UEA Forestal
PrePrint UEA

Sección Forestal
Vol. FOR2424. ep07–375

| Recibido: 04/09/2024 |
| Aceptado: 02/10/2024 |
| Publicado: 26/11/2026 |

# Calidad de semillas y eficiencia germinativa de *Cedrela odorata L.* de tres procedencias de la Amazonía ecuatoriana.

## Seed quality and germination efficiency of *Cedrela odorata L.* from three sources in the Ecuadorian Amazon.

Hector Hugo Chicaiza Achina[1], José Antonio Ortiz Naveda[1] Yudel García Quintana[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep07-375 Crossref

**Resumen**

La especie *Cedrela odorata* reconocida por su importancia económica y ecológica se utiliza en los programas de reforestación, pero en ocasiones no se emplean semillas de calidad y se desconoce la fuente de semilla, lo cual afecta la germinación, crecimiento en vivero y posterior desarrollo de las plantas. De ahí que el objetivo del trabajo fue evaluar la influencia de tres procedencias sobre los parámetros de calidad de las semillas y eficiencia germinativa de *C. odorata*, analizando sus características morfológicas, composición química, relación con las propiedades del suelo y capacidad germinativa como contribución a los programas de repoblación forestal. Para ello se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres tratamientos y réplicas, correspondiente a tres procedencias (Tena, Arajuno y Huamboya). Se evaluaron caracteres morfológicos, la composición química (orgánica e inorgánica) y los indicadores de calidad de las semillas. La morfología indicó variación en los caracteres morfológicos asociados al largo, ancho del embrión y el ala de las semillas, resultando la procedencia de Tena con valores superiores. La composición química de las semillas indicó que solo existieron diferencias significativas en la concentración de los minerales K, Mg, Zn y en el contenido de grasa. Se comprobó que la calidad de las semillas y la germinación fueron similares entre procedencias, aunque algunos indicadores de calidad (velocidad de germinación, porcentaje de humedad y viabilidad) fueron superiores en el origen geográfico del Tena. Estos resultados indicaron que el uso de germoplasma procedente de Tena, Arajuno y Huamboya permite garantizar semillas de buena calidad y eficiencia germinativa para su uso en la reforestación.

**Palabras clave** semillas forestales, morfología de semillas, composición química, origen geográfico, germinación, indicadores de calidad.

**Abstract**

The *Cedrela odorata* species, recognized for its economic and ecological importance, is used in reforestation programs, but sometimes quality seeds are not used and the seed source is unknown, which affects germination, growth in the nursery and subsequent development of the plants. Therefore, the objective of the work was to evaluate the influence of three provenances on the quality parameters of the seeds and germination efficiency of *C. odorata*, analyzing their morphological characteristics, chemical composition, relationship with soil properties, and germination capacity as a contribution to reforestation programs. For this purpose, a completely randomized design with three treatments and replicates was used, corresponding to three provenances (Tena, Arajuno and Huamboya). Morphological characters, chemical composition (organic and inorganic) and seed quality indicators were evaluated. The morphology indicated variation in the morphological characters associated with the length, width of the embryo and the wing of the seeds, with the Tena provenance having higher values. The chemical composition of the seeds indicated that there were only significant differences in the concentration of minerals K, Mg, Zn and in fat content. It was found that the quality of the seeds and germination were similar between origins, although some quality indicators (germination speed, percentage of humidity and viability) were higher in the geographic origin of Tena. These results indicated that the use of germplasm from Tena, Arajuno and Huamboya allows to guarantee seeds of good quality and germination efficiency for use in reforestation.

**Keywords** forest seeds, seed morphology, chemical composition, geographical origin, germination, quality indicators.

**Direcciones** [1]Universidad Estatal Amazónica.. Pastaza, Ecuador. Email: hh.chicaizaa@uea.edu.ec, amb2016188@uea.edu.ec, ygarcia@uea.edu.ec

**Autor para la correspondencia** Hector Hugo Chicaiza Achina. Universidad Estatal Amazónica.. Pastaza, Ecuador. Email: hh.chicaizaa@uea.edu.ec

**Cómo citar** CHICAIZA ACHINA, Hector Hugo, ORTIZ NAVEDA, José Antonio and GARCÍA QUINTANA, Yudel 2026. **Calidad de semillas y eficiencia germinativa de *Cedrela odorata L.* de tres procedencias de la Amazonía ecuatoriana.**. PrePrint UEA. Vol. FOR2424. p. ep07–375. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vFOR2424ep07-375

**Editores Académicos** Sucoshañay Villalba Darwin Javier

**Editorial** Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

**Copyright** Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

# 1. Introducción

En los últimos años en Ecuador se han desarrollado iniciativas para promover la reforestación y forestación a través del establecimiento de plantaciones forestales con fines comerciales, de protección y restauración. La repoblación forestal es una actividad compleja ya que existen varios factores que condicionan el éxito de la misma y para ello se requiere de semillas de buena calidad (Cervantes et al. 2023), producción de plantas de calidad en vivero (Serrada et al. 2005; Trejo y Contreras 2004), y de una correcta selección de especies y procedencias (Fontana et al. 2018). La procedencia

de la semilla se define como el área geográfica y ambiental de donde se obtiene el germoplasma, dentro de la cual se ha desarrollado su constitución genética. Este término, sinónimo de fuente de semilla, hace referencia al lugar físico del cual se obtuvo el germoplasma (Fontana et al. 2018). Los estudios de fuentes de semilla generan información útil para la definición de estrategias de mejoramiento, no obstante, la finalidad es identificar las procedencias cuyas semillas dan lugar a bosques productivos y bien adaptados (Climent et al. 2002).

Existen diversos estudios de la influencia de la procedencia geográfica de las semillas sobre la germinación y el crecimiento de especies forestales; e inclusive muchos de ellos indican diferencias en cuanto al vigor (Juárez et al. 2011; Hernández 2011). Por estas razones es importante el uso adecuado del germoplasma forestal, lo cual requiere fundamentalmente del conocimiento de la morfología de las semillas, así como de la eficiencia y potencial reproductivo (Cervantes et al. 2023).

La especie *Cedrela odorata L.* (cedro) pertenece a la familia Meliaceae y es una de las especies maderables tropicales más valiosas por su alto valor ecológico y comercial en el mercado internacional de la madera, con una amplia distribución geográfica en América Latina y el Caribe (Mesén 2006). La especie amerita especial atención por su elevada demanda de madera, existiendo una gran presión en Ecuador debido a la tala excesiva (Aguirre et al. 2015). Se encuentra 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). En la actualidad *C. odorata* es una de las especies potenciales que se usa en programas de reforestación, fundamentalmente en proyectos de restauración productiva en terrenos abandonados con historial de uso agropecuario y recuperación de suelos degradados (Ramírez et al. 2008). Sin embargo, según Salazar et al. (2001) la especie se caracteriza principalmente por su elevada producción de semillas, pero aproximadamente el 75% de este material no germina bajo las condiciones naturales del bosque húmedo tropical (Román et al. 2012).

Por ende, el objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de tres procedencias sobre los parámetros de calidad de las semillas y eficiencia germinativa de *C. odorata*, analizando sus características morfológicas, composición química, relación con las propiedades del suelo y capacidad germinativa como contribución a los programas de repoblación forestal. Esto facilitará información clave para el manejo del germoplasma considerando aspectos como la composición química de las semillas, morfología de semillas e indicadores de calidad de la semilla.

# 2. Metodología

### *2.1. Localización*

Esta investigación se realizó a partir de semillas de *C. odorata* proveniente de tres procedencias (Tena, Arajuno y Huamboya), localizadas en el norte de la Amazonía ecuatoriana. La procedencia Huamboya se localizó en el cantón Huamboya, en la provincia Morona Santiago; la del Tena en el cantón Tena, provincia Napo y Arajuno en el cantón Arajuno, provincia Pastaza **(Figura 1)**.

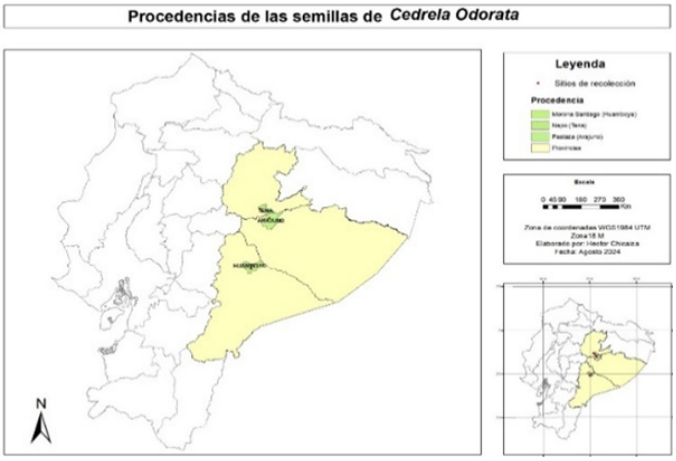


**Figura 1 |** Ubicación geográfica de las procedencias de las semillas de *C. odorata.*

Las coordenadas geográficas, límites y características ambientales (temperatura media anual, altitud, humedad relativa y precipitación promedio) de cada una de las procedencias de estudio se muestran en la **Tabla 1**.

**Tabla 1 |** Coordenadas geográficas y características ambientales de las procedencias de *C. odorata.*

| Procedencia | Coord. geog. | Límites | Características ambientales |
|---|---|---|---|
| Tena | 1°4'22.7"S 77°50'14.63" W | Al norte, Cantón Archidona (Napo) y cantón Loreto (Orellana). Al sur, provincias de Tungurahua y Pastaza, cantón Carlos Julio Arosemena Tola. Al este, con la provincia de Orellana, y al oeste, con las provincias de Cotopaxi y Tungurahua (GADMC Tena 2023). | Temperatura media anual 25 °C.<br>Altitud 521 m.s.n.m.<br>Humedad relativa entre 90 y 100% (GADM Tena 2023).<br>Precipitación anual se encuentra entre 3000 a 6000 mm (Quispe et al. 2023) |
| Arajuno | 1°13'43.94"S 77°41'28.67" W | Al norte con las provincias de Napo y Orellana. Al sur con el cantón Pastaza. Al este con el Perú y Orellana (GADM Arajuno 2023) | Temperatura de 28 °C<br>Altitud 537 m.s.n.m<br>Precipitación anual entre 3.000 y 3.500 mm año-$^{1}$ (Franco et al. 2024)<br>Humedad relativa 88,40% (GADM Arajuno 2023). |
| Huamboya | 2°2'57.6"S 77°58'19.02" W | Al norte por el río Palora, que se extiende hasta su confluencia con el río Pastaza. Al sur, limita con el cantón Morona; al este, con el cantón Taisha; y al oeste, con el cantón Pablo VI y el Parque Nacional Sangay (GADMC Huamboya 2022). | Temperatura media anual entre los 22 y 28 °C.<br>Altitud 1047 m.s.n.m.<br>Humedad relativa: 86,0%- 89,4% (GADMC Huamboya 2022).<br>Precipitación anual en un rango de 3000 a 4000 mm (Huillca 2023) |

*2.2. Recolección de semillas y ambiente edáfico de los árboles semilleros*

*2.2.1. Recolección de semillas*

La recolección de las semillas se realizó a partir de la selección de cinco individuos de cada procedencia de estudio (de Andrade et al., 2018). Los árboles candidatos se encontraban aislados en remanentes de bosques naturales. La selección de los árboles se realizó con base a la metodología de árboles semilleros (Valladolid et al. 2017), siguiendo como criterio que tuvieran fuste recto, árboles no bifurcados, dominancia del eje principal, con un ángulo de inserción de las ramas de 90°, copa en forma circular y un diámetro de copa entre 5 y 10 m.

