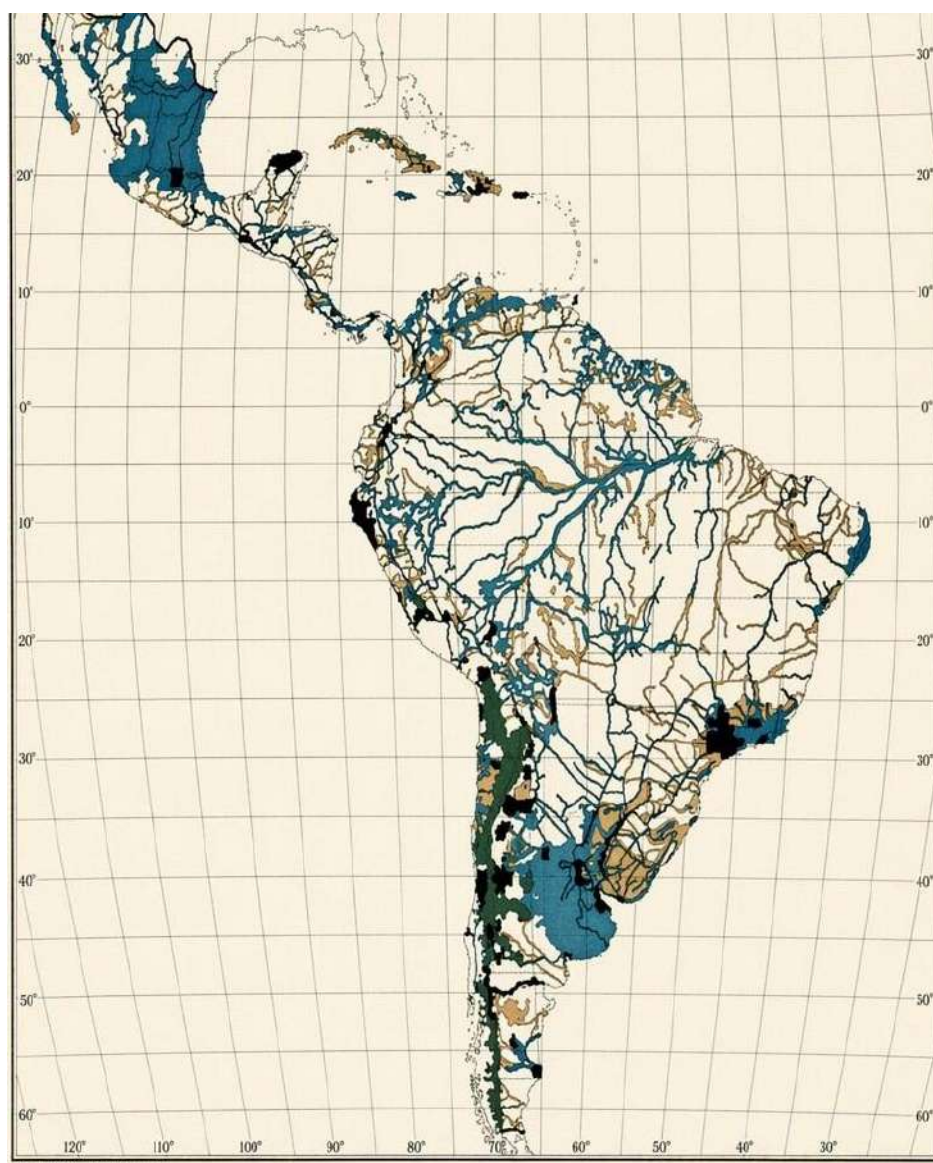


Revista Latinoamericana de Difusión Científica



Volumen 8 - Número 15
Julio – Diciembre 2026
Maracaibo – Venezuela

Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* (Meliaceae) en relación con la morfometría del fruto en la Amazonía peruana

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21416330>

Jordany Seminario Morales *
David Prudencio Quispe Janampa**
José Antonio Dionisio Armas***
Cleide Santos Flores****
Gunter Daza Panduro*****
Brayan André Caldas de la Cruz *****
Edilberto Diaz Quintana*****

RESUMEN

El cedro colorado (*Cedrela odorata* L.) es una especie tropical de alto valor comercial y ecológico; sin embargo, persisten vacíos sobre su reproducción sexual y la calidad de sus semillas en la Amazonía peruana. El objetivo fue evaluar el potencial y la eficiencia de producción de semillas y su relación con la morfometría del fruto en Tingo María, Perú. Se seleccionaron seis árboles fenotípicamente superiores y se recolectaron 50 frutos maduros por individuo ($n = 300$). Se midieron peso, longitud y diámetro del fruto; número de semillas desarrolladas y subdesarrolladas; potencial de producción de semillas (PPS); eficiencia de producción de semillas (EPS); eficiencia de germinación (EGS); y eficiencia de producción de semillas viables por fruto (EPSV). Se aplicaron estadísticos descriptivos y correlación de Pearson ($\alpha = 0,05$). Los frutos presentaron pesos de 2,82 a 3,91 g, longitudes de 3,50 a 4,17 cm y diámetros de 1,84 a 2,07 cm. El PPS fue estable, mientras que la EPS y la EPSV variaron entre árboles. La EGS fue alta (95,84 %–98,91 %). Se concluye que el peso del fruto se asoció con la eficiencia reproductiva de la especie.

PALABRAS CLAVE: Amazonía, Silvicultura, Árboles, Recursos forestales.

Este artículo es producto del trabajo de grado "Potencial y eficiencia de producción de semillas en *Cedrela odorata* L. (cedro colorado) y su relación morfométrica de frutos en Tingo María", presentado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú.

*Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1548-6149>. E-mail: jordany.seminario@unas.edu.pe

** Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2439-5556>. E-mail: david.quispe@unas.edu.pe

***Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5222-3283>. E-mail: jose.dionisio@unas.edu.pe

****Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6810-0604> E-mail: cleide.santos@unas.edu.pe

*****Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6809-6859> E-mail: gunter.dazap@unas.edu.pe

*****Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9433-5861> E-mail: brayan.caldas@unas.edu.pe

*****Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7498-109X> E-mail: edilberto.diaz@unas.edu.pe

Recibido: 27/03/2026

Aceptado: 20/05/2026

Potential and Efficiency of Seed Production of *Cedrela odorata* (Meliaceae) in Relation to Fruit Morphometry in the Peruvian Amazon

ABSTRACT

Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) is a tropical species of high commercial and ecological value; however, important gaps remain regarding its sexual reproduction and seed quality in the Peruvian Amazon. The objective of this study was to evaluate seed production potential and efficiency and their relationship with fruit morphometry in Tingo María, Peru. Six phenotypically superior trees were selected, and 50 mature fruits were collected from each individual ($n = 300$). Fruit weight, length, and diameter were measured, as well as the number of developed and undeveloped seeds, seed production potential (SPP), seed production efficiency (SPE), germination efficiency (GE), and viable seed production efficiency per fruit (VSPE). Descriptive statistics and Pearson's correlation were applied ($\alpha = 0.05$). Fruit weight ranged from 2.82 to 3.91 g, length from 3.50 to 4.17 cm, and diameter from 1.84 to 2.07 cm. SPP remained stable, whereas SPE and VSPE varied among trees. GE was high (95.84%–98.91%). It is concluded that fruit weight was associated with the reproductive efficiency of the species.

KEYWORDS: Amazonia, Silvicultura, Tres, Forest resources.

Introducción

Los bosques tropicales albergan una de las biodiversidades más ricas del planeta, con un enorme potencial ecológico y económico aún poco aprovechado de manera sostenible (FAO, 2020). Entre las especies de mayor valor comercial y ecológico en el Neotrópico se encuentra *Cedrela odorata* L., conocida comúnmente como cedro colorado, una de las meliáceas más apreciadas por la calidad de su madera, su rápido crecimiento y su amplia distribución desde México hasta Argentina (CITES, 2019; Márquez et al., 2020). Esta especie ha sido intensamente explotada durante décadas, lo que ha llevado a una reducción significativa de sus poblaciones naturales y a su inclusión en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), lo que regula su aprovechamiento y comercialización a nivel mundial (CITES, 2019).

A pesar de su relevancia económica y ecológica, el conocimiento sobre la biología reproductiva de *C. odorata*, particularmente en poblaciones naturales de la Amazonía peruana, presenta vacíos significativos (Rosas, 2019; Márquez et al., 2021). La

reproducción sexual de esta especie, mediada por semillas, es fundamental para su conservación, restauración y aprovechamiento sostenible. Sin embargo, la escasa disponibilidad de información precisa sobre el potencial y la eficiencia de producción de semillas, así como sobre los factores que influyen en la calidad de estas, limita el desarrollo de programas efectivos de reforestación, mejoramiento genético y conservación de recursos fitogenéticos (Mendizábal et al., 2012; Márquez et al., 2020).

En este contexto, la morfometría de frutos y semillas constituye una herramienta clave para comprender los patrones reproductivos de las especies forestales. Diversos estudios han demostrado que las características morfométricas de los frutos, como el peso, la longitud y el diámetro, pueden influir significativamente en el número de semillas desarrolladas, la eficiencia de producción y la viabilidad de las semillas (Rodríguez et al., 2001; Niembro et al., 2007; Mendizábal et al., 2013). En *C. odorata*, investigaciones previas han reportado valores variables para estas características, reflejando la influencia de factores genéticos, ambientales y geográficos sobre el desempeño reproductivo de la especie (Alderete y Márquez, 2004; Márquez et al., 2020; Rosas, 2019).

Estudios realizados en distintas regiones han documentado variaciones importantes en la producción de semillas de *C. odorata*. Rodríguez et al. (2001) reportaron en México un peso promedio de fruto de 4,16 g, con 23 semillas desarrolladas por fruto y una eficiencia de producción del 53%. Márquez et al. (2020) encontraron un potencial de producción de semillas de 39,13 semillas por fruto con una eficiencia del 58,86%, mientras que Rosas (2019), en Tingo María, reportó valores de eficiencia de producción entre 52,41% y 56,38% para dos morfotipos de la especie. Por su parte, Mendizábal et al. (2012) documentaron un potencial promedio de 46,6 semillas por fruto con una eficiencia del 50,3%, destacando una amplia variabilidad entre árboles. Estas diferencias sugieren que el contexto local, incluyendo las condiciones edafoclimáticas y la composición genética de las poblaciones, juega un papel determinante en el éxito reproductivo de la especie.

En la Amazonía peruana, específicamente en Tingo María, los estudios sobre *C. odorata* han sido limitados. Rosas (2019) caracterizó dos morfotipos de cedro colorado, encontrando diferencias en peso de fruto (2,83 y 3,13 g), número de semillas desarrolladas (22,93 y 24,8) y eficiencia de producción (52,41% y 56,38%). Sin embargo, este estudio no evaluó la eficiencia de germinación ni la producción de semillas viables, aspectos cruciales para determinar la calidad real de las semillas destinadas a

programas de reforestación. Asimismo, no se exploraron las relaciones entre las características morfométricas de los frutos y las diferentes eficiencias reproductivas, lo que constituye un vacío de conocimiento relevante.

En otras especies forestales de valor comercial, estudios similares han demostrado la importancia de estas relaciones. Por ejemplo, en *Swietenia macrophylla*, Niembro et al. (2007) encontraron correlaciones significativas entre el peso y la longitud del fruto con el número de semillas desarrolladas. En *Calycophyllum spruceanum*, Inocente (2023) reportó una eficiencia de producción del 45% y una eficiencia de germinación del 60,15%, evidenciando la variabilidad interespecífica en los patrones reproductivos. En *Nectandra oppositifolia*, Potesta (2020) documentó un poder germinativo del 92%, destacando la importancia de evaluar no solo la producción sino también la calidad fisiológica de las semillas.

Por lo expuesto, resulta fundamental generar información precisa sobre el potencial y la eficiencia de producción de semillas de *C. odorata* en poblaciones naturales de Tingo María, así como determinar la relación entre las características morfométricas de los frutos y el éxito reproductivo de la especie. Esta información permitirá establecer criterios de selección de árboles semilleros, optimizar los procesos de recolección y propagación, y fortalecer los programas de reforestación, restauración ecológica y conservación genética en la región.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial y la eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* (cedro colorado) y su relación con las características morfométricas de los frutos en Tingo María, Amazonía peruana.

1. Materiales y métodos

1.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú. La colecta de frutos se realizó en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), ubicado a 660 m s.n.m., con coordenadas UTM Este 389739 y Norte 8971350 (datum WGS84). Las evaluaciones morfométricas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Certificación de Semillas (678 m s.n.m.; UTM Este 390293, Norte 8970766), mientras que las pruebas de germinación se realizaron en el Vivero Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables (663 m s.n.m.; UTM Este 390272, Norte 8970720).

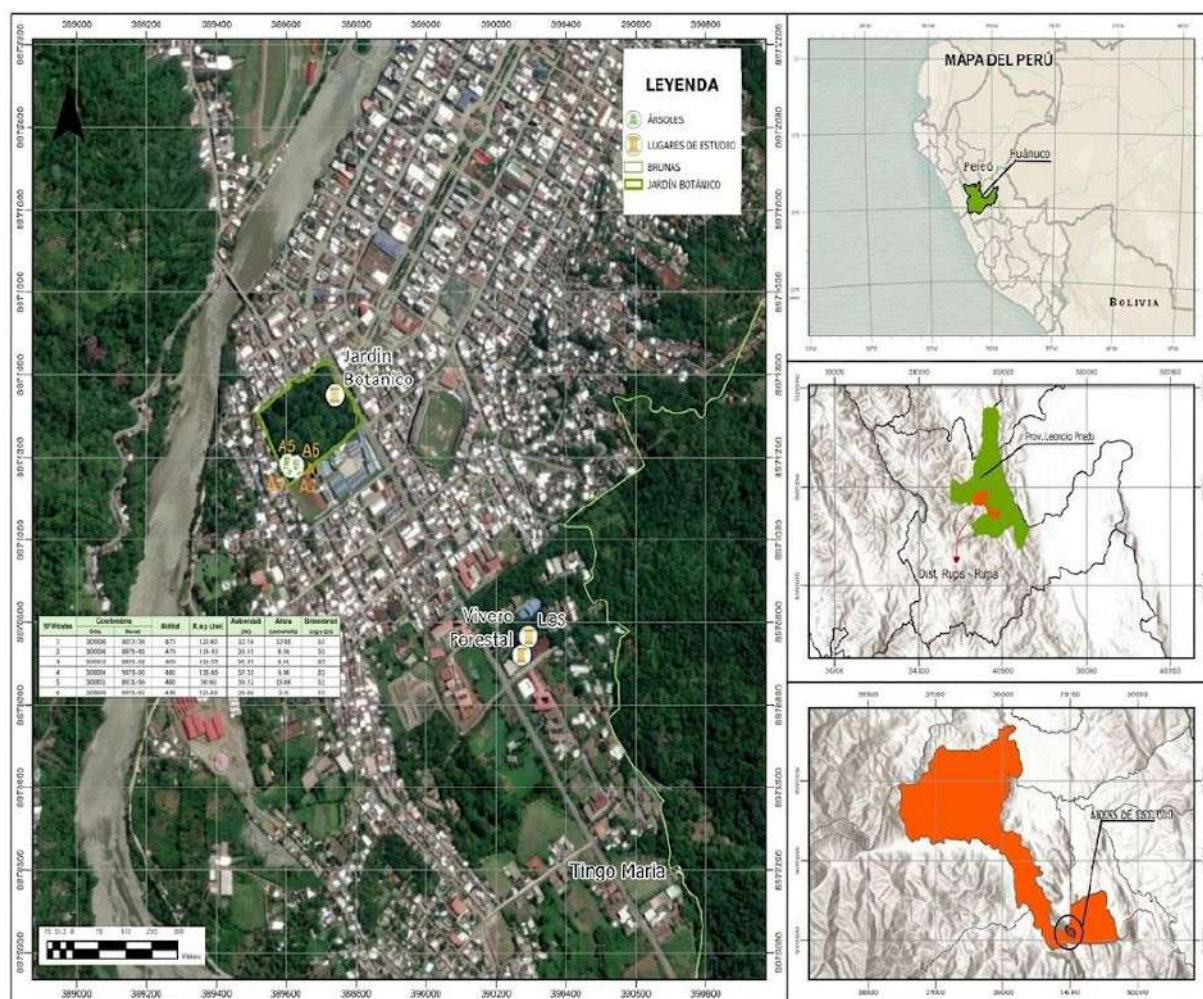


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio en la provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, Perú.

La zona de estudio se clasifica como bosque muy húmedo premontano subtropical (bmh-PMST) según el sistema de Holdridge (1978). Durante el periodo de colecta (septiembre–octubre de 2024), las condiciones climáticas registraron precipitaciones acumuladas de 265,0 mm y 105,6 mm para junio y julio, respectivamente. La temperatura máxima alcanzó 30,7 °C, con temperaturas medias de 25,8 °C (junio) y 25,4 °C (julio). La humedad relativa se mantuvo entre 83,1 % y 83,5 %.

1.2. Selección de árboles y colecta de frutos

La selección de los árboles semilleros se realizó siguiendo el protocolo técnico del Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR, 2013), considerando criterios fenotípicos favorables como porte recto, copa desarrollada, sanidad aparente y alta producción de frutos. Se seleccionaron seis individuos de *Cedrela odorata* con características homogéneas en cuanto a fenología reproductiva y accesibilidad para la colecta (Figura 2).

La colecta de frutos se realizó durante los meses de septiembre y octubre de 2024, coincidiendo con la etapa de madurez fisiológica, identificada por la coloración café oscuro de los frutos y un mínimo de 10 % de dehiscencia natural (FAO, 1995). Se aplicó un muestreo aleatorio sistemático, recolectando 50 frutos maduros por árbol, para un total de 300 frutos ($n = 300$), tamaño de muestra que garantiza la representatividad de la variabilidad intraespecífica según los lineamientos de la FAO (1995) y estudios previos en la especie (Rodríguez et al., 2001; Márquez et al., 2020).

Los frutos fueron transportados al laboratorio en bolsas de papel perforadas para permitir la ventilación y evitar la fermentación. Posteriormente, se secaron a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) durante 7 días hasta alcanzar peso constante, facilitando la dehiscencia natural y la extracción de semillas.

1.3. Evaluación morfométrica de frutos

Para cada uno de los 300 frutos, se registraron las siguientes variables morfométricas:

- **Peso del fruto (PF):** Se determinó utilizando una balanza analítica de precisión (Ohaus Pioneer®, EE. UU.) con sensibilidad de 0,0001 g, registrando el peso seco de cada fruto.
- **Longitud del fruto (LF):** Se midió desde el extremo basal hasta el ápice, excluyendo el pedúnculo, utilizando un vernier digital Mitutoyo® (Japón) con precisión de 0,01 mm.
- **Diámetro del fruto (DF):** Se midió en la parte media del fruto, en su sección transversal más ancha, utilizando el mismo vernier digital.

Todas las mediciones fueron realizadas por un solo evaluador para garantizar la consistencia de los datos, siguiendo los protocolos establecidos por Alderete y Márquez (2004) y Márquez et al. (2020).

1.4. Evaluación de semillas desarrolladas y subdesarrolladas

Posterior a la dehiscencia, se extrajeron manualmente todas las semillas contenidas en cada fruto. Se clasificaron en:

- **Semillas desarrolladas (NSD):** Aquellas que completaron su ontogenia, presentando embrión funcional, alas completas y estructura morfológica definida (FAO, 1995; Márquez et al., 2020).

- **Semillas subdesarrolladas o vanas (NSSD):** Aquellas que presentaron malformaciones, ausencia de embrión, alas incompletas o tamaño reducido (Rodríguez et al., 2001).

La identificación se realizó mediante inspección visual individual de cada semilla, complementada con la prueba de corte transversal en semillas dudosas para verificar la presencia de embrión.



Figura 2. Proceso: A) Cosecha de frutos; B) Peso de frutos; C) Medición de los frutos; D) Conteo de las semillas desarrolladas y subdesarrolladas.

1.5. Potencial y eficiencia de producción de semillas

El potencial de producción de semillas por fruto (PPS) se definió como el número total de semillas presentes en un fruto, incluyendo tanto las desarrolladas como las subdesarrolladas, según la siguiente fórmula (Alderete y Márquez, 2004):

$$\text{PPS} = \text{NSD} + \text{NSSD}$$

La eficiencia de producción de semillas (EPS) representa el porcentaje de semillas desarrolladas respecto al potencial total del fruto, calculado como (Márquez et al., 2020):

$$\text{EPS} (\%) = (\text{NSD} / \text{PPS}) \times 100$$

Este indicador permitió evaluar el éxito reproductivo de los frutos en términos de conversión del potencial en semillas viables

1.6. Evaluación de germinación y producción de semillas viables

Las pruebas de germinación se realizaron en el Vivero Forestal de la UNAS, bajo condiciones controladas de temperatura ($25 \pm 3^\circ\text{C}$) y humedad relativa ($70 \pm 5\%$). Se utilizaron camas germinadoras con sustrato esterilizado compuesto por arena de río y tierra negra en proporción 1:1 (v/v), dispuestas en un diseño completamente aleatorizado.

Se sembraron individualmente todas las semillas desarrolladas (NSD) provenientes de cada fruto, registrando diariamente la emergencia de la radícula o plúmula. Se consideró semilla germinada (NSG) aquella que presentó la protrusión visible de la radícula ($\geq 2\text{ mm}$) dentro de un periodo de 30 días (ISTA, 2022).

La eficiencia de germinación de semillas (EGS) se calculó como la proporción de semillas desarrolladas que lograron germinar (Márquez, 2007):

$$\text{EGS} (\%) = (\text{NSG} / \text{NSD}) \times 100$$

La eficiencia de producción de semillas viables por fruto (EPSV) se determinó como el porcentaje de semillas germinadas respecto al potencial total de producción del fruto (Niembro y Ramírez, 2006):

$$\text{EPSV} (\%) = (\text{NSG} / \text{PPS}) \times 100$$

1.7. Diseño metodológico y análisis estadístico

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y transversal, recolectándose los datos en un único periodo sin manipulación de las variables. El alcance fue descriptivo-correlacional, pues se describieron las características morfológicas y reproductivas, y se analizaron las relaciones entre variables.

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020). Para la caracterización de las variables, se calcularon estadísticos descriptivos: media, desviación estándar (DE), coeficiente de variación (CV), valores mínimos y máximos para cada árbol evaluado.

Para evaluar las relaciones entre las variables morfométricas (peso, longitud, diámetro del fruto) y las variables reproductivas (NSD, NSSD, PPS, EPS, EGS, EPSV), se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (r), previa verificación de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk, $p > 0,05$) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene, $p > 0,05$). Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

2. Resultados y discusión

2.1. Características morfométricas de los frutos

El análisis morfométrico de los frutos de *Cedrela odorata* reveló variabilidad entre los seis árboles evaluados. La **Tabla 1** presenta los estadísticos descriptivos para el peso, longitud y diámetro de los frutos.

El peso promedio de los frutos varió entre 2,82 g (árbol 4) y 3,91 g (árbol 5), con coeficientes de variación (CV) que oscilaron entre 10,12 % y 14,12 %, lo que indica una variabilidad moderada entre individuos. El árbol 5 presentó consistentemente los valores más altos en peso y longitud, destacándose como el individuo con mayor desarrollo de frutos.

La longitud promedio fluctuó entre 3,50 cm (árbol 3) y 4,17 cm (árbol 5), con CV bajos (4,74 %–5,65 %), evidenciando una menor variabilidad intra-árbol. El diámetro promedio mostró valores entre 1,84 cm (árbol 4) y 2,07 cm (árbol 3), con los CV más bajos (3,04 %–5,38 %), lo que sugiere una alta uniformidad en esta característica dentro de cada árbol evaluado (**Figura 3**).

Los valores obtenidos son comparables con los reportados por Rosas (2019), quien documentó en Tingo María pesos secos de fruto entre 2,83 g y 3,13 g para dos morfotipos de la especie, y longitudes de 3,97 cm y 3,99 cm. Asimismo, Márquez et al. (2020) encontraron longitudes promedio de 32,18 mm (3,22 cm) en poblaciones de Veracruz, México, valores ligeramente inferiores a los del presente estudio. Estas similitudes sugieren una relativa estabilidad morfométrica de *C. odorata* en diferentes regiones geográficas, aunque las variaciones observadas pueden atribuirse a factores genéticos, condiciones edafoclimáticas o al estado de madurez de los frutos al momento de la colecta (Mendizábal et al., 2013).

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las características morfométricas de frutos de *Cedrela odorata* por árbol evaluado.

Árbol	Variable	n	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
Árbol 1	Peso (g)	50	2,95	0,37	12,55	2,11	3,91
	Longitud (cm)	50	3,71	0,21	5,65	3,37	4,13
	Diámetro (cm)	50	2,04	0,08	3,78	1,85	2,22
Árbol 2	Peso (g)	50	2,91	0,41	14,12	2,03	4,13
	Longitud (cm)	50	3,97	0,22	5,60	3,40	4,53
	Diámetro (cm)	50	1,95	0,11	5,38	1,76	2,17
Árbol 3	Peso (g)	50	2,96	0,30	10,12	2,49	3,89
	Longitud (cm)	50	3,50	0,17	4,74	3,18	4,00
	Diámetro (cm)	50	2,07	0,07	3,16	1,97	2,25
Árbol 4	Peso (g)	50	2,82	0,34	12,19	2,13	3,71
	Longitud (cm)	50	3,95	0,19	4,74	3,62	4,40
	Diámetro (cm)	50	1,84	0,06	3,04	1,70	1,99
Árbol 5	Peso (g)	50	3,91	0,49	12,45	2,92	5,00
	Longitud (cm)	50	4,17	0,21	5,08	3,69	4,55
	Diámetro (cm)	50	1,98	0,07	3,46	1,81	2,15
Árbol 6	Peso (g)	50	3,42	0,43	12,67	2,61	4,11
	Longitud (cm)	50	3,98	0,22	5,58	3,45	4,29
	Diámetro (cm)	50	2,06	0,10	4,88	1,86	2,23

DE: Desviación estándar; CV: Coeficiente de variación

En contraste, Rodríguez et al. (2001) reportaron para *C. odorata* un peso promedio de 4,16 g, valor superior al encontrado en este estudio, lo que sugiere que en ambientes tropicales como Tingo María el peso de los frutos se mantiene dentro de rangos moderados. Por otro lado, Alvarado (2011) documentó en *Swietenia macrophylla* frutos con peso promedio de 288,62 g y longitud de 13,92 cm, valores ampliamente superiores que reflejan la marcada variabilidad interespecífica dentro de la familia Meliaceae.

De manera similar, Potesta (2020) reportó en *Nectandra oppositifolia* frutos con peso de 2,83 g y longitud de 1,71 cm, mientras que Inocente (2023) encontró en *Calycophyllum spruceanum* frutos de apenas 0,0279 g. Estas diferencias evidencian que la morfometría del fruto está determinada por la arquitectura reproductiva propia de cada especie y sus adaptaciones ecológicas.

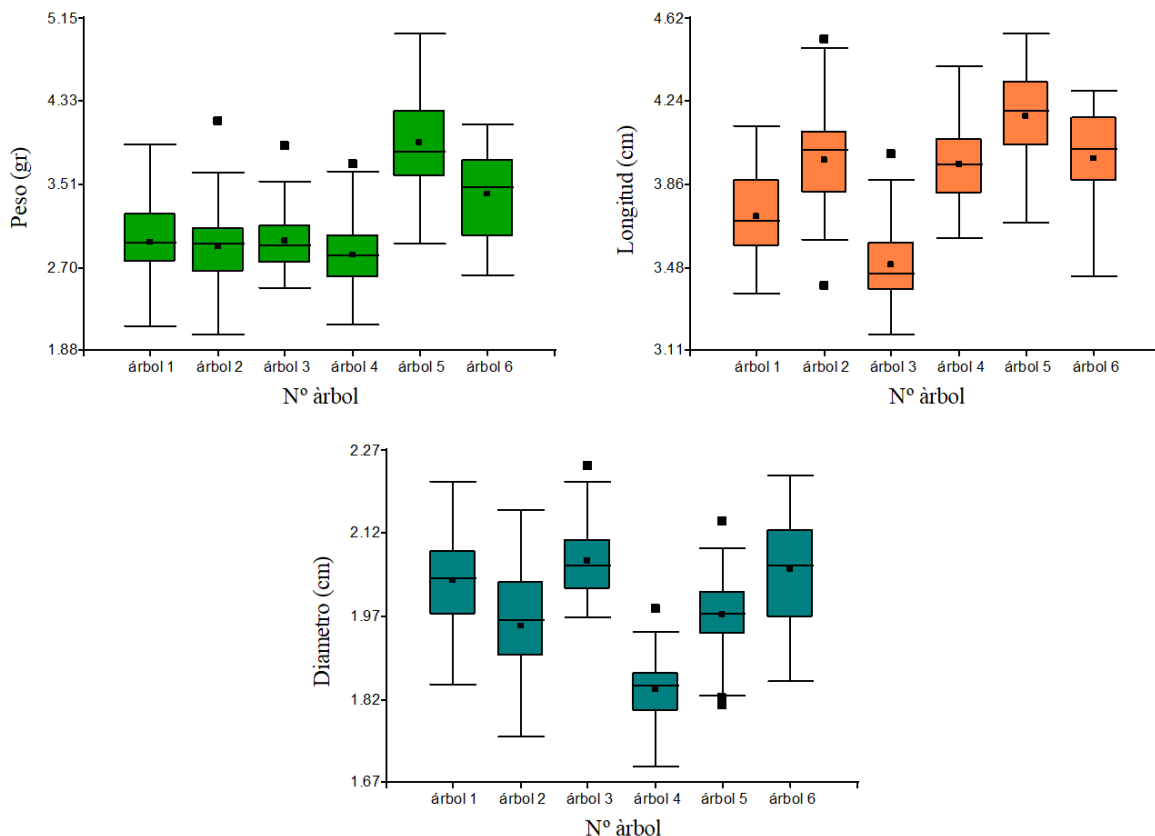


Figura 3. Diagramas de caja: (A) Peso (g); (B) Longitud (cm); (C) Diámetro (cm) por árbol]

2.2. Correlaciones entre variables morfométricas

El análisis de correlación de Pearson reveló asociaciones significativas entre las variables morfométricas evaluadas (**Tabla 2** y **Figura 4**). Se encontró una correlación positiva fuerte y significativa entre el peso y la longitud del fruto ($r = 0,674$; $p < 0,001$), así como una correlación positiva moderada entre el peso y el diámetro del fruto ($r = 0,457$; $p < 0,001$). No se observó una relación significativa entre la longitud y el diámetro del fruto ($r = 0,002$; $p = 0,974$), lo que indica que estas dimensiones varían de manera independiente

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson para las características morfológicas de frutos de *Cedrela odorata* (n = 300).

Variable	Peso (g)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
Peso (g)	1	0,674***	0,457***
Longitud (cm)		1	0,002 ns
Diámetro (cm)			1

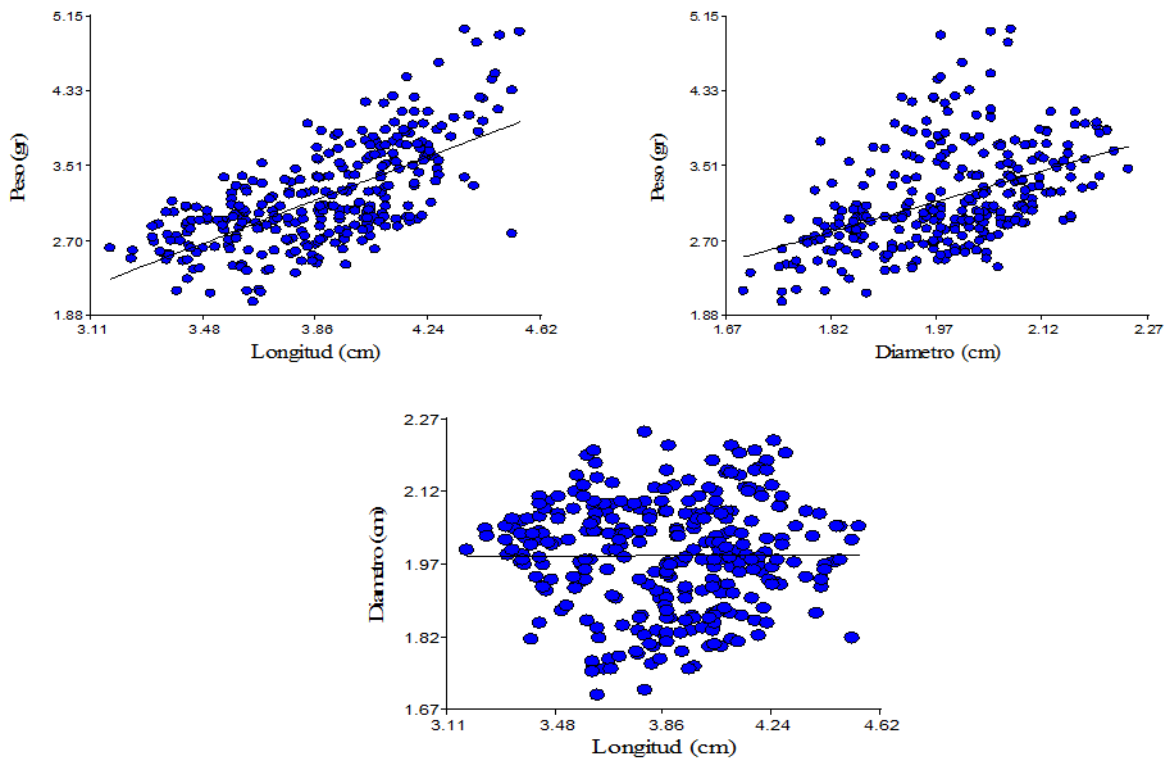


Figura 4. Diagramas de dispersión: (A) Peso vs Longitud; (B) Peso vs Diámetro; (C) Longitud vs Diámetro, con rectas de regresión y bandas de confianza]

La correlación significativa entre peso-longitud y peso-diámetro concuerda con los hallazgos de Niembro et al. (2007) en *S. macrophylla*, quienes identificaron que frutos más largos y anchos tienden a acumular mayor biomasa. Sin embargo, la ausencia de correlación entre longitud y diámetro en *C. odorata* difiere de lo reportado por Rosas (2019), quien encontró una relación positiva en distintos morfotipos de la misma especie en Tingo María.

Estas discrepancias podrían atribuirse a la plasticidad fenotípica de la especie o a variaciones en la asignación de recursos durante el desarrollo del fruto. Mendizábal et al. (2013) sugieren que factores ambientales como la disponibilidad de agua y nutrientes pueden influir en la morfometría final de los frutos, generando respuestas diferenciales en las dimensiones del fruto según las condiciones específicas de cada individuo.

2.3. Semillas desarrolladas y subdesarrolladas

El análisis del número de semillas por fruto mostró diferencias entre los árboles evaluados (**Tabla 3 y Figura 5**). El número de semillas desarrolladas (NSD) varió entre 25,72 (árbol 2) y 31,64 (árbol 3), mientras que las semillas subdesarrolladas (NSSD) fluctuaron entre 18,24 (árbol 3) y 22,88 (árbol 2). En todos los árboles evaluados, el promedio de semillas desarrolladas superó al de subdesarrolladas.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del número de semillas desarrolladas y subdesarrolladas por fruto de *Cedrela odorata*.

Árbol	Variable	n	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
Árbol 1	NSD	50	26,68	3,01	11,27	19	33
	NSSD	50	22,08	2,62	11,85	16	29
Árbol 2	NSD	50	25,72	3,76	14,63	13	31
	NSSD	50	22,88	3,99	17,43	17	36
Árbol 3	NSD	50	31,64	2,48	7,84	25	38
	NSSD	50	18,24	2,38	13,04	12	26
Árbol 4	NSD	50	27,64	2,47	8,94	22	32
	NSSD	50	21,22	2,28	10,74	17	27
Árbol 5	NSD	50	29,16	2,15	7,38	22	34
	NSSD	50	19,58	2,20	11,26	15	27
Árbol 6	NSD	50	29,74	3,05	10,25	23	35
	NSSD	50	18,64	2,84	15,24	13	25

NSD: Número de semillas desarrolladas; NSSD: Número de semillas subdesarrolladas

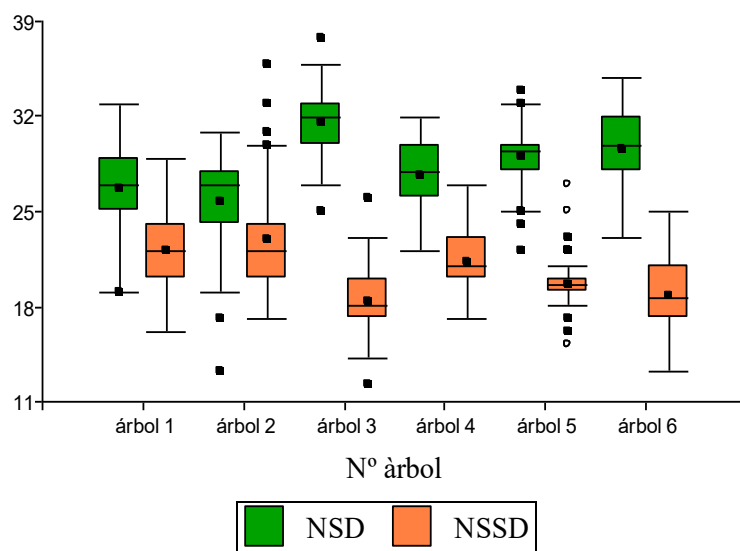


Figura 5. Diagrama de cajas para semillas desarrolladas y subdesarrolladas.

El árbol 3 presentó la mayor media de semillas desarrolladas (31,64) con la menor variabilidad ($CV = 7,84 \%$), mientras que el árbol 2 mostró la menor media de NSD (25,72) y la mayor variabilidad en semillas subdesarrolladas ($CV = 17,43 \%$). Estas diferencias sugieren que la producción de semillas desarrolladas varía entre individuos, posiblemente debido a factores genéticos o ambientales como la disponibilidad de recursos y las condiciones de polinización.

Los valores de NSD obtenidos (25,72–31,64) superan los reportados por Rodríguez et al. (2001), quienes documentaron 23 semillas desarrolladas por fruto en poblaciones mexicanas, y por Rosas (2019), quien encontró entre 22,93 y 24,8 semillas desarrolladas en Tingo María. Esta mayor producción podría atribuirse a condiciones ambientales favorables durante el periodo de floración y fructificación, así como a una polinización más efectiva en los árboles seleccionados.

En comparación con otras especies, Alvarado (2011) reportó en *S. macrophylla* 51,34 semillas desarrolladas por fruto, valor superior a los encontrados en *C. odorata*, reflejando diferencias en la inversión reproductiva entre ambas especies. Por otro lado, el número de semillas subdesarrolladas en este estudio (18,24–22,88) fue inferior al reportado por FAO (1995), que documentó 31 semillas malformadas por fruto en *C. odorata* en Campeche, México, lo que sugiere una mejor calidad polínica o menores niveles de estrés ambiental en la población evaluada.

2.4. Potencial y eficiencia de producción de semillas

El potencial de producción de semillas por fruto (PPS) mostró valores relativamente estables entre los árboles evaluados, con medias que oscilaron entre 48,38 y 49,88 semillas por fruto y coeficientes de variación bajos ($2,28 \%$ – $4,20 \%$), lo que indica una alta uniformidad en la capacidad reproductiva potencial de los individuos evaluados (**Tabla 4 y Figura 6**).

En contraste con el PPS, la eficiencia de producción de semillas (EPS) presentó una mayor variabilidad entre árboles, con valores que fluctuaron entre $52,96 \%$ (árbol 2) y $63,43 \%$ (árbol 3). El árbol 3 destacó con la mayor eficiencia y la menor variabilidad ($CV = 7,41 \%$), mientras que el árbol 2 mostró la menor eficiencia y la mayor dispersión ($CV = 14,39 \%$), lo que sugiere diferencias en la conversión del potencial reproductivo en semillas viables.

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata*.

Árbol	Variable	n	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
Árbol 1	PPS	50	48,76	2,00	4,09	38	51
	EPS (%)	50	54,67	5,36	9,80	42,00	67,35
Árbol 2	PPS	50	48,60	2,04	4,20	41	52
	EPS (%)	50	52,96	7,62	14,39	26,53	64,58
Árbol 3	PPS	50	49,88	1,14	2,28	46	54
	EPS (%)	50	63,43	4,70	7,41	49,02	76,00
Árbol 4	PPS	50	48,86	1,65	3,38	44	52
	EPS (%)	50	56,56	4,56	8,06	45,83	65,31
Árbol 5	PPS	50	48,74	1,41	2,90	44	51
	EPS (%)	50	59,84	4,27	7,13	44,90	68,75
Árbol 6	PPS	50	48,38	1,99	4,11	43	52
	EPS (%)	50	61,46	5,74	9,34	48,94	71,11

PPS: Potencial de producción de semillas; EPS: Eficiencia de producción de semillas

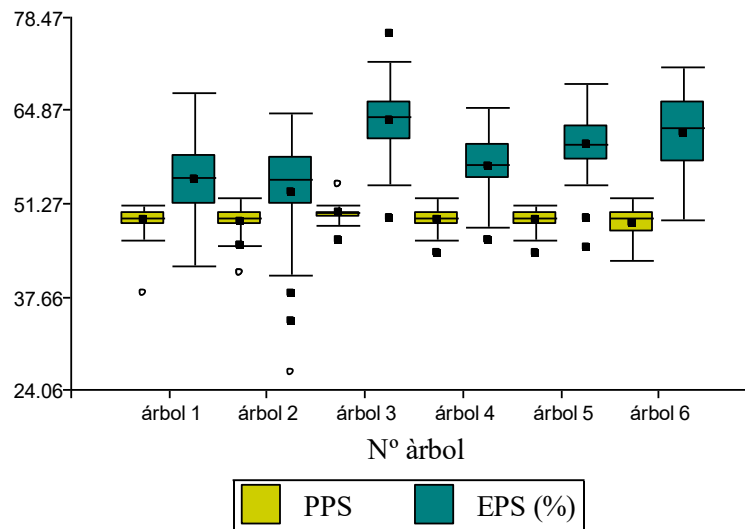


Figura 6. Diagrama de cajas para potencial de producción de semillas.

Los valores de PPS obtenidos (48,38–49,88) son superiores a los reportados por Márquez et al. (2020), quienes documentaron 39,13 semillas por fruto en Veracruz, México, y por Rosas (2019), quien reportó 44 semillas por fruto en Tingo María. Esta mayor capacidad reproductiva podría estar asociada a la selección de árboles con características fenotípicas superiores y a condiciones ambientales favorables en el Jardín Botánico de la UNAS.

La EPS promedio (52,96 %–63,43 %) fue superior a la reportada por Inocente (2023) en *C. spruceanum* (45 %) y por FAO (1995) en *C. odorata* (45 %), pero inferior a la observada en *S. macrophylla* por Niembro y Ramírez (2006) (72,63 %). Mendizábal et al. (2012) reportaron para *C. odorata* una EPS promedio de 50,3 %, con un rango entre 37,32 % y 64,93 %, valores que coinciden con los rangos observados en el presente estudio, confirmando que la variabilidad en la eficiencia reproductiva es una característica inherente a la especie.

2.5. Eficiencia de germinación y producción de semillas viables

La eficiencia de germinación de semillas (EGS) fue consistentemente alta en todos los árboles evaluados, con valores promedio entre 95,84 % (árbol 4) y 98,91 % (árbol 5), lo que indica un excelente potencial germinativo de las semillas desarrolladas (**Tabla 5 y Figura 7**). Sin embargo, se observó una mayor variabilidad en el árbol 4 (CV = 7,86 %), sugiriendo diferencias en la calidad fisiológica de las semillas entre individuos.

La eficiencia de producción de semillas viables por fruto (EPSV) mostró una variabilidad considerable entre árboles, con valores que oscilaron entre 51,89 % (árbol 2) y 62,47 % (árbol 3). Esta variabilidad fue más pronunciada que la observada en la EGS, lo que sugiere que, aunque las semillas desarrolladas tienen alta capacidad de germinación, la proporción de semillas realmente viables respecto al potencial total del fruto está influenciada por factores que afectan el desarrollo inicial de las semillas.

Los valores de EGS obtenidos (95,84 %–98,91 %) superan ampliamente los reportados por Inocente (2023) en *C. spruceanum* (60,15 %), por FAO (1995) en *C. odorata* (59 %), e incluso son superiores a los documentados por Potesta (2020) en *N. oppositifolia* (92 %). Esta alta eficiencia germinativa puede atribuirse a la calidad fisiológica de las semillas recolectadas, al adecuado manejo post-cosecha y a las condiciones controladas de germinación in vitro.

La EPSV (51,89 %–62,47 %) fue superior a la reportada por Niembro y Ramírez (2006) en *S. macrophylla* