018).

$$TMG = \frac{T1N1 + T2N2 + TnNn}{N} \quad (12)$$

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.

La velocidad germinativa (SG), se determinó mediante la ecuación (13) propuesta por Kimura et al. (2012).

$$SG = \sum(xi/n) \quad (13)$$

Dónde: xi: Número de semillas que emergieron por día, n: Número de días después de la siembra y SG: Velocidad de germinación.

El índice de Timpson calculó el porcentaje de semillas germinadas por un lapso de 24 h. Para esto se utilizó la ecuación (14) recomendada por Garruña-Hernández et al. (2014).

$$IT = \sum\left(\frac{G}{t}\right) \quad (14)$$

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

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de clasificación simple se reportaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la concentración de minerales (P, K, Ca y Na) en los tres tiempos de almacenamiento de las semillas de *C. odorata* (Figura 2). El contenido de P fue diferente en los tres tiempos de almacenamiento, en T1 se registró una concentración de 277,10 mg/100 g, mientras que en T2 se observó una reducción a 118,79 mg/100 g, y en T3 fue de 88,78 mg/100 g (Figura 2a). Los contenidos de K, Ca y Na presentaron el mismo patrón de comportamiento con valores superiores en T1 e inferiores entre T2 y T3, con semejanzas entre ellos.

La concentración de K en T1 alcanzó un valor de 3555,33 mg/100 g, mientras que en T2 y T3 la concentración fue de 3112,47 mg/100 g (Figura 2b). El Ca en T1 registró una concentración de 788,33 mg/100 g, T2 con un valor medio de 603,70 mg/100 g, y T3 fue de 608,47 mg/100 g (Figura 2c). En relación con el contenido de Na en T1 la concentración fue de 252,67 mg/100 g, mientras que en T2 y T3 fueron de 248,28 mg/100 g y 248,20 mg/100 g, respectivamente (Figura 2d).

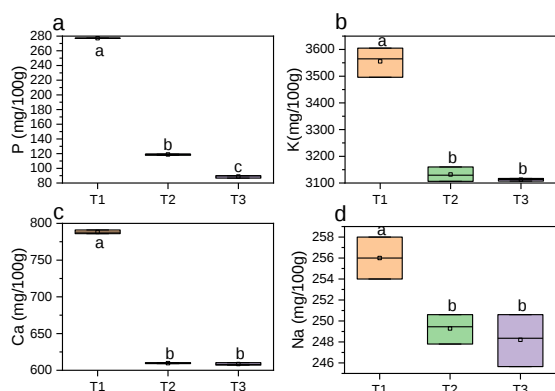


Figura 2 | Contenido de minerales de semillas de *C. odorata* almacenadas durante tres tiempos: a) Fósforo (P), b) Potasio(K), c) Calcio (Ca) y d) Sodio (Na). Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indicaron variaciones significativas ($p \leq 0,05$) en los niveles de minerales (Zn, Cu y Co) y cenizas durante los tres tiempos de almacenamiento de las semillas de *C. odorata* (Figura 3).

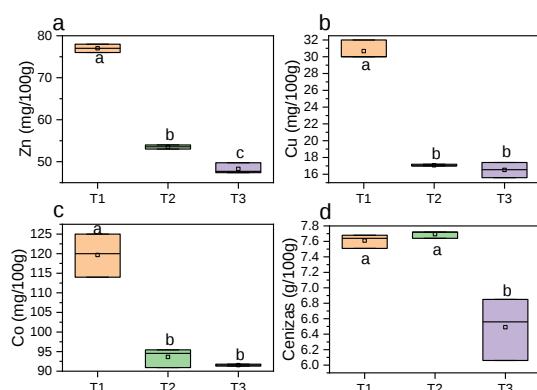


Figura 3 | Contenido de minerales y cenizas de semillas de *C. odorata* almacenadas durante tres tiempos: a) Zinc (Zn), b) Cobre (Cu), c) Cobalto (Co), d) cenizas. Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey

El contenido de Zn en T1 registró una concentración de 77 mg/100 g, superior al resto, la cual disminuyó en T2 a 53,52 mg/100 g y en T3 a 48,27 mg/100 g (Figura 3a). La concentración de Cu y Co presentaron la misma tendencia con diferencias entre T1 en comparación con T2 y T3. El contenido de Cu en T1 registró un valor medio de 30,67 mg/100 g, mientras que T2 y T3 la concentración fue de 17,06 mg/100 g y 16,52 mg/100 g, respectivamente (Figura 3b). El contenido de Co en T1 fue superior y registró una concentración de 119,67 mg/100 g, en T2 fue de 93,64 mg/100 g y en T3 de 93,34 mg/100 g (Figura 3c).

El contenido de cenizas registró que las semillas de la especie *C. odorata* durante los dos primeros tiempos de almacenamiento (T1 y T2) mantuvieron valores similares, con diferencias con el último tiempo de almacenamiento. En T1 el valor medio fue de

7,61 mg/100 g, en T2 de 7,62 mg/100 g, mientras que en T3 fue de 6,49 mg/100 g (Figura 3d).

Estos resultados demostraron la existencia de cambios considerables en los niveles de minerales de P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co y cenizas en las semillas de la especie en estudio, con reducciones a lo largo del tiempo, lo cual reflejó un deterioro progresivo en la composición inorgánica de la semilla de esta especie.

Se observaron variaciones significativas ($p \leq 0,05$) en los niveles de aminoácidos, carbohidratos, grasas y proteínas durante los tiempos de almacenamiento (Figura 4). Los niveles de aminoácidos en T1 y T2 fueron de 639,76 mg/100 g y 649,25 mg/100 g, respectivamente. Sin embargo, en T3 se registró una disminución significativa a 472,65 mg/100 g, evidenciando diferencias con respecto a T1 y T2 (Figura 4a). El contenido de proteína en T1 registró una concentración de 20,93 mg/100 g, superior al resto, la cual disminuyó en T2 a 18,97 mg/100 g y en T3 a 18,21 mg/100 g (Figura 4b).

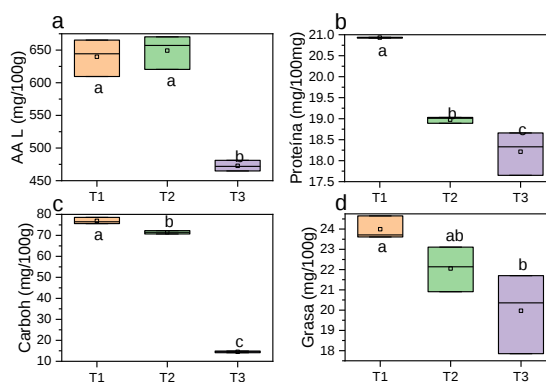


Figura 4 | Contenido de compuestos orgánicos en semillas de *C. odorata* almacenadas durante tres tiempos diferentes: a) AA libres, b) Carbohidratos, c) Proteínas, d) Grasas. Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey

El contenido de carbohidratos fue diferente a medida que el tiempo de almacenamiento fue pasando, resultando en T1 con 76,89 mg/100 g, mientras que T2 de 71,47 mg/100 g y T3 registró un valor de 14,50 mg/100 g (Figura 4c).

En cuanto al contenido de grasa se reportaron diferencias marcadas entre T1 y T3. En T1 se registró un valor promedio de 23,99 mg/100 g, mientras que T3 este valor disminuyó a 19,97 mg/100 g, y en T2 se comprobó que los valores fueron similares a lo reportado para T1 y T3 con un promedio de 22,05 mg/100 g (Figura 4d). Estos resultados resaltan la influencia del tiempo de almacenamiento en la composición nutricional de las semillas, con disminuciones notables en aminoácidos, carbohidratos, proteínas y grasa en la medida que transcurre el tiempo.

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) indicaron variaciones significativas ($p \leq 0,05$) en la viabilidad de las semillas para los tres tiempos de almacenamiento de las semillas de *C. odorata*.

El porcentaje de viabilidad en T1 fue de 90 % y en T3 de 78 %, mientras que T2 no presentó diferencias con T1 y T3 (Figura 5). Estos resultados mostraron una disminución gradual en el porcentaje de viabilidad, indicando que las condiciones de almacenamiento desencadenaron una reducción en la capacidad de las semillas para mantener su viabilidad a medida que transcurría el tiempo.

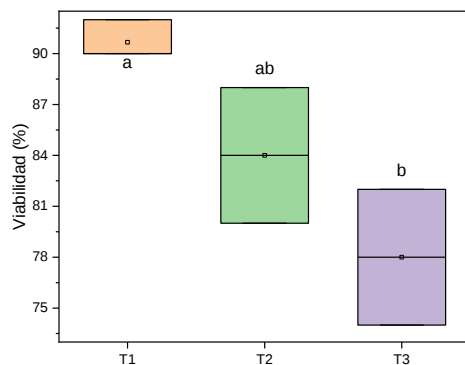


Figura 5 | Porcentaje de viabilidad de semillas de *C. odorata* almacenadas durante tres tiempos.. Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

La evaluación de viabilidad de las semillas reportó que T1 presentó mayor porcentaje de viabilidad, con un 80,67 % de semillas con una coloración rojiza (Vigor alto). En T2, este porcentaje disminuyó a un 76 %, y en T3 se registró un 72,67 % de semillas teñidas de rojo (Vigor alto), pero con un aumento en el porcentaje de semillas sin coloración (No vigorosas) alcanzado el 22 %. Estos resultados demostraron una disminución en la viabilidad de las semillas a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento (Tabla 1).

Tabla 1 | Categorías de vigor de semillas de *C. odorata* de tres tiempos de almacenamiento.

Almacenamiento	Categoría de vigor			
	V. alto (%)	V. medio (%)	V. bajo (%)	No vigorosas (%)
T1	80,67	6,67	0,00	12,67
T2	76,00	8,00	0,00	16,00
T3	72,67	5,33	0,00	22,00

Los resultados mostraron la respuesta de la germinación de las semillas en cada unidad experimental durante los 31 días que duró el ensayo de germinación (Figura 6). Se observó que T1 y T2 tuvieron un comportamiento similar, mientras que T3 presentó una germinación diaria acumulada inferior al resto. La germinación en T1 y T2 inició a los 2 días después de la fecha de siembra. Se observó una ligera diferencia en el tercer día cuando T2 registró un

crecimiento exponencial en la curva de germinación acumulada hasta el día 12 donde tuvo un comportamiento más lineal, con un promedio de 32 semillas germinadas, y finalmente la curva se estabilizó al día 26 donde su germinación fue de 35 semillas. En cambio, en T1 la curva empezó a estabilizarse en el día 18 con 32 semillas germinadas, sin embargo, su germinación hasta el día 27 tuvo un crecimiento lineal, con un promedio de germinación de 40 semillas. Por el contrario, en T3 se observó que la germinación inició en el día 11, con un promedio de 4 semillas germinadas, teniendo la curva un crecimiento exponencial hasta el día 20 que alcanzó mayor estabilidad en el día 27 con 23 semillas germinadas, demostrando una disminución en la germinación en relación con el tiempo de almacenamiento.

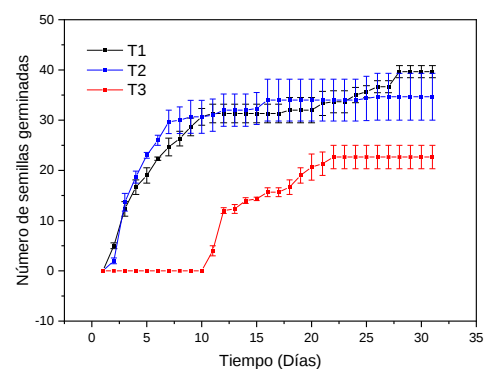


Figura 6 Germinación acumulada de semillas de *C. odorata* en función del tiempo de almacenamiento

Se observó que el porcentaje de capacidad germinativa (CG), la humedad, el tiempo medio de germinación (TMG), la velocidad de germinación (VG) y el índice de Timpson (IT) de las semillas, como indicadores de la calidad de las semillas mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los tres períodos de almacenamiento (Figura 7). La capacidad germinativa (CG) reportó marcadas diferencias entre T1 y T3, con 79,33 % en T1 y un 45,33 % en T3, demostrando una disparidad evidente en la capacidad de las semillas para emerger plántulas. Por otro lado, T2 fue similar a T1 y T3, registrando un 69,33 % de capacidad germinativa (Figura 7a). El índice de Timpson (IT) no mostró diferencia entre T1 y T2, pero se observó una disparidad significativa en T3. En T1 registró un valor de 28,63 %, T2 un 28,73 %, mientras que T3 fue notablemente menor con 12,41 % (Figura 7c). Estos resultados reflejaron que el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo en la germinación, indicando que las semillas almacenadas en T1 y T2 germinan con mayor rapidez como reflejo de una mayor calidad fisiológica.

La velocidad de germinación (VG), registró diferencia significativa entre T1 y T3, registrando valores de 1,28 % para T1 y 0,73 % para T3 1,12 %, mientras que T2 con un valor medio de 1,12 % no tuvo diferencia

significativa con T1 y T3 (**Figura 7d**). Por otra parte, el tiempo medio de germinación (TMG), T1 como T2 no tuvieron diferencias, registrando un tiempo promedio de germinación de 18 días, mientras que T3 mostró diferencia significativa con un tiempo promedio de 7 días (**Figura 7c**). Esto reflejó el inicio de la germinación y su duración, confirmando que las semillas alcanzaron su máxima germinación en el T1 y T2 a partir de los 18 días.

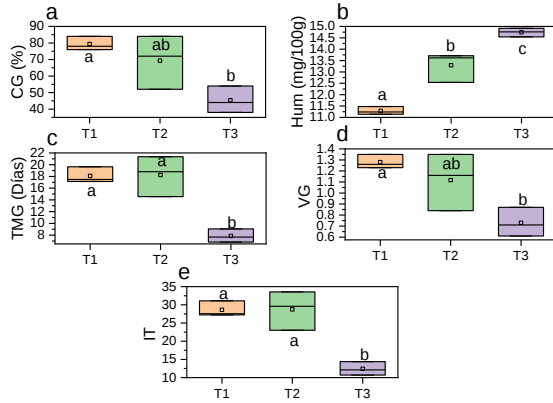


Figura 7 | Indicadores de calidad de las semillas de *C. odorata*: a) Capacidad germinativa, b) Humedad, c) Tiempo medio de germinación, d) Índice de velocidad de germinación, e) Índice de Timpson. Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 %, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey.

Las variaciones en el contenido de humedad fueron notables a lo largo de los tres períodos de almacenamiento, comprobándose que a medida que transcurre el tiempo aumentó el contenido de humedad de las semillas, lo cual es un reflejo de las condiciones de deterioro físico de las semillas que afectó el proceso de germinación. En T1 se obtuvo un valor medio de 7,85 mg/100 g, mientras que T2 registró 13,29 mg/100 g y T3 alcanzó un 14,71 mg/100 g (**Figura 7b**).

Los resultados obtenidos de la matriz de correlación de Pearson indicaron una correlación positiva fuerte con valores superiores a 0,42 en la escala de Pearson entre la composición inorgánica (P, K, Ca, Na, Zn y Cu), la composición orgánica (carbohidratos, proteínas, aminoácidos, grasas) y los indicadores de germinación (CG, TMG, VG, IT), indicando una mayor relación en las variables que presentaron valores cercanos a 1 (**Figura 8**). Por otro lado, se observó una correlación negativa fuerte entre la humedad y las variables analizadas de composición química y germinación, indicando una relación inversa con valores inferiores a -0,65. Esto reflejó que a medida que aumenta el contenido de humedad de las semillas ocurre un deterioro de estas y por consiguiente disminuyó la germinación.

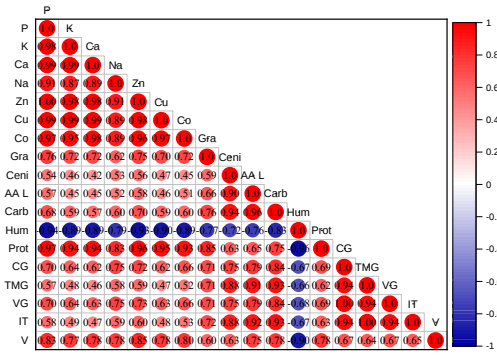


Figura 8 | Matriz de correlación de Pearson entre los parámetros de la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *C. odorata* de tres tiempos de almacenamiento. Fósforo(P), Potasio(K), Calcio (Ca), Sodio (Na), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Germinación, Viabilidad, Ceniza, Aminoácidos libres, Carbohidratos, Grasa, Proteína, Humedad, Capacidad germinativa (CG), Tiempo medio de germinación (TMG), Velocidad de germinación (VG), Índice de Timpson (IT).

Según el análisis de componentes principales (ACP) se identificaron dos componentes principales (PC1 y PC2). El primer PC1 explicó el 84,62 % de la variabilidad en los datos, mientras que PC2 explicó el 28,66 % de la varianza total. El sistema de coordenadas indicó que las semillas del primer tiempo de almacenamiento (T1), ubicado en el eje dos del extremo positivo presentó mayor afinidad por los compuestos inorgánicos (Na, Zn, P, k, Ca, Cu, Co) y orgánico (proteína), mientras T2 ubicada en el primer eje del extremo positivo presentó mayor relación con los indicadores fisiológicos de calidad de semilla (TMG, VG, CG, IT), viabilidad, compuesto orgánicos (AAL, carbohidratos, grasa) y contenido de cenizas. El tiempo de almacenamiento (T3) se ubicó en el eje dos del extremo negativo asociado al indicador humedad como respuesta al mayor contenido de humedad en función del aumento del tiempo de almacenamiento (**Figura 9**).

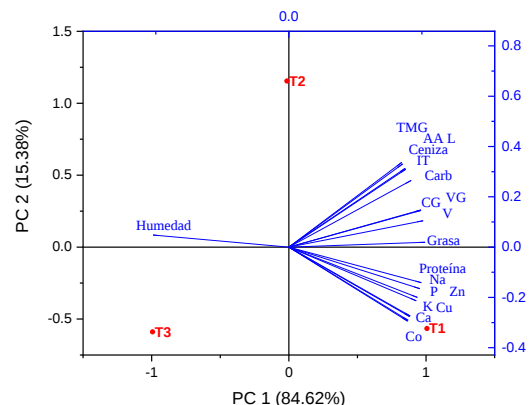


Figura 9 | Análisis de componentes principales de las variables relacionadas con la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *C. odorata* de tres tiempos de almacenamiento. Fósforo(P), Potasio(K), Calcio (Ca), Sodio (Na), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Ceniza, Viabilidad (V), Aminoácidos libres (AA L), Carbohidratos (Carb), Grasa, Proteína, Humedad, Capacidad germinativa (CG), Tiempo medio de germinación (TMG), Índice de velocidad de germinación (VG), Índice de Timpson (IT)

Estos resultados permitieron comprobar la contribución de las variables relacionadas con la composición química, viabilidad y germinación de las semillas en función del tiempo de almacenamiento, reduciendo la complejidad dimensional. Al representarse en un plano cartesiano, esta información resultó esencial para diferenciar un patrón de comportamiento a lo largo del tiempo de almacenamiento de las semillas de *C. odorata*.

El comportamiento inverso de la variable humedad demostró la influencia que tuvo en la composición química, viabilidad y germinación de las semillas en los diferentes tiempos de almacenamiento. Su posición opuesta a elementos clave en la composición química, como P, K, Ca, Na, Zn y Cu es producto de una correlación negativa. Esta relación se traduce en una disminución notable en la germinación y viabilidad de las semillas a medida que aumentó el tiempo de almacenamiento de las semillas.

3.2. Discusión

Se encontró variación significativa en la composición inorgánica (P, K, Ca, Na, Zn, Cu y Co) de las semillas de *C. odorata* en función del tiempo de almacenamiento. Estos resultados fueron similares a lo reportado por Kibar et al. (2019) en el análisis de semillas de frejol, donde comprobó que existió una disminución constante en el contenido de minerales a medida que el contenido de humedad en las semillas aumenta, tanto antes como después del período de almacenamiento. Es clave resaltar que en la mayoría de las especies de forestales existe escasa o nula información sobre análisis de la composición química, por lo que en algunos casos fue necesario comparar con semillas agrícolas.

La composición química de las semillas de *C. odorata* durante el tiempo de almacenamiento indicó un deterioro físico en función del tiempo. Este comportamiento puede atribuirse a variaciones en la calidad fisiológica de las semillas, así como a factores ambientales como la temperatura, la humedad y la duración del almacenamiento, que afectan su estabilidad y metabolismo (Paternina et al. 2020).

El contenido de compuestos orgánicos en las semillas de *C. odorata* almacenadas a lo largo de los tres períodos de tiempo reportó diferencias en la concentración de aminoácidos libres (AAL), carbohidratos, proteínas y grasas con el tiempo. La disminución en el contenido de proteínas podría atribuirse a las condiciones de temperatura ambiente durante el almacenamiento (Carranza 2016). Ceballos (2008), afirma que semillas almacenadas a esta temperatura continúan sus procesos de respiración y oxidación de lípidos y proteína. Estos resultados coinciden con Kim (2007), quien encontró diferencia

significativa en el contenido de proteínas según el tiempo de almacenamiento de tres ecotipos de arroz. Respecto a los resultados de aminoácidos coinciden con Zhou (2020), quien investigó el efecto del almacenamiento de nueces de Ginkgo biloba durante 5 meses sobre el contenido de aminoácidos, observando una disminución significativa. Sin embargo, sugiere que esta variación depende de la variedad de nueces, ya que algunas mostraron ser menos propensas a cambios en el perfil de aminoácidos.

En el contenido de carbohidratos se observó una variación notable a medida que transcurrió el tiempo. Estos resultados coincidieron con Pérez (2002), quien también señaló que las semillas experimentan deterioro durante el almacenamiento, además afecta a diversos aspectos como la actividad enzimática, el metabolismo de proteínas, lípidos y la respiración celular.

En relación con el contenido de grasa las diferencias entre T1 y T3 en los tiempos de almacenamiento coinciden con las observaciones de Domínguez (2021), que determinó que el porcentaje de grasa experimentó una disminución gradual durante el período de almacenamiento, siendo influenciado por las condiciones ambientales y el tiempo transcurrido.

Los altos porcentajes de viabilidad de las semillas fueron superiores en el primer tiempo de almacenamiento, lo cual puede estar relacionado con su estado físico y calidad fisiológica, tal como indicó Espitia-Camacho et al. (2020). Los porcentajes de viabilidad de las semillas de esta especie son similares a lo reportado por García et al. (2023). Según Hartmann et al. (1988), la viabilidad se refleja mediante el porcentaje de germinación. La germinación de las semillas constituye un proceso complejo que finaliza con el desarrollo de una planta la cual puede o no adaptarse a su entorno (Rajjou et al. 2012). Por ende, las pruebas de germinación son de vital importancia en contextos agrícolas y forestales para garantizar semillas de calidad superior para los programas de reforestación.

La curva de germinación presentó una notable disminución con el tiempo de almacenamiento de las semillas. Se observó que la capacidad de germinación de las semillas se vio mayormente afectada, especialmente debido a la pérdida gradual de su viabilidad a lo largo del período de almacenamiento.

En este estudio la mayor tasa de germinación se dio en el primer tiempo T1 de almacenamiento con una germinación superior al (79 %) y disminuyendo el porcentaje de germinación a medida que pasó el tiempo de almacenamiento, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Delgado-Paredes et al. (2023), que registraron porcentajes de germinación

mayores a (71,3 %) Sin embargo, contrastan con la investigación de Torres et al. (2018), que registraron bajos porcentajes de germinación (entre 11,9 % y 45,2 %) en los primeros tiempo de almacenamiento. De acuerdo con Delgado-Paredes et al. (2023), menciona que estas variaciones podrían atribuirse a la influencia del origen genético y en el caso de conservar el germoplasma al período de tiempo durante el cual ha sido conservado. El contenido de humedad es esencial en la germinación, degradación bioquímica y fisiológica de las semillas (Castillo 2012). Según Flechas-Bejarano (2021) un contenido óptimo de humedad favorece la activación enzimática y la respiración, impulsando la germinación. Sin embargo, Salinas (2008) menciona que niveles altos de humedad pueden inducir la proliferación de hongos, afectando negativamente la viabilidad de las semillas.

La matriz de correlación indicó que existe una fuerte correlación entre las variables analizadas relacionadas con la composición química, viabilidad de semillas y los indicadores de germinación. Basado en el enfoque correlacional de Gordillo et al. (2010), se confirmó que existe una relación positiva entre la estructura química orgánica y los parámetros de germinación, mientras que se identificó una asociación negativa significativa con la humedad. Como menciona Valderrama (2002) un coeficiente de correlación positivo (+) indica una relación directa, mientras que un coeficiente negativo (-) señala una relación inversa entre las variables.

Los resultados obtenidos en esta investigación contribuyen con información importante acerca los indicadores fisiológicos de la especie *C. odorata* en tres tiempos de almacenamiento, siendo notorio que la viabilidad y calidad de las semillas conforme

transcurre el tiempo de almacenamiento bajo las condiciones naturales fueron disminuyendo. Estos resultados coinciden con Manjarrez et al. (2017), quienes señalaron que conforme aumentó el tiempo de almacenamiento se observó disminución en la calidad de las semillas.

4. Conclusiones

Se comprobó que durante el tiempo de almacenamiento de las semillas de *C. odorata* ocurrió un deterioro de estas, lo que afectó la composición química de las semillas con una disminución significativa en el contenido de minerales (P, K, Ca, Na, Zn, Cu, Co), grasa, aminoácidos, carbohidratos y proteínas en función del tiempo.

La viabilidad de las semillas de la especie *C. odorata* evidenció el impacto negativo del tiempo de almacenamiento en la vigorosidad y capacidad potencial germinativa de las semillas. En (T1) se reportó un porcentaje de viabilidad del 87 %, en (T2) un 84 % y en (T3) un 78 %.

La calidad de las semillas de la especie *C. odorata* resultó baja en función del tiempo de almacenamiento, lo cual se expresó mediante el conjunto de indicadores de calidad fisiológica (CG, VG, TMG, IT), a excepción del contenido de humedad que afectó la capacidad germinativa. Estos resultados reflejaron el efecto del tiempo de almacenamiento en la composición química, viabilidad y germinación de las semillas, lo cual aporta información clave para el manejo silvícola y la gestión eficiente de los programas de reforestación en condiciones de la Amazonía ecuatoriana.

Contribuciones de los autores

Veónica Patricica Ganán Cisneros: Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Alex Lorenzo Pilca Tandayamo: 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 *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* de la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

5. Referencias

AGUILAR, ANGI; BUSTAMANTE, PATRICIA. Determinación de la proteína y grasa de tres tipos de hongos comestibles: Champiñón (*Agaricus bisporus*),

Pleurotus (*Pleurotus ostreatus*) y Shiitake (*Lentinus edodes*). 2019.

AGUIRRE, ZHOFRE, TERÁN, CHRISTIAN, AGUIRRE, NIKOLAY, SOLANO, CARMEN y LOJA,

- ÁNGEL. Especies forestales más aprovechadas del sur del Ecuador. Universidad Nacional de Loja. 2015. Recuperado a partir de: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/83230> [accedido 2 febrero 2024]
- ALEGRE COVEÑAS; RAÚL EDUARDO. Contenido de proteínas, hierro y calcio de *Nostoc sphaericum* “Cushuro” procedente de la Laguna de Conococha, Catac-Huaraz. 2019
- ASADOBAY, PACARINA. Diversidad y conectividad genética del cedro (*Cedrela odorata*, Meliaceae) en Ecuador continental. 2019. Recuperado a partir de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/8844> [accedido 2 febrero 2024]
- BETANCOURT, A. Silvicultura Especial de árboles maderables tropicales. Científico Técnica La Habana. 1987. Recuperado a partir de: <https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/11544> [accedido 2 febrero 2024]
- CARRANZA, CARLOS, CASTELLANO, GERMÁN, DEAZA, DIEGO y MIRANDA, DIEGO. Efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento sobre la germinación de semillas de badea (*Passiflora quadrangularis* L.) en condiciones de invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 2016, vol. 10, no 2, p. 284-291
- CASTILLO, CECILIA. Almacenamiento de semilla de cebada maltera: análisis físico, proximal y deterioro fisiológico, 2012. Tesis de Maestría
- CORDERO, J, BOSHIER, D y BARRANCE, A. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. CATIE. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Forestry Research Programme. 2003. ISBN 9780850741612. Recuperado a partir de: https://books.google.com/books/about/%C3%81rboles_de_Centroam%C3%A9rica.html?hl=es&id=q-0NAQAIAAJ [accedido 2 febrero 2024]
- CORREA, ENDER, ESPITIA, MIGUEL, MURILLO, OLMAN y PASTRANA, IVÁN. Genetic variability in *Tectona grandis* Lf Seeds of individual trees in the conformation of mixed seedlots in Córdoba, Colombia. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2013, vol. 16, no 2, p. 379-389
- CUÉ, JORGE LUIS, AÑAZCO, MARIO JOSÉ y PAREDES, HUGO. Producción y conservación de semillas forestales: situación actual y perspectivas en Ecuador. Revista Cubana de Ciencias Forestales, 2019, vol. 7, no 3, p. 365-376
- DELGADO-PAREDES, GUILLERMO, VÁSQUEZ-DÍAZ, CECILIA, ESQUERRE-IBÁÑEZ, ZUÑE-DA SILVA, BAZÁN-SENAQUÉ, FELIPE y ROJAS-IDROGO, CONSUELO. Germinación de semillas, micropropagación y conservación de germoplasma in vitro de *Cedrela odorata* (Meliaceae) en el norte del Perú. Bosque (Valdivia), 2023, vol. 44, no 1, p. 97-109
- DÍAZ, A., BRENES, C., CASCANTE, D. y OVARES, C. Plagas y enfermedades forestales en cedro amargo (*Cedrela odorata*). Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Costa Rica, 2010, p. 3
- DORIA, JESSICA. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. Cultivos tropicales, 2010, vol. 31, no 1, p. 00-00.
- ESPITIA, MIGUEL, ARAMÉNDIZ, HERMES y CARDONA-AYALA, CARLOS. Morphological characteristics and seed viability of *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2020, vol. 23, no 1
- FLECHAS-BEJARANO, NATALIA; MEDINA-RIVERA, RUBÉN. Efecto del almacenamiento en la viabilidad, germinación y vigor de semillas de *Coffea arabica* L. Revista Cenicafe, 2021, vol. 72, no 2, p. e72206-e72206
- GALARZA, FRANKLIN ALEXIS. Evaluación de enraizamiento de estacas de cedro (*Cedrela odorata* L.) con tres dosis de ácido naftalenacético en vivero, parroquia n Nueva Loja, provincia de Sucumbíos, 2021. Recuperado a partir de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15903> [accedido 2 febrero 2024]
- GARCÍA QUINTANA, YUDEL, ARTEAGA CRESPO, YASIEL, DE DECKER, MARÍA y CASTELO, MARÍA DEL CARMEN. Seed viability, germination and seedling quality patterns of three forest species for restoration in Amazonian conditions. Enfoque UTE, 2023, vol. 14, no 1, p. 18-32
- GARCÍA, EVA, FERNÁNDEZ, ISABEL y FUENTES, ANA. Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte. Universidad Politécnica de Valencia, 2013. [en línea]. Recuperado a partir de: <http://hdl.handle.net/10251/29832> [accedido 11 febrero 2024]
- GARCIA, JOSUE, RUIZ, NORMAN, LIRA, RICARDO, VERA, ILEANA y MENDEZ, BULMARO. Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. En: Centro de Investigación en Iquímica Aplicada (CIBQ), 2016, pp. 129–140 [en línea]. Recuperado a partir de: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/334>

- GARCÍA, TATIANA; ABDELNOUR, ANA. Crioconservación de ápices y semillas de cedro (*Cedrela odorata* L.) mediante las técnicas de vitrificación y deshidratación. *Agronomía Costarricense*, 2013, vol. 37, no 1, p. 113-126
- GARCÍA, YUDEL, ARTEAGA, YASIEL, ABREU, REINIER, DE DEKER, MARÍA y LAZO YAMILA. Indicadores de calidad en semillas de *Ochroma pyramidale* de tres sitios de la Amazonía ecuatoriana para reforestación en áreas degradadas. Conferencia sobre ingeniería y ciencias moleculares, biomédicas y computacionales, 2017, vol. 3, p. 4609. DOI 10.3390/mol2net-03-04609
- GARRUÑA-HERNÁNDEZ, RENÉ, LATOURNERIE-MORENO, LUIS, AYALA-GARAY, OSCAR, SANTAMARÍA, JORGE y PINZÓN-LÓPEZ, LUIS. Acondicionamiento pre-siembra: una opción para incrementar la germinación de semillas de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Agrocienca*, 2014, vol. 48, pp. 413-423
- GASSÓS, LAURA, BLANCO, KARINA, LEYVA, LUIS, ESTRADA, MARÍA y CIRA, LUIS. Manual de Laboratorio de Bioquímica general. México. 2017
- KIBAR, HAKAN; KIBAR, BEYHAN. Changes in some nutritional, bioactive and morpho-physiological properties of common bean depending on cold storage and seed moisture contents. *Journal of Stored Products Research*, 2019, vol. 84, p. 101531
- KIMURA, MEGUMI, GOTO, SUSUMU, SUYAMA, YOSHIHISA, MATSUI, KEITH, WOESTE, KEITH y SEIWA KENJI. Morph-specific mating patterns in a low-density population of a heterodichogamous tree, *Juglans ailantifolia*. *Plant Ecology*, 2012, vol. 213, p. 1477-1487
- LUNA-FOX, STING, ALVAREZ, RIGOBERTO, PEÑAFIEL, NELLY, RADICE, MATTEO, SCALVENZI, LAURA, ARTEAGA, YASIEL, LÓPEZ DARÍO y BRAVO LUIS. Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica*, 2023, vol. 13, no 2477-8982, pp. 47-56
- MACHUCA, JUANA. Evaluación del poder germinativo y aplicación de la prueba del tetrazolio en semillas de “Hualtaco” *Loxopterygium huasango* Spruce ex Engler. 2022
- MANJARREZ, FRANCISCO, DÍAZ, ROCÍO, CARBALLO, AQUILES, ESTRAD-GÓMEZ, A., VAQUERA-HUERTA, H., ACOSTA-GALLEGOS, JORGE, ÁVILA, MIGUEL y GÁMEZ, ALFREDO. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de semilla de canola. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2017, vol. 8, no 4, p. 933-948.948
- MINUZZI, ANDRÉIA, DE LUCCA E BRACCINI, ALESSANDRO, SEDREZ MARCO, SCAPIM, CARLOS, BARBOSA, MAURO, ALBRECHT, LEANDRO. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Sementes*, 2007, vol. 32, n° 1. pp. 176-185. Recuperado a partir de: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v32n1/v32n1a20.pdf>. [accedido 16 marzo 2024]
- POULSEN, KAREN. Análisis de semillas. Asociación internacional de análisis de semillas, 1999. pp. 14-20. Recuperado a partir de: <http://www.bionica.info/biblioteca/PoulsenAnalysisSemillas.pdf> [accedido 11 febrero 2024]
- PRADO, LENIN, SAMANIEGO, CARLOS y UGARTE-GUERRA, JULIO. Estudio de las cadenas de abastecimiento de germoplasma forestal en Ecuador. 2010. DOI 10.5716/WP10340.PDF.
- RAJJOU, LOÏC, DUVAL, MANUEL, GALLARDO, KARINE, CATUSSE, JULIE, BALLY, JULIA, JOB, CLAUDETTE y JOB, DOMINIQUE. Seed germination and vigor. *Annual review of plant biology*, 2012, vol. 63, p. 507-533
- RANGANATHAN, UMARANI; GROOT, STEVEN PC. Longevidad y deterioro de las semillas. En *Ciencia y Tecnología de Semillas: Biología, Producción, Calidad*. Singapur: Springer Nature Singapur, 2023. p. 91-108.
- ROA, SUSANA; MONTAÑO, DOMÉNICA. Cedros de Ecuador: protegidos internacionalmente pero no dentro del país. MONGABAY, 2020. Recuperado a partir de: <https://es.mongabay.com/2020/12/cedros-de-ecuador-proteccion-cites-peligro-trafico/> [accedido 2 febrero 2024]
- RODRÍGUEZ, ISABEL, ADAM, GUILLES y DURÁN, JOSE. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 2008 vol. 79.
- ROSALES-CASTRO, MARTHA, HONORATO-SALAZAR, J., SANTOS-GARCÍA, ARIANA, PERÉZ-LÓPEZ, MA., COLOTL-HERNÁNDEZ, y SÁNCHEZ-MONSALVO. Chemical composition of leaves and branches of *Cedrela odorata* L. from two forest plantations as a source of lignocellulosic feedstock. *Madera y bosques*, 2016, vol. 22, no 2, pp. 131-146. DOI 10.21829/MYB.2016.2221330
- SALAZAR, SEIR, BOTELLO, EDINSON, y QUINTERO, JESÚS. Optimización de la prueba de tetrazolio para evaluar la viabilidad en semillas de *Solanum lycopersicum* L. 2020
- SANTOS, FELIPE SERRATO DOS, NEGRA, ELISA, PANOBIANCO y MARISTELA. Tetrazolium test for

Pinus taeda: preparation, staining, and seed viability classes. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2019, vol. 54, p. e01088. DOI 10.1590/S1678-3921.PAB2019.V54.01088

STANIAK, MARIOLA, STĘPIEŃ-WARDA, ANNA, CZOPEK KATARZYNA, KOCIRA, ANNA y BACA EDYTA. Seeds Quality and Quantity of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Cultivars in Response to Cold

Stress. Agronomy 2021, vol. 11, Page 520. DOI 10.3390/AGRONOMY11030520

VALVERDE, ADLER; OBANDO, JULISSA. Desarrollo de un método analítico para la determinación de fósforo en medio acuoso, utilizando una aplicación móvil Android (app Photometrix). Como alternativa a métodos instrumentales de análisis convencionales. 2021. Tesis Doctoral