*2.2.2. Toma de muestras de suelo y preparación*

Para caracterizar el ambiente edáfico de los árboles semilleros se tomaron muestras de suelo alrededor de cada árbol, en cuatro puntos cardinales, aproximadamente a 1 m desde la base del árbol y a una profundidad de 0-30 cm y 30-60 cm de suelo. Las muestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta por árbol (Sales et al. 2024). Se trasladaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Amazónica, se secaron a condiciones del ambiente y posteriormente se analizaron las propiedades físicas y químicas.

Se determinó como propiedades físicas del suelo la textura (% de arena, limo y arcilla) y la conductividad eléctrica y como propiedades químicas el contenido de materia orgánica, pH, N, P, $K^+$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, Zn, Fe, Cu, aluminio intercambiable ($Al^{3+}$) y acidez intercambiable ($Al^3$+ $H^+$).

La textura del suelo se determinó por el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1951). El contenido de $Ca^{2+,}$ $Mg^{2+}$, $K^+$, P, Zn, Fe, Cu y $Al^{3+}$ se realizó mediante la metodología de Olsen modificada (Bertsch, 1998), la acidez intercambiable ($Al^{3+}$ $H^+$) extraída con HCl (Oliva, 2009), pH a través de potenciometría (Chávez, 2006), materia orgánica por el método de digestión húmeda de Walkley & Black (González et al. 2021). Las mediciones del contenido de minerales se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica, empleando estándares de calibración.

*2.3. Morfología de las Semillas*

La morfología de las semillas se determinó a partir de una muestra seleccionada de forma masal del lote de semillas de cada procedencia. Las muestras consistieron en tres submuestras, al azar, de 100 semillas por procedencia (Pozo et al. 2019; Intanon et al. 2020). Se midieron los siguientes parámetros: largo del embrión (LE), ancho del embrión (AE), largo del ala (LA), ancho del ala (AA), largo de la semilla (LS) y ancho de la semilla (AS), utilizando un calibrador digital Stanley con una resolución de ±0.02 mm. Se determinó como parámetro morfológico la relación largo/ancho (RLA) (Leones et al. 2019), a partir de la siguiente ecuación (1):

$$RLA = \frac{R}{W} \tag{1}$$

Dónde:

L: largo (mm)

W: ancho (mm)

*2.4. Composición química de las semillas*

*2.4.1. Tratamiento de la muestra*

Para el análisis de la composición química se emplearon tres tratamientos (procedencias) con tres réplicas. Se pesó 20 g de semillas frescas de cada procedencia (Tena, Arajuno y Huamboya), se secaron a 40°C por 24 horas y luego se molieron con un molinillo KitchenAid hasta obtener un polvo fino. Este se almacenó al vacío en bolsas herméticas y se guardó en una desecadora hasta que fue utilizada para los análisis respectivos.

*2.4.2. Determinación de la composición inorgánica de la semilla*

La determinación del contenido de minerales ($Ca^{2+,}$ $Mg^{2+}$, $K^+$, Zn, Fe, Cu) en las semillas siguió el método EPA 3050B (1996), recomendado por Luna et al. (2023). La concentración de minerales se determinó con un espectrofotómetro de absorción atómica PerkinElmer Lambda 25, siguiendo la ecuación (2) propuesta por Luna- et al. (2023).

$$m = \frac{PM \times FDI}{M} \tag{2}$$

Dónde:

PM: Concentración de la muestra en mg/L (lectura de la absorción)

FDI: Factor de dilución

M: Peso de la muestra inicial (g)

m: concentración del elemento (mg/kg)

Para determinar el contenido de fósforo se utilizó el método colorimétrico basado en Vanadato-Molibdato de Amonio, según Valverde et al. (2021), empleando un espectrofotómetro PerkinElmer Lambda 25, y la concentración se calculó utilizando la ecuación correspondiente a la ecuación (3) de Luna et al. (2023).

$$A = 0{,}098654C + 0{,}013403 \tag{3}$$

Dónde:

A: Representa la absorbancia de la muestra

C: Concentración en mg/L

*2.4.3 Determinación de la composición orgánica de la semilla*

*2.4.3.1 Obtención del extracto acuoso*

El extracto se obtuvo utilizando el método de extracción asistida por ultrasonido, según lo recomendado por Luna et al. (2023).

*2.4.3.2. Aminoácidos*

La obtención de aminoácidos totales se realizó siguiendo el método de ninhidrina descrito por Herrera et al. (2018). La cantidad de aminoácidos se calculó utilizando la ecuación (4) de Luna et al. (2023).

$$A = 0{,}0333 \times C - 0{,}0264 \tag{4}$$

Dónde:

C: Porcentaje de cenizas totales

M1: Masa del crisol más la muestra incinerada (g)

M2: Masa del crisol más la muestra fresca (g)

m: Masa del crisol vacío

*2.4.3.3 Carbohidratos*

La determinación de carbohidratos totales se realizó mediante el método colorimétrico siguiendo la metodología de Luna et al. (2023). La absorbancia se midió a 315 nm con un espectrofotómetro PerkinElmer Lambda 25, aplicando la ecuación (5) de Luna et al. (2023).

$$A = 1{,}002 \times C - 0{,}0368 \qquad (R^2 = 0{,}9946) \tag{5}$$

*2.4.3.4. Grasa*

El contenido de grasa se determinó siguiendo el método AOAC (2019). Se pesó 1 g de semillas en bolsas XT4 FILTER y se procesaron en un EXTRACTOR ANKON X15 con hexano como solvente durante 2 horas. Se calculó el contenido de grasa a partir de la diferencia de masa, aplicando la ecuación (6) propuesta por AOAC (2019).

$$\%G = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \tag{6}$$

Dónde:

M2: peso final de la muestra

M1: peso inicial de la muestra más la funda XT4 FILTER BAGS

M: peso de la muestra empleada.

*2.4.3.5. Proteína total*

El contenido de proteína se determinó utilizando el método Kjeldahl, conformado por tres etapas: digestión, destilación y valoración. El nitrógeno obtenido se multiplicó por un factor de conversión de 6.25 para calcular el porcentaje de proteína (Mejía 2022).

El contenido de nitrógeno se determinó aplicando la ecuación (7) de Viáfara (2020).

$$\%N_{\text{total}} = \frac{V \times N \times 0{,}014}{m} \times 100 \tag{7}$$

Dónde:

**V:** Volumen de ácido sulfúrico (mL).

**N:** Normalidad del ácido sulfúrico.

**m:** Masa de la muestra en gramos.

Para determinar el porcentaje de proteína total en las semillas se utilizó la ecuación (8) propuesta por Viáfara (2020).

$$\%\text{Proteína total} = \%N \times F \tag{8}$$

Dónde:

N: Porcentaje de nitrógeno

F: Factor proteínico (6,25)

*2.5. Germinación*

El ensayo de germinación consistió en la siembra de semillas por cada procedencia. Se utilizaron 150 semillas por tratamiento (Tena, Arajuno y Huamboya), con tres réplicas de 50 semillas. Las semillas fueron sumergidas en agua durante 24 horas como tratamiento previo, conforme al período recomendado para especies arbóreas según Correa et al. (2013).

Se realizó la siembra directa en el vivero del Centro Experimental de Investigación y Producción Amazónica (CEIPA)–UEA, utilizando tubetes plásticos de 115 $cm^3$ con un sustrato compuesto por 50% abono orgánico, 30% tierra y 20% arena. Las semillas se regaron diariamente con agua de lluvia. El control de la germinación se efectuó diariamente siguiendo el procedimiento de García et al. (2023), desde el día de la siembra hasta completar el período de germinación que fue de 42 días. El período de germinación se determinó cuando la germinación fue estable.

*2.6. Indicadores de calidad de semillas*

Al finalizar el control de la germinación se evaluaron los indicadores fisiológicos relacionados con la calidad de las semillas, que incluyó la capacidad germinativa (CG), energía germinativa (EG) y velocidad de germinación (VG).

La capacidad germinativa se calculó mediante la ecuación (9) de Sotolongo et al. (2011).

$$CG = \frac{n_i}{N} \times 100 \tag{9}$$

Dónde:

ni = Número de semillas germinadas

N = Número total de semillas

La velocidad germinativa (VG) se calculó utilizando la ecuación (10) de Ranal y Santana (2006).

$$VG = \sum \left( \frac{x_i}{n} \right) \tag{10}$$

Dónde:

$x_i$: Número de semillas que emergieron por día

n: Número de días después de la siembra

VG: Velocidad de germinación.

Se determinó la energía germinativa como el número de días requeridos para llegar al 50% de la germinación acumulada (Huerta et al. 2011).

Además, se evaluaron otros indicadores de calidad de las semillas, como el porcentaje de humedad y la viabilidad de las semillas.

El porcentaje de humedad se determinó hasta obtener peso constante de las muestras de semillas, siguiendo el procedi-

miento de ISTA (1993). El contenido de humedad se calculó utilizando la ecuación (11) de ISTA (1993).

$$\%H = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M} \times 100 \quad (11)$$

Dónde:

M2: Peso de la caja Petri inferior más la muestra seca (peso constante) en g

M1: Peso de la caja Petri inferior vacía más la muestra en g

M: Peso de la caja Petri inferior vacía en g.

La viabilidad de las semillas se determinó mediante la prueba de tetrazolio (2,3,5-cloruro de trifenil tetrazolio) con una concentración del 1%, siguiendo el procedimiento de García et al. (2023). Se utilizaron 75 semillas (25 por réplica), las cuales fueron acondicionadas en tratamiento con agua durante 24 horas. Una vez que se realizó la prueba de tetrazolio las semillas fueron cortadas transversalmente para examinar la pigmentación del embrión y posibles cambios, siguiendo el método de Salazar et al. (2020). El porcentaje de viabilidad se calculó utilizando la ecuación (12) de Ríos et al. (2018).

$$\%\text{Viabilidad} = \frac{\text{Semillas teñidas}}{\text{Semillas totales}} \times 100 \quad (12)$$

Para determinar los niveles de vigor (alto, medio, bajo y no vigorosas), se siguió el procedimiento de Oliviera et al. (2019), que permitió diferenciar las semillas viables y no viables.

*2.7. Análisis estadístico*

Se comprobó el cumplimiento de los supuestos teóricos de normalidad y homogeneidad de la varianza a los datos obtenidos del análisis de las propiedades del suelo, composición química de las semillas, morfología de semillas y germinación. Se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Bonferroni al 95% de confiabilidad con los datos de la composición química (inorgánica y orgánica) de las semillas, morfología de las semillas e indicadores de calidad. Se efectuó un análisis de correlación de Pearson entre las variables que describieron la composición química de las semillas, las propiedades físicas y químicas del suelo.

Además se realizó un análisis de componentes principales (ACP) como técnica multivariada que facilitó reducir la información sobre el conjunto de variables analizadas. Para el ACP se seleccionaron las variables de morfología de semillas, germinación y las propiedades físicas y químicas del suelo.

# 3. Resultados y Discusión

*3.1. Resultados*

*3.1.1. Características morfológicas de las semillas de C. odorata*

Las características morfológicas de las semillas de *C. odorata* presentaron poca variación entre los rasgos morfológicos asociados al largo y ancho del embrión y el ala de las semillas entre las procedencias de estudio. Las semillas de la procedencia del Tena presentaron valores superiores en la morfología. Las variables que reflejaron valores superiores fueron: el largo del embrión (LE), que resultó con un valor medio de 9.54±0.05 mm, el largo del ala (LA) con una media de 23.40±0.05 mm, el largo de las semillas (LS) que fue de 32.94±0.05 mm, el ancho de las semillas (AS) de 15.37±0.05 mm y la relación largo-ancho de la semilla (RLA) que fue de 2.14±0.05 mm.

Esto sugiere que la morfología de las semillas de la especie *C. odorata* estuvo influenciada por las características del microambiente de cada procedencia. Por lo que al parecer el origen geográfico de Tena presenta características de mejor adaptabilidad para la especie, lo cual se reflejó en semillas de mayor tamaño que pueden brindar mayores posibilidades para la germinación.

Por otra parte, la morfología de las semillas de la procedencia de Huamboya mostró valores más bajos. El embrión obtuvo un largo (LE) promedio de 8.26±0.05 mm y un ancho (AE) de 4.06±0.05 mm. En cuanto a las medidas del ala, el largo del ala (LA) fue de 19.67±0.05 mm y el ancho del ala (AA) de 10.29±0.05 mm. Por otro lado, el largo de la semilla (LS) fue de 27.93±0.05 mm y el ancho de la semilla (AS) de 14.35±0.05 mm, lo cual indicó semillas de menor tamaño. La relación largo/ancho (RLA) fue de 1.95±0.05 mm **(Tabla 2).**

Las variaciones morfológicas encontradas en las semillas de las procedencias subrayan la posible influencia de factores genéticos y ambientales. Esto coincide con el estudio de Molina et al. (2023) sobre semillas de *Ardisia compressa* Kunth, donde encontró que la altitud, el tipo de suelo y la disponibilidad de nutrientes son factores clave en las variaciones morfológicas. Las semillas de Tena, con mayores dimensiones del embrión (LE: 9,54 mm) y el ala (LA: 23,40 mm), podrían indicar mayor vitalidad, diferente al reportado por Alderete et al. (2005).

**Tabla 2 |** Morfología de las semillas de *C. odorata* de tres procedencias.

| Procedencias | LE (mm) | AE (mm) | LA (mm) | AA (mm) | LS (mm) | AS (mm) | RLA (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tena** | 9.54a±0.05 | 4.51a±0.05 | 23.40a±0.05 | 10.86a±0.05 | 32.94a±0.05 | 15.37a±0.05 | 2.14a±0.05 |
| **Arajuno** | 7.77ab±0.05 | 3.66ab±0.05 | 19.07b±0.05 | 8.88b±0.05 | 26.83b±0.05 | 12.53b±0.05 | 2.14a±0.05 |
| **Huamboya** | 8.26b±0.05 | 4.06a±0.05 | 19.67b±0.05 | 10.29a±0.05 | 27.93b±0.05 | 14.35a±0.05 | 1.95ab±0.05 |

En contraste, las semillas de Huamboya, con menores dimensiones (LE: 7,77 mm; LA: 19,07 mm), podrían estar adaptadas a condiciones desfavorables donde las semillas no se corresponden con un tamaño apropiado, como señalan (Luna 2019). En este origen geográfico existe una mayor altitud (1047 m.s.n.m), lo cual aparentemente no es una característica apropiada para la adaptación de esta especie. A pesar de las variaciones en tamaño, la relación constante largo-ancho de la semilla fue similar entre las procedencias de estudio y coincide con la reportada por Espitia (2017).

*3.1.2. Composición química de las semillas de C. odorata*

Los resultados de la composición inorgánica de las semillas relacionado con la concentración de los minerales $Mg^{2+}$, $K^{+}$ y Zn indicaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre las procedencias de estudio, mientras que el contenido de $Ca^{2+}$, Fe y Cu fue similar entre las procedencias de estudio.

El nivel de K fue superior en las procedencias de Tena y Arajuno, con valores medios de 333.39 mg/100 g y 253.76 mg/100 g, respectivamente. Sin embargo, las semillas de la procedencia Huamboya mostraron un comportamiento diferente al resto, con un valor medio de 168.55 mg/100 g. La concentración de $Mg^{2+}$ mostró mayor concentración en las semillas de Arajuno, con 320.40 mg/100 g, mientras que las de Tena y Huamboya presentaron valores más bajos, que oscilaron entre 261.33 mg/100 g y 239.13 mg/100 g, respectivamente. Los niveles de Zn variaron notablemente entre las procedencias de Tena y Huamboya, con un valor medio de 187.33 mg/100 g y 168.70 mg/100 g respectivamente. En cambio, la composición de este mineral en las semillas Arajuno presentó un contenido similar a los de Tena y Huamboya, con 174.76 mg/100 g **(Figura 2).**

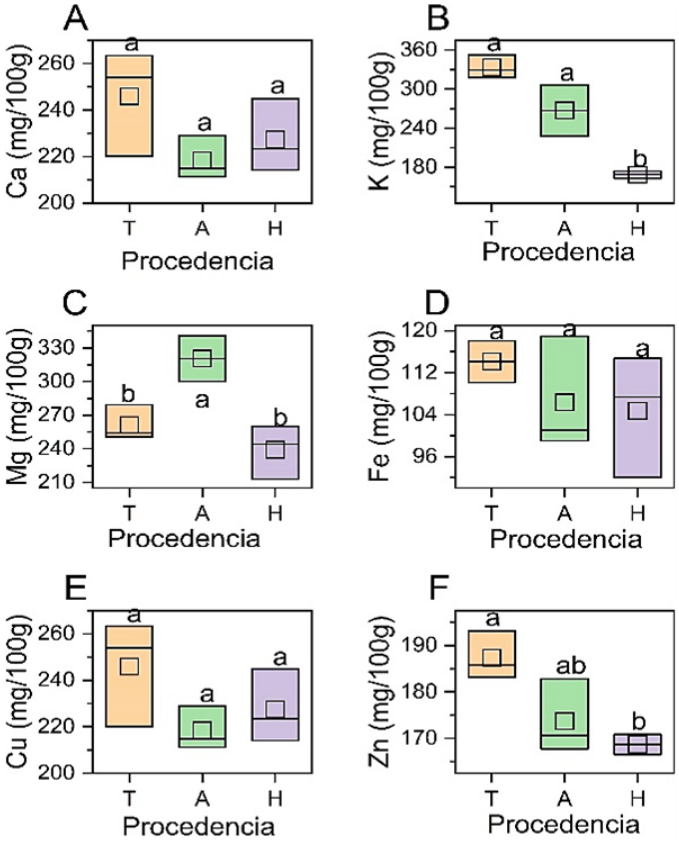


**Figura 2 |** Contenido de minerales de semillas de *C. odorata* de tres procedencias*:* A) Calcio (Ca), B) Potasio (K), C) Magnesio (Mg), D) Hierro (Fe), E) Cobre (Cu) y F) Zinc (Zn).

*Nota:* Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Bonferroni.

Las diferencias en la composición inorgánica de las semillas de *C. odorata* según su procedencia pueden atribuirse a factores como la especie, el tipo de suelo y las condiciones climáticas, como señalan Murray et al. (2013) en su estudio sobre variación química de semillas. Los resultados obtenidos en semillas de la procedencia Huamboya mostraron un valor similar a lo reportado por Espinoza et al. (2016).

Estos autores encontraron patrones distintos en la composición mineral de semillas de frijol provenientes de diferentes regiones de Mesoamérica, Centroamérica y Sudamérica. El mayor contenido de Mg en la procedencia de Arajuno puede sugerir adaptación al suelo de ese sitio, lo cual está en correspondencia con Toledo (2016), quienes destacan la influencia de los factores genéticos y ambientales en la composición mineral de semillas.

De acuerdo con los resultados del ANOVA de clasificación simple, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la composición orgánica de las semillas únicamente en el contenido de grasa. La procedencia del Tena registró el mayor contenido de grasa (20.69 mg/100 g), seguido de Arajuno (16.27 mg/100 g) y Huamboya (15.70 mg/100 g) que presentaron valores similares entre ellas. Los contenidos de proteínas totales, aminoácidos y carbohidratos fueron similares entre los orígenes geográficos de estudio. Esto indicó que las semillas de las tres procedencias presentaron una composición orgánica similar en el estudio **(Figura 3).**

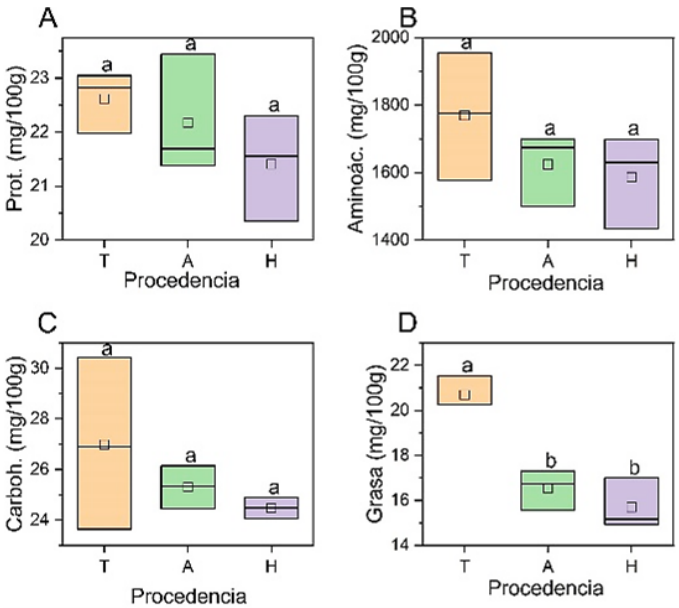


**Figura 3 |** Contenido de compuestos orgánicos en semillas de *C. odorata* de tres procedencias A) Proteína total, B) Aminoácidos, C) Carbohidratos y D) Grasa.

*Nota*: Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Bonferroni.

La variación en el contenido de grasa entre las semillas de Tena, Arajuno y Huamboya podría estar influenciada por factores ambientales como menciona (Poveda 2017). Uno de los factores que determinan el contenido de grasa son las condiciones climáticas (Macas et al. 2022), también destacan que las diferencias genéticas entre poblaciones pueden influir en la acumulación de lípidos. La uniformidad en los contenidos de proteínas, aminoácidos y carbohidratos entre las tres procedencias coincide con Díaz (2014).

### *3.1.3. Correlación entre las propiedades del suelo de las procedencias y la composición química de las semillas*

Los resultados obtenidos de la matriz de correlación de Pearson indicaron la relación existente entre las variables de composición química de las semillas ($Ca^{2+}$, $K^{+}$, $Mg^{2+}$, Zn, Fe, Cu, grasa, aminoácidos, ceniza, proteína total) y la composición química del suelo (materia orgánica, conductividad eléctrica, pH, acidez intercambiable, aluminio intercambiable, N, P, Ca, K, Mg, Zn, Fe y Cu).

Se observó que la concentración de ($Ca^{2+}$) tuvo correlaciones positivas con el ($K^{+}$) (0.34), contenido de grasa (0.69), aminoácidos (0.62) y proteína total (Pt) (0.52). Esto sugiere que un aumento en los niveles de $Ca^{2+}$ incide en los niveles de estos componentes. Sin embargo, se encontró una correlación negativa leve entre el $Ca^{2+}$ y Zn (-0.28). El ($K^{+}$) mostró una correlación alta positiva con el contenido de (Cu) (0.80) y (Fe) (0.56), lo que indicó que altos niveles de potasio en las semillas estuvieron asociados con niveles más altos de estos dos metales. El ($K^{+}$) también presentó una correlación negativa con el (Zn) (-0.17). En el caso del ($Mg^{2+}$) se encontró que existe una alta correlación con el contenido de grasa (0.67) y con los aminoácidos (0.40), indicando que cuando el Mg aumentó también lo hicieron estos compuestos. Por otro lado, la correlación con (Cu) fue baja (0.07). El contenido de (Zn) presentó correlaciones bajas y negativas con la mayoría de las variables, tuvo correlaciones negativas con el (Cu) (-0.03) y el (Fe) (-0.10), mientras que mostró una correlación positiva con el contenido de aminoácidos (0.51). El (Fe) tuvo una correlación positiva alta con el (Cu) (0.55) y con el contenido de grasa (0.61), pero presentó una baja correlación con el (Zn) (-0.10). El (Cu) tuvo una correlación positiva alta con el contenido de grasa (0.58), aminoácidos (0.51) y proteína total (Pt) (0.51), sugiriendo que estos compuestos tendieron a aumentar cuando el Cu fue alto. El contenido de grasa de las semillas mostró una alta correlación con los aminoácidos (0.78), sugiriendo que un aumento en los niveles de grasa se asoció con un aumento en los niveles de aminoácidos.

La materia orgánica, por su parte, tuvo correlaciones negativas leves con el pH (-0.18) y con el aluminio intercambiable (-0.39), lo que sugirió que un aumento en la materia orgánica se asoció con una disminución en estas variables. La conductividad eléctrica presentó correlaciones positivas con el (N) (0.43) y con el ($Ca^{2+}$) (0.40), pero mostró una correlación negativa con el ($K^{+}$) (-0.34). El pH del suelo tuvo correlaciones negativas fuertes con la acidez intercambiable (-0.75) y aluminio intercambiable (-0.76), indicando que un pH más alto se asoció con niveles más bajos de acidez y de aluminio intercambiable. Tanto el aluminio intercambiable como la acidez intercambiable tuvieron una correlación alta entre sí (0.97) y correlaciones negativas con otras variables como el (N) (-0.27) y el ($K^{+}$) (-0.34). El (N) del suelo presentó una correlación positiva moderada con el (Zn) (0.23), mientras que el (P) tuvo correlaciones moderadamente negativas con el (Fe) (-0.25) y con el (Cu) (-0.26). El ($Ca^{2+}$) mostró una correlación negativa moderada con el ($K^{+}$) (-0.33) y positiva con el (Fe) (0.38). Este análisis permitió comprobar que existe una relación fuerte entre las propiedades físicas y químicas del suelo con la composición química de las semillas, comprobándose que en la medida que los suelos de las procedencias de estudio son más ácidos y presentan menor contenido de nutrientes como es el caso de la procedencia Huamboya existe una menor concentración en la composición química de las semillas **(Figura 4).**

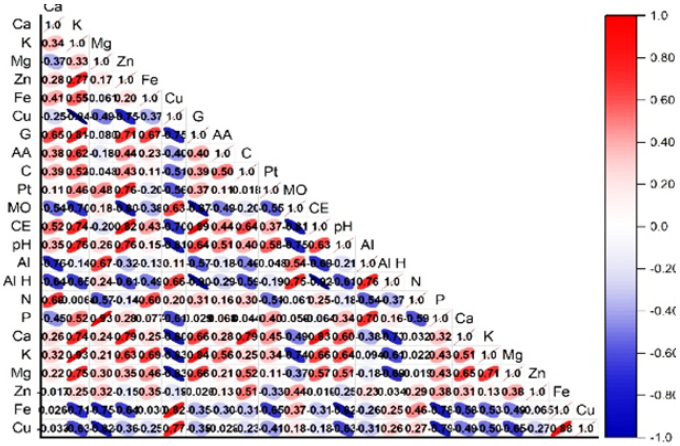


**Figura 4 |** Matriz de correlación de Pearson entre los parámetros de la composición química, viabilidad y germinación de semillas de *C. odorata*, Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hiero (Fe), Cobre (Cu), Grasa (G), Aminoácidos (AA), Ceniza (C) y Proteína Bruta (Pt)) y de la composición química del suelo de tres procedencias (Materia orgánica (MO), Conductividad eléctrica (CE), pH, Acidez Intercambiable (AI), Aluminio Intercambiable (AIH), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Cobre (Cu)).

*Nota:* La escala de colores utilizada en la figura indicó la magnitud de las correlaciones: la tonalidad de color rojo representó las correlaciones positivas entre las variables analizadas, con un máximo de +1, mientras que las tonalidades de color azul representaron correlaciones negativas, con un mínimo de -1.

Según Jara (1996) menciona que las deficiencias en los minerales del suelo, a menos que fueran muy severas, afectan principalmente la calidad de las semillas y solo en una proporción reducida afecta la composición de las semillas. En este contexto, Norman et al. (2020), reportaron que los suelos ricos en Ca y K favorecen el contenido de grasas y proteínas en semillas de especies tropicales, indicando una posible relación de co-transporte o co-asimilación de estos nutrientes.

La relación encontrada entre el contenido de (K) de las semillas y otros elementos como (Cu) y (Fe) ha sido reportada por Hussain et al. (2018), quienes documentaron que el K puede facilitar la disponibilidad de microelementos como el Cu y Fe, debido a su influencia en la actividad enzimática durante la germinación de semillas. La concentración de

(Mg) en el suelo y la correlación con el contenido de grasa (G) y aminoácidos (AA) se relaciona con lo descrito por Verma et al. (2019), quienes encontraron que suelos con alta disponibilidad de Mg contribuyen a la acumulación de compuestos orgánicos en semillas, favoreciendo su calidad fisiológica.

Los resultados de la correlación negativa entre (Zn) y otros componentes de la semilla, como el (Cu) y el (Fe), reflejan el antagonismo documentado en la absorción de estos micronutrientes. Van et al. (2018) también observaron efectos de antagonismo entre Zn y Fe en la composición de semillas, lo cual puede afectar la biodisponibilidad de otros nutrientes esenciales.

La relación de la materia orgánica del suelo con el pH y el aluminio intercambiable es consistente con los hallazgos de Zhao (2019), quienes demostraron que suelos con alta materia orgánica tienden a tener un pH más neutral y menor acidez, mejorando la disponibilidad de nutrientes esenciales como el N y el P para las plantas. La alta correlación negativa entre el pH del suelo, la acidez intercambiable y el aluminio intercambiable, se ha documentado ampliamente en la literatura. Cheesman et al. (2020) señalaron que un pH más elevado generalmente se asocia con menores concentraciones de aluminio intercambiable, lo cual es crucial para la absorción de nutrientes en suelos ácidos como los de la procedencia Huamboya.

Estos contrastes sugieren que las propiedades físicas y químicas del suelo influyen directamente en la composición química de las semillas, apoyando la idea de que suelos más ácidos y con menor contenido de nutrientes pueden limitar la disponibilidad de ciertos compuestos en las semillas.

*3.1.4. Germinación de C. odorata*

La curva de germinación acumulada para las semillas de las tres procedencias de *C. odorata* mostró un patrón de comportamiento similar en la germinación, con ligeras variaciones en función del tiempo. En las procedencias de Tena y Arajuno se comprobó que la germinación comenzó el día 10 con una semilla germinada, mientras que en el origen geográfico Huamboya comenzó el día 11 con una semilla. Se demostró que a los 18 días después de la siembra la procedencia de Tena había registrado un total de 10 semillas germinadas, en Arajuno fue a los 19 días y en Huamboya a los 22 días.

La mayor tasa de germinación diaria fue en la procedencia el Tena el día 25, con 23 semillas germinadas. En Arajuno y Huamboya, se registraron 21 semillas germinadas en los días 29 y 32, respectivamente. El día 34, la procedencia Tena mantuvo alto registro de germinación, con 34 semillas, mientras que Arajuno y Huamboya tuvieron 24 semillas cada uno. Sin embargo, el día 36, Arajuno alcanzó una cifra de 28 semillas germinadas, mientras que Huamboya lo superó con 30 semillas. Esta tendencia continuó hasta el día 39, cuando Arajuno igualó el número de semillas de la porcedencia Huamboya, mientras que Tena seguía con la mayor cantidad de germinación, con un total de 38 semillas.

A partir del día 41 hasta el final del registro (el día 42), la germinación se mantuvo constante, con un promedio final de 40 semillas germinadas en la procedencia de Tena, y 37 semillas en Arajuno y Huamboya.

Las semillas de Tena mostraron la mayor tasa de germinación acumulada (porcentaje superior al 80%), con este patrón de comportamiento desde el inicio hasta el final del experimento, seguido de Arajuno, con un porcentaje superior al 75% y por último la procedencia de Huamboya con un porcentaje cerca del 75% de germinación acumulada. Sin embargo, se pudo comprobar que, aunque el porcentaje de semillas germinadas fue diferente entre procedencias no existe una divergencia marcada entre ellas. Esto demostró la eficiencia germinativa de las semillas de esta especie en las tres procedencias de estudio. Por otro lado, se comprobó mediante la curva de germinación las etapas del proceso de germinación. La primera etapa, consistente en la absorción de agua por parte de la semilla (hidratación de los tejidos de la semilla) se visualizó desde el día correspondiente a la siembra hasta el décimo y onceno día en las procedencias de estudio. De ahí que el comportamiento en esta primera fase se relaciona con la similitud encontrada en la composición química de las semillas de las tres procedencias. La segunda etapa en la curva de germinación, correspondiente a la fase de germinación, ocurrió a partir del día 10 hasta el día 41 que no hubo incremento en la germinación. En esta etapa se produce la activación generalizada del metabolismo de la semilla, dando lugar a todas las transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la posterior plántula (Comercial Mida 2018). La tercera etapa, conocida como fase de crecimiento, es la última fase del proceso de germinación de las semillas y se caracteriza por el aumento de la absorción de agua, así como por el aumento de la actividad respiratoria (Yanchapanta 2023). Esta etapa se evidenció desde que ocurrió la germinación de las semillas y se produjo la extensión de la radícula a través de las envolturas seminales, que implica un elevado gasto energético mediante la movilización de las reservas nutritivas de las semillas (Yanchapanta 2023), lo cual estuvo comprendido desde el día 10 hasta el día 42 de realizada la siembra de semillas de *C. odorata* **(Figura 5).**

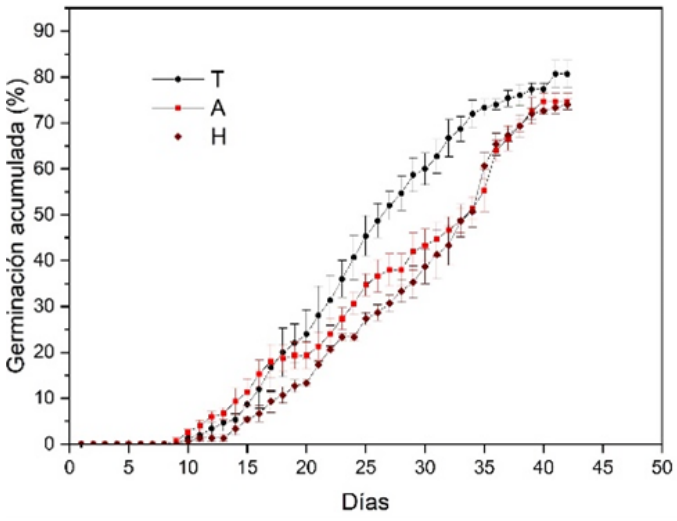


**Figura 5 |** Germinación acumulada en función del tiempo de las semillas de *C. odorata* de tres procedencias (Tena (T), Arajuno (A) y Huamboya (H)).

Este estudio describió una germinación gradual, que comenzó en la segunda semana (días 10-11), alcanzó su pico entre la cuarta y sexta semana (días 25-32), y estabilizándose

recién a partir de la séptima semana (día 41). En comparación con el estudio realizado por Mendizábal et al. (2016), se reportó una germinación acelerada de *C. odorata* desde la primera semana, donde más de la mitad de las semillas germinaron rápidamente, seguida por una disminución en la segunda semana y una estabilización temprana sin nuevos incrementos en las últimas evaluaciones. Klekailo (2012) en su estudio sobre la germinación de las semillas de *B. serra* indicaron que, debido a la alta incertidumbre y al período prolongado de germinación en el banco de semillas del suelo, las plántulas tienen mayores probabilidades de encontrar condiciones favorables para su desarrollo al germinar en diferentes momentos.

*3.1.5. Calidad de semillas de C. odorata*

La prueba de viabilidad de las semillas de la especie *C. odorata* indicó variación entre los orígenes geográficos, con un porcentaje por encima del 40% de semillas teñidas de color rojizo (Vigor alto), y un porcentaje superior al 40% de semillas con pequeñas áreas de color rojizo (Vigor medio) para la procedencia de Tena, mientras que Arajuno y Huamboya presentaron porcentajes inferiores al 31% en la categoría de vigor alto y de 11% en la categoría vigor medio. Esto demostró que las semillas de la procedencia de Tena presentaron mayor viabilidad. Por otro lado, las semillas procedentes de Huamboya resultaron con mayor porcentaje en la categoría no vigorosas (superior al 50%), correspondiente a semillas con radícula deteriorada y sin coloración (blanco lechoso), indicando tejido muerto **(Tabla 3).**

**Tabla 3 |** Categorías de vigor de semillas de *C. odorata* de tres procedencias

| | Categorías de vigor | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Procedencia** | **Alto (%)** | **Medio (%)** | **Bajo (%)** | **No vigorosas (%)** |
| **Tena** | 41.33 | 41.33 | 5.33 | 12.00 |
| **Arajuno** | 30.67 | 10.67 | 17.33 | 41.33 |
| **Huamboya** | 21.33 | 12.00 | 16.00 | 50.67 |

Verdier et al. (2013), mencionan que la pérdida de viabilidad y vigor puede ser gradual o rápida según el origen y el genotipo de la semilla almacenada, reflejando características intrínsecas como su tolerancia a la desecación, es decir, su capacidad de sobrevivir al secado y rehidratarse completamente para generar una nueva plántula, así como su tolerancia a bajas temperaturas.

La viabilidad de las semillas en respuesta al tetrazolio mostró variaciones contrastantes posiblemente debido a la variación genética que poseían las semillas de las tres procedencias (Tena, Aarjuno y Huamboya), así como lo menciona Gold et al. (2004), que la diversidad genética de las poblaciones de semillas proporciona materiales valiosos para la conservación *in situ*.

La calidad de semillas mostró a través del ANOVA diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los indicadores de velocidad de germinación (VG) y viabilidad (V) de las semillas entre los orígenes geográficos. La procedencia de Tena presentó valores superiores, con un promedio de 19 semillas/día en cuanto a la velocidad de germinación y superior a 80% en la viabilidad de las semillas. Sin embargo, la capacidad germinativa (CG) y la energía germinativa no presentaron variaciones entre las procedencias de estudio **(Figura 6).**

Según INIFAP (2005), indicó que el cedro se reproduce fácilmente por semilla, con una germinación que ocurrió entre los 6 y 10 días, y la formación de plántulas entre 15 a 18 días.

Según los autores, Viveros et al. (2017), Arce et al. (2018) y Sampayo et al. (2019), mencionan que los factores ambientales como el suelo, la temperatura y la precipitación, combinados con la latitud y altitud, influyeron en la capacidad de germinación de las semillas de las tres procedencias.

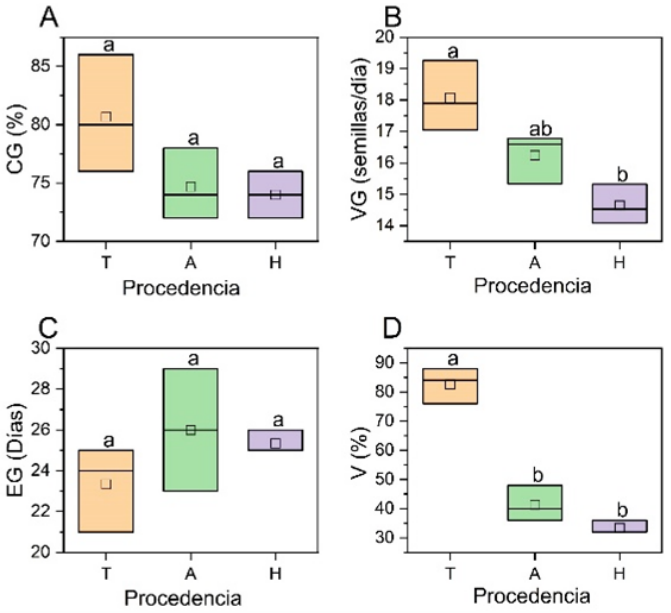


**Figura 6 |** Indicadores de calidad de las semillas de *C. odorata* de tres procedencias A) Capacidad Germinativa (CG), B) Velocidad de Germinación (VG), C) Energía Germinativa (EG) y D) Viabilidad (V).

*Nota:* Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%, según el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Bonferroni.

Los resultados del ANOVA relacionados con el porcentaje de humedad de las semillas mostraron variación significativa ($p \leq 0.05$) entre las tres procedencias de *C. odorata*. El porcentaje de humedad en Tena reflejó el mayor porcentaje con un 12.52%, a diferencia de Arajuno y Huamboya que presentaron valores menores y similares entre ellas, con un 11.41% y 11.59%, respectivamente. Los resultados mostraron una disminución progresiva en el porcentaje de humedad en función de la procedencia **(Figura 7).**

La especie *C. odorata* es considerada una semilla ortodoxa, se denomina así a las semillas que son tolerantes a la desecación, se dispersan y conservan luego de alcanzar un bajo porcentaje de humedad según lo denomina Doria (2010). Según los resultados, el contenido de humedad en las semillas de cedro de las tres procedencias osciló entre 11.41% - 12.52%, estos valores obtenidos en este estudio son ligeramente superiores, pero aún se aproximan a los rangos recomendados por el INAB (2017), las semillas de cedro pueden almacenarse con un contenido de humedad de 6% a 12% en bolsas o recipientes plásticos sellados herméticamente.

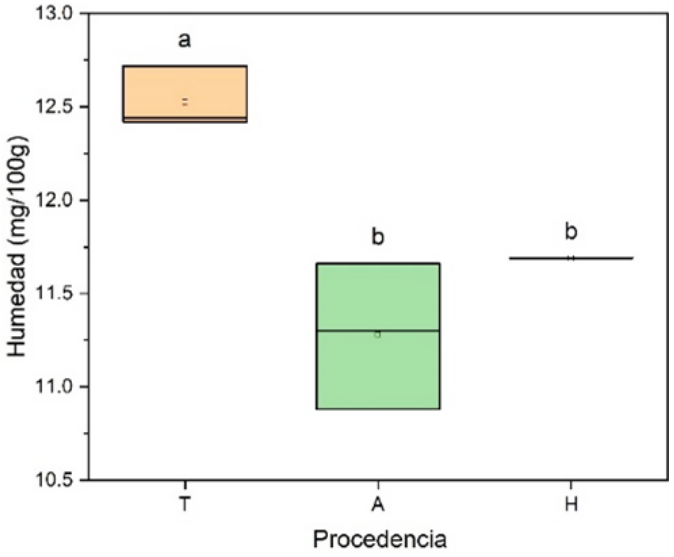


**Figura 7** | Porcentaje de Humedad de las semillas de *C. odorata* de tres procedencias (Tena (T), Arajuno (A) y Huamboya (H)).

*Nota:* Las letras distintas señalaron diferencias significativas con un nivel de confianza del 95%, según el (ANOVA).

*3.1.6. Relación entre los rasgos morfológicos de las semillas, indicadores de calidad de semillas y eficiencia germinativa*

De acuerdo con el análisis de componentes principales (ACP), se formaron dos componentes principales. El PC1 explicó el 65.49% de la varianza, mientras que el PC2 representó el 34.51% de la variabilidad total de los datos. El sistema de coordenadas mostró que las semillas provenientes de Tena, ubicadas en el eje positivo del primer componente, presentaron mayor afinidad por compuestos inorgánicos como Mg, K y $Ca^{2+}$, así como por las propiedades inorgánicas del suelo, como la conductividad eléctrica y el pH. Además, Tena mostró una relación positiva con la morfología de las semillas (RLA) y los indicadores fisiológicos (VG y CG). En el eje negativo, la procedencia de Tena presentó mayor contribución con las variables de morfología de las semillas (LA, LS, LE, AE, AS y AA) y la concentración de nitrógeno en el suelo **(Figura 8).**

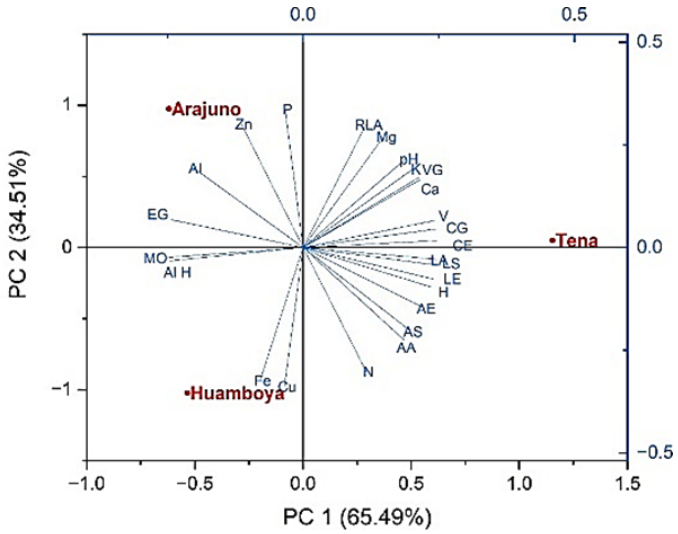


**Figura 8** | Análisis de componentes principales de la composición química de las semillas (Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hiero (Fe) y Cobre (Cu), del suelo (Materia Orgánica (MO), Conductividad Eléctrica (CE), pH, Acidez Intercambiable (AI), Aluminio Intercambiable (AIH), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Calcio (Ca), Potasio (K), Magnesio (Mg), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Cobre (Cu)), viabilidad y germinación de semillas de *C. odorata,* (Capacidad Germinativa (CG), Velocidad de Germinación (VG) y Energía Germinativa (EG)).

La procedencia de Huamboya, ubicada en el extremo negativo del segundo componente, mostró una mayor afinidad por algunos compuestos inorgánicos como el (Fe) y el (Cu), así como una buena concentración de las propiedades químicas del suelo, como la materia orgánica y el aluminio intercambiable. En Arajuno se observó una mayor presencia de componentes químicos como el (P) y (Zn), además del aluminio intercambiable. También se destacó la asociación con indicadores fisiológicos de calidad de las semillas relacionados con la energía germinativa de las semillas.

*3.2. Discusión*

Los resultados encontrados en la procedencia Tena, con mayor afinidad por compuestos inorgánicos como (Mg), (K) y (Ca), así como por propiedades del suelo como la conductividad eléctrica y el pH, es consistente con lo reportado por Iralu y Upadhaya (2018), quienes encontraron que un alto contenido de (K) y (Ca) en el suelo puede mejorar significativamente la tasa de germinación y el vigor de las plántulas de especies tropicales al mejorar la absorción de nutrientes y la regulación del balance hídrico. Además, Hansson et al. (2018) demostraron que un pH óptimo del suelo y una alta conductividad eléctrica pueden favorecer la disponibilidad de nutrientes esenciales, lo que puede explicar la mayor afinidad observada en Tena por estos compuestos inorgánicos y sus efectos positivos en los indicadores fisiológicos (VG y CG) de las semillas.

En el ACP, las semillas de Huamboya que mostraron mayor afinidad por compuestos inorgánicos como el (Fe) y el (Cu), así como por propiedades del suelo como la materia orgánica y el aluminio intercambiable ha sido documentado por estudios como el de Jhariya & Singh (2021), quienes destacaron que suelos con alto contenido de materia orgánica y disponibilidad de micronutrientes, como el Fe y el Cu pueden mejorar la germinación y el desarrollo inicial de especies forestales al facilitar procesos metabólicos claves, según Monsalve et al. (2022). También encontraron que la alta materia orgánica en suelos tropicales se asocia con una mayor retención de humedad y una liberación gradual de nutrientes, beneficiando la viabilidad y vigor de las semillas, especialmente en condiciones de aluminio intercambiable.

Holste y Kobe (2017) indicaron que el fósforo es crucial para el desarrollo de raíces y la germinación temprana, y que su disponibilidad en el suelo está correlacionada con una mayor eficiencia en el uso del agua y la energía en semillas en etapas iniciales de germinación. Por otro lado, Wang et al. (2023) señalaron que el Zn es fundamental en la regulación enzimática que afecta la germinación, mientras que los niveles moderados de aluminio intercambiable pueden no afectar negativamente el desarrollo cuando existen otros nutrientes disponibles que contrarrestan sus efectos potencialmente tóxicos.

# 4. Conclusiones

Las características morfológicas de las semillas de la especie *C. odorata* indicaron poca variación entre las procedencias de estudio, a pesar de que Tena presentó rasgos superiores en cuanto al largo del embrión, largo y ancho del ala y largo y ancho de las semillas. Esto indicó semillas de mayor tamaño en este origen geográfico, lo que ofrece mayores posibilidades para la germinación.

La composición química de las semillas reveló que tanto los elementos inorgánicos y orgánicos de las semillas fueron similares entre las tres procedencias de estudio, a excepción de la concentración de $K^+$, $Mg^{2+}$, Zn y el contenido de grasa. Esto estuvo influenciado por las propiedades del suelo de los árboles productores de semilla.

La germinación de las semillas fue similar entre las procedencias, reflejando que se trata de semillas de buena calidad capaces de emerger de manera rápida y uniforme. Sin embargo, los indicadores de calidad relacionados con la velocidad de germinación, el porcentaje de humedad y la viabilidad de semillas fueron superiores en el origen geográfico del Tena.

El análisis multivariado mostró la contribución de las procedencias en relación con las características morfológicas, composición química, germinación y calidad de semillas. Se comprobó la existencia de un patrón general en los orígenes geográficos, lo que evidenció semejanzas en la calidad de las semillas y la eficiencia germinativa, por lo que sería conveniente el uso de material genético de las tres procedencias para la reforestación.

**Contribuciones de los autores**

**Hector Hugo Chicaiza Achina:** Adquisición, y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

**José Antonio Ortiz Naveda:** 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

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

**Conflicto de intereses** Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

# 5. Referencias

AGUIRRE-MENDOZA, Z., LOJA-CHALÁN, A. F., SOLANO-AYALA, C., y AGUIRRE-MENDOZA, N. 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 20 agosto 2024].

ÁLDERETE-CHAVEZ. A., DE LA CRUZ-LANDERO, N., y GONZALEZ-DE LA TORRE, J. E. Variación en semillas de *cedrela odorata* l. procedentes de los estados de Campeche y Tabasco, México. Foresta Veracruzana [en linea]. 2005, 7(2), 41-44[fecha de Consulta 3 de Septiembre de 2024]. ISSN: 1405-7247. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770207

AOAC. Official Methods of Analysis of A.O.A.C international; agricultural chemicals, contaminants, drugs. 21a Edición. Maryland. E.E.U.U. (2019). Disponible en: https://es.scribd.com/document/402316522/AOAC-docx

ARCE-CORDOVA, D., ESPINOSA-ZARAGOZA, S., AGUIRRE-MEDINA, J. F., WONG-VILLARREAL, A., AVENDAÑO-ARRAZATE, C. H., y CADENA-IÑIGUEZ, J. Características, Morfométricas y Germinación de Semillas de *Cedrela odorata* L. Guía para autores AGRO, 2018. Disponible en: https://core.ac.uk/download/pdf/249320083.pdf

BERTSCH, F., BEJARANO, J. A., y CORRALES, M. Correlación entre las soluciones extractoras KCl-Olsen modificado y Mehlich 3, usadas en los laboratorios de suelos de Costa Rica. Agronomía Costarricense, 2005, vol. 29, no 3, p. 137-142. Obtenido en: https://www.redalyc.org/pdf/436/43626961016.pdf

BOUYOUCOS, GEORGE JOHN. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. 1951. Disponible en: https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x

CERVANTES-MACHUCA, M. M., RODRÍGUEZ-ORTIZ, G., DEL VALLE, J. R. E., y RODRÍGUEZ-VÁSQUEZ, M. E. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de Pinus patula var. longepedunculata y P. pseudostrobus var. oaxacana: Morphological characterization of seeds and germination efficiency of Pinus patula var. longepedunculata and P. pseudostrobus var. oaxacana. *e-CUCBA*, 2023, vol (20), 44-51.

CHÁVEZ-CURY, G. Revisión experimental del intervalo de pH para la determinación de cloruros por el método de Mohr. Revista Boliviana de Química, 2006, vol. 23, no 1, p. 24-26. Obtenido en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602006000100005&script=sci_arttext

CHEESMAN, AW, PREECE, ND, VAN OOSTERZEE, P., ERSKINE, PD., y CERNUSAK, L. A. El papel de la topografía y los rasgos funcionales de las plantas en la determinación del éxito de la reforestación tropical. Journal of applied ecological, 2018, vol. 55, no 2, p. 1029-1039. Obtenido en: https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2664.12980

CLIMENT, J., GIL, L., PÉREZ, E., y PARDOS, J. A. Efecto de la procedencia en la supervivencia de plántulas de Pinus canariensis Sm. en medio árido. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 2002, vol 11(1), 171-180.

COMERCIAL MIDA. AgroBlog Semillas: Definición, tipos, germinación y almacenamiento. Disponible en: https://comercialmida.es/blogs/blog/semillas (2018).

CORREA, E., ESPITIA, M., ARAMÉNDIZ, H., MURILLO, O., y PASTRANA, I. Variabilidad genética en semillas de

árboles individuales de Tectona grandis Lf en la conformación de lotes mezclados en córdoba, Colombia. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica, 2013, vol. 16, no 2, p. 379-389. Obtenido en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262013000200012&script=sci_abstract

DE ANDRADE MELO JUNIOR, J. L., DE ANDRADE MELO, L. D. F., DE ARAUJO NETO, J. C., y FERREIRA, V. M. Germination and morphology of seeds and seedlings of Colubrina glandulosa Perkins after overcoming dormancy. Australian Journal of Crop Science, 2018, vol. 12, no 4, p. 639-647. Disponible en: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203093533

DÍAZ-SANTACRUZ, P. A. Efectos de la altitud sobre la calidad del café torrefactado (coffea arábica l. var. Colombia) producido en los municipios de Buesaco y la Unión–Nariño, pertenecientes al ecotopo e–220 a. 2014. Obtenido en: https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/2598/1085260903.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DORIA, J. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 2010, vol. 31, no 1, p. 00-00. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000100011&script=sci_abstract

ESPINOZA-GARCÍA, 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. Recuperado en: https://www.redalyc.org/pdf/610/61046936005.pdf

ESPITIA-CAMACHO, M., ARAMÉNDIZ-TATIS, H., y CARDONA-AYALA, C. Características morfométricas, anatómicas y viabilidad de semillas de *Cedrela odorata* L. y Cariniana pyriformis Miers. Agronomía Mesoamericana, 2017, vol. 28, no 3, p. 605-617. Recuperado en: https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n3/43752453006.pdf

FONTANA, M., PÉREZ, V., y LUNA, C. Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de Prosopis alba (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 2018, vol *66*(2), 593-604.

FRANCO, W., PONCE, J., PORTERO, C., y PICÓN, G. Potencialidades y limitaciones de los suelos de las chakras de tres comunidades amazónicas del cantón Arajuno, Pastaza. Siembra, 2024, vol. 11. Recuperado en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2477-88502024000200026&script=sci_arttext

GADMC ARAJUNO. Historia - GADMIPA ARAJUNO. Obtenido en: https://www.arajuno.gob.ec/historia#:~:text=Al%20Norte%3A%20La%20provincia%20de,Al%20Sur%3A%20El%20Cant%C3%B3n%20Pastaza.&text=Y%20al%20Oeste%3A%20Con%20el%20Cant%C3%B3n%20Pastaza%20y%20Santa%20Clara. (2023)

GADMC HUAMBOYA. Información general. Disponible en: https://www.huamboya.gob.ec/index.php/contenido/item/informacion-general#:~:text=Norte%3A%20R%C3%ADo%20Palora%2C%20hasta%20la,VI%20y%20Parque%20Nacional%20Sangay. (2022)

GADMC TENA. Canton Tena - limites. Otenido en: https://tena.gob.ec/WEB/canton.php (2023).

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.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422023000100018&script=sci_arttext

GOLD, K., LEÓN, P., y WAY, M. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres. Disponible en: https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/4cc803b8-2b3c-45fe-b1ee-4b7d19e8adad/content (2004).

GONZÁLEZ, H., GONZÁLEZ, A. F., RODRÍGUEZ, G., LEÓN, R., y BETANCOURT, M.. Vigor en plantas de plátano (Musa AAB cv. Hartón) y su relación con características físicas, químicas y biológicas del suelo. Agronomía Costarricense, 2021, vol. 45, no 2, p. 115-134. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242021000200115

HANSSON, K., LACLAU, JP, SAINT-ANDRÉ, L., MARESCHAL, L., VAN DER HEIJDEN, G., NYS, C., Nicolas, M., Ranger., J., y Legout, A. Fertilidad química de los ecosistemas forestales. Parte 1: Los análisis químicos de suelos comunes fueron malos predictores de la productividad de las masas en una amplia gama de suelos forestales ácidos. Forest Ecology and Management, 2020, vol. 461, pág. 117843. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719318390

HERNÁNDEZ-MORENO, M. M., ISLAS-GUTIÉRREZ, J., y GUERRA DE LA CRUZ, V. Margins of commercialization of the pinion (Pinus cembroides subesp. orizabensis) in Tlaxcala, Mexico. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2011, vol. 2, no 2, p. 265-279. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n2/v2n2a7.pdf

HERRERA, M., y LEBNIZ, K. Efecto antiinflamatorio del extracto etanólico de cadillo Cenchrus echinatus L.(cadillo) sobre el granuloma inducido por carragenina en ratas. 2018. Disponible en: https://repositorio.usanpedro.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f2f01432-d951-4dfc-9365-b0d617d7c540/content

HOLSTE, EK., y KOBE, RK Las especies de árboles y los nutrientes del suelo impulsan la reforestación tropical más que las asociaciones con hongos micorrízicos. Plant and Soil, 2017, vol. 410, pág. 283-297. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-016-3013-z

HUERTA R., y RODRÍGUEZ-TREJO, D. A. Efecto del tamaño de semilla y la temperatura en la germinación Quercus rugosa Née. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 2011, vol 17(2), 179-187. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v17n2/v17n2a1.pdf

HUILLCA, G. Diseño del sistema de agua potable para la comunidad de Kenkuim del cantón Huamboya, provincia de Morona Santiago. 2023. Tesis de Licenciatura. Universidad del Azuay. Disponible en: https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13716/1/19240.pdf

HUSSAIN, A., ALI, S., RIZWAN, M., ZIA UR REHMAN, M., HAMEED, A., HAFEEZ, F., ALAMRI, S., ALYEMENI, M.,

y WIJAYA, L. Función del zinc-lisina en el crecimiento y la absorción de cromo en plantas de arroz bajo estrés por Cr. Journal of plant growth regulation, 2018, vol. 37, pág. 1413-1422.

INAB (Instituto Nacional de Bosques Guatemala). Cedro *Cedrela odorata*; paquete tecnológico forestal. Guatemala, 2017. Disponible en: https://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2802/technical/CEDROD.pdf?v=1709107211#:~:text=La%20semilla%20de%20cedro%20se,90%25%20despu%C3%A9s%20de%20cuatro%20a%C3%B1os

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). El cedro, establecimiento y manejo en la huasteca. potosina. San Luis Potosí, México. 25 p. 2005. Disponible en: https://www.academia.edu/37197137/INSTITUTO_NACIONAL_DE_INVESTIGACIONES_FORESTALES_AGRICOLAS_Y_PECUARIAS_CENTRO_DE_INVESTIGACION_REGIONAL_DEL_NORESTE_CAMPO_EXPERIMENTAL_HUICHIHUAYAN

INTANON, S., WIENGMOON, B., y MALLORY-SMITH, C. A. Morfología de las semillas y alelopatía de la especie invasora Praxelis clematidea. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2020, vol. 48, no 1, pág. 261-272. Disponible en: https://www.notulaebotanicae.ro/index.php/nbha/article/view/11831/8927

IRALU, V., y UPADHAYA, K. Seed dormancy, germination and seedling characteristics of Elaeocarpus prunifolius Wall. ex Müll. Berol.: a threatened tree species of north-eastern India. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 2018, vol. 48, p. 1-10. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1186/s40490-018-0121-y

ISTA. International Rules for Seed Testing Rules. Seed Science & Technology, 21, Supplement. (1993)

JARA, L. F. Biología de semillas forestales. CATIE, 1996. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=6dqzQnaVTsUC&oi=fnd&pg=PR5&dq=COMPOSICION+QUIMICA+DE+SEMILLAS+forestales&ots=3FcEIDQVv7&sig=ptQqLU-BTOXJMoGwlldQ7Y8NnCg#v=onepage&q=suelo&f=false

JHARIYA, M. K., y SINGH, L. Herbaceous diversity and biomass under different fire regimes in a seasonally dry forest ecosystem. Environment, Development and Sustainability, 2021, vol. 23, no 5, p. 6800-6818. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-00892-x

JUÁREZ-AGIS, A., VILLASANA, J. I. B., y SÁNCHEZ, S. G. Época de recolecta en Palo Morado (Peltogyne mexicana M.), en Acapulco Gro., México. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 2011, vol 4(7), 37-51.

KLEKAILO, G. N., TUESCA, D., y BARBERIS, I. M. Efectos de la temperatura, el ambiente lumínico y la escarificación sobre la germinación de semillas de Bromelia serra Griseb. (Bromeliaceae). Revista Brasileira de Sementes, 2012, vol. 34, p. 605-612. Disponible en: https://www.scielo.br/j/rbs/a/yRWpkCBD5Kc7ffm979jdtCP/

LEONES, D. A. U., MARTÍNEZ, M. M. O., GAHONA, A. G. M., GARCÍA, W. V. Y., QUINTANA, Y. G., y CRESPO, Y. A. Indicadores de calidad de semillas y plántulas de dos especies del género *Cedrela* cultivadas en vivero con fines de restauración en condiciones amazónicas. Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad, 2019, vol. 2, no 3, p. 193-202. Obtenido en: https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9016436.pdf

LUNA, C.V. Substrate and fertilizer concentration on loblolly pine (Pinus taeda L.) in nursery growth. Rev. agron. noroeste arg. [online]. 2019, vol.39, n.1, pp.19-29. ISSN 0080-2069. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S2314-369X2019000100002&script=sci_abstract&tlng=en

LUNA-FOX, S., ALVAREZ, RIGOBERTO, PEÑAFIEL, N., RADICE, M., SCALVENZI, L., ARTEAGA, Y., LÓPEZ, D., y BRAVO, L. 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.

MACAS-CHAMBA, Á. P., y MÉNDEZ-SILVA, G. I. Evaluación de la caparsidad Biotransformadora de Taninos de Guarango (Caesalpinia spinosa) a través de Trametes versicolor y Aspergillus niger. 2013. Tesis de Licenciatura. Quito: 2013. Obtenido en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4129/1/UPS-QT03518.pdf

MEJÍA, G. T. 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

MENDIZÁBAL, L. D. C., ALBA, J., RODRÍGUEZ, M. C., RAMÍREZ, E. O., RAMÍREZ, J. M., y CRUZ, H. Germinación de familias selectas de *Cedrela odorata L. Foresta Veracruzana*, 2016, vol. 18, no 1, p. 55-62. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/497/49746888006/html/

MESÉN, S. F. Prácticas de recolección, manejo y uso de germoplasma de especies forestales nativas en América Central y Sur de México. CATIE. Paraíso, Cartago, Costa Rica, 2006.

MOLINA-MALDONADO, J. R., ANDUEZA-NOH, R. H., RUIZ-SÁNCHEZ, E., GARRUÑA, R., GUTIERREZ-MICELI, F. A., y DA CONCEIΣÃO-DOS SANTOS, L. F. MORPHOLOGICAL DIVERSITY OF Ardisia compressa Kunth FROM NORTHEAST OF CHIAPAS, MEXICO. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2023, vol. 27, no 1. Disponible en: https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/5004

MONSALVE-VARGAS, T., ARBOLEDA, D., VÉLEZ, S., y CARDONA-GALLO, S. A. Diagénesis ósea en necrósoles de bosque tropical seco. Ciencias Arqueológicas y Antropológicas, 2022, vol. 14, no 11, p. 216. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1007/s12520-022-01682-4

MURRAY-NÚÑEZ, R. M., BOJORQUEZ-SERRANO, J. I., HERNÁNDEZ-JIMENEZ, A., OROZCO-BENITEZ, M. G., GARCÍA-PAREDES, J. D., GÓMEZ-AGUILAR, R., ONTIVEROS-GUERRA, H. M., y AGUIRRE-ORTEGA, J. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físiscas

del suelo en un sistema agroforestal de la Llanura Costera Norte de Nayarit, México. Revista Bio Ciencias, 2013, vol. 1, no 3.

NORMAN, P. E., DANQUAH, A., ASFAW, A., TONGOONA, P. B., DANQUAH, E. Y., y ASIEDU, R. Viabilidad de las semillas, crecimiento de las plántulas y rendimiento del ñame blanco de Guinea. Agronomía, 2020, vol. 11, núm. 1, pág. 2. Disponible en: https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/2

OLIVA, D. Determinación de la acidez intercambiable (Al+ 3+ H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua. 2009. Tesis Doctoral. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012. Disponible en: https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3f679f2b-7df3-42d4-93ba-cfd0a3619e7d/content

OLIVEIRA, L. F. R., SANTOS, P. H. R., SILVA, L. G., CORREIA, L. P. S., y LAFETÁ, B. O. 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

POZO-GÓMEZ, D. M., ORANTES-GARCÍA, C., RIOJA-PARADELA, T. M., MORENO-MORENO, R. A., y FARRERA-SARMIENTO, O. Diferencias en morfometría y germinación de semillas de Croton guatemalensis (Euphorbiaceae), procedentes de poblaciones silvestres de la Selva Zoque, Chiapas, México. Acta botánica mexicana, 2019, no 126. Obtenido en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512019000100108&script=sci_arttext

POVEDA-CORREDOR, D. C. Influencia de las prácticas agrícolas sobre la comunidad de coleopteros (Scarabaeidae, Carabidae y Staphylinidae) y percepciones ambientales de la conservación en la vereda El Verjón-Cerros orientales de Bogotá, Colombia. 2017. Recuperado en: https://core.ac.uk/reader/326429560

QUISPE-FERNÁNDEZ, G. M., ARELLANO-CEPEDA, O. E., RODRÍGUEZ, E. A., y CRUZ-PARRA, J. F. La rentabilidad y el comercio electrónico en las PYMES en el Ecuador. Caso emprendimientos en empresas de alimentos y bebidas. Ciencia Digital, 7(2), 82-94. (2023). https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v7i2.2541

RAMIREZ, C., VERA, Gil., CARRILLO, F., y MAGANA, O. El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión de terrenos agrícolas en el sur de Tamaulipas. Agric. Téc. Méx [online], vol.34, n.2 [citado 2024-08-22], pp.243-250. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000200011&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0568-2517. (2008).

RANAL, M. A., y SANTANA, D. G. D. How and why to measure the germination process?. Brazilian Journal of Botany, 2006, vol. 29, p. 1-11. Obtenido en: https://www.scielo.br/j/rbb/a/ZfHBJBGtpDcXzfknWfmNM4G/?format=html&lang=en

RÍOS, C. A., ORANTES, C., MORENO, R. A., 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

ROA, S., y MONTAÑO, D. 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 20 agostoo 2024].

ROMÁN, F., DE LIONES, R., SAUTU, A., DEAGO, J., HALL, J.S., ENVIRONMENTAL LEADERSHIP., y TRAINING INITIATIVE., Proyecto de Reforestación con especies nativas., Smithsonian Tropical Research Institute. y Yale University. School of Forestry AND Environmental Studies. Guía para la propagación de 120 especies de árboles nativos de Panamá y el neotrópico. S.l.: Environmental Leadership and Training Initiative–ELTI, Yale School of Forestry & Environmental Studies. ISBN 978996205347. 2012.

SALAZAR, R. y SOIHET, C. Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina vol. II. 2001. Recuperado en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gUYxSnflE5AC&oi=fnd&pg=PA57&dq=SALAZAR,+R.+Y+SOIHET,+C.+Manejo+de+semillas+de+75+especies+forestales+de+Am%C3%A9rica+Latina+vol.+II.+2001.&ots=xJwYy9-XDz&sig=z5Yao6F1sr9CQ7Xp_61QO9h0-KY#v=onepage&q&f=false

SALAZAR, S. A., QUINTERO, J. D., y BUSTOS, V. J. 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

SALES, B., SAMANIEGO, T. D., DURAND, K. A., NORABUENA, Á. A., CALDERÓN, R. J., ORTEGA, J. M., y MUNAYCO, K. E. Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego. En urn: isbn: 978-9972-44-151-6. Instituto Nacional de Innovación Agraria, 2024. Obtenido en: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/2473/1/Sales_et-al_2024_suelo_riego.pdf

SAMPAYO-MALDONADO S, ORDOÑEZ-SALANUEVA CA, MATTANA E, ULIAN T, WAY M, CASTILLO-LORENZO E, DÁVILA-ARANDA PD, LIRA-SAADE R, TÉLLEZ-VALDÉZ O, RODRIGUEZ-AREVALO NI., y FLORES-ORTÍZ, C. M. Tiempo Térmico y Temperaturas Cardinales para la Germinación de los Bosques de *Cedrela odorata* L. 2019; 10(10):841. Disponible en: https://doi.org/10.3390/f10100841

SERRADA-HIERRO, R., NAVARRO-CERRILLO, R. M., y PEMÁN-GARCÍA, J. La calidad de las repoblaciones forestales: una aproximación desde la selvicultura y la ecofisiología. 2005.

SOTOLONGO-SOSPEDRA, R., GEADA-LÓPEZ, G., y COBAS-LÓPEZ, M. Fomento Forestal. (Ed) Félix Varela. Ciudad de la Habana. Cuba, 2011. P, 287. Recuperado en: https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2100/1/UNESUM%20APORTA%20A%20LA%20%20BIOTECNOLOGIA%20DE%20PLANTAS.pdf

TOLEDO-GONZALEZ, K. A. Germinación, crecimiento y densidad de la madera en dos variedades de Ochroma pyramidale (Cav. ex Lam.) Urb. de la Selva Lacandona, Chiapas. 2016. Tesis Doctoral. Tesis de Maestría]. El colegio de la Frontera Sur. 46.

VALLADOLID-ONTANEDA, J., LEÓN-MEJÍA, Á., y

PAREDES-TOMALÁ, D. Selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de la península de Santa Elena. Ecuador. Revista Científica y Tecnológica UPSE (RCTU), 2017, vol. 4, no 2, p. 105-110. Obtenido en: https://doi.org/10.26423/rctu.v4i2.261

VALVERDE, A., y OBANDO, J. 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.

VAN-SUNDERT, K., HOREMANS, JA, STENDAHL, J., y VICCA, S. La influencia de las propiedades del suelo y los nutrientes en el crecimiento de los bosques de coníferas en Suecia y los primeros pasos en el desarrollo de una métrica de disponibilidad de nutrientes. Biogeosciences, 2018, vol. 15, no 11, p. 3475-3496. Disponible en: https://bg.copernicus.org/articles/15/3475/2018/

VERDIER, J., LALANNE, D., PELLETIER, S., TORRES, I., RIGHETTI, K., BANDYOPADHYAY, K., LEPRINCE, O., CHATELAIN, E., LY VU, B., GOUZY, J., GAMAS, P., UDVARDI, M., y BUITINK, J. A regulatory network-based approach dissects late maturation processes related to the acquisition of desiccation tolerance and longevity of Medicago truncatula seeds. Plant physiology, 2013, vol. 163, no 2, p. 757-774. Disponible en: https://academic.oup.com/plphys/article/163/2/757/6111020?login=false

VERMA, S., SINGH, D., SINGH, A. K., y JAYAKUMAR, S. Dinámica de nutrientes del suelo después de un incendio en un bosque caducifolio seco tropical de los Ghats occidentales, India. Forest Ecosystems, 2019, vol. 6, pág. 1-9. Disponible en: https://link.springer.com/article/10.1186/s40663-019-0168-0

VIÁFARA, D. Técnicas analíticas laboratorio de Bromatología Universidad Estatal Amazónica. (2020).

VINUEZA, M. Ficha Técnica Nº 5: CEDRO. Disponible en: https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-5-cedro/ (2012).

VIVEROS-VIVEROS, H., QUINO-PASCUAL, K., VELASCO-GARCÍA, M. V., SÁNCHEZ-VIVEROS, G., y VELASCO-BAUTISTA, E. Variación geográfica de la germinación en Enterolobium cyclocarpum en la costa de Oaxaca, México. *Bosque (Valdivia)*, 2017, vol. 38, no 2, p. 317-326. Obtenido en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002017000200009&script=sci_arttext

WANG, N., WANG, X., CHEN, L., LIU, H., WU, Y., HUANG, M., y FANG, L.W. Funciones biológicas del consorcio microbiano del suelo en la promoción de la producción segura de cultivos en suelos contaminados con metales pesados (loides): una revisión sistemática. *Science of The Total Environment*, 2023, pág. 168994. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723076234

YANCHAPANTA-AGUAIZA, G. D. Influencia de sustratos orgánicos sobre la germinación de (*Brassica oleracea* L. var. Milán) en el cantón Pangua el Corazón. Obtenido en: https://repositorio.uta.edu.ec:8443/bitstream/123456789/39766/1/071%20Agronom%c3%ada%20-%20Yanchapanta%20Aguaiza%20Gladys%20Dalida.pdf (2023).

ZHAO, Q., y ZENG, DH. Efectos de la adición de nitrógeno en el crecimiento de los árboles y las propiedades del suelo mediados por la disponibilidad de fósforo en el suelo y la identidad de las especies de árboles. *Forest Ecology and Management*, 2019, vol. 449, pág. 117478. Obtenido en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112719305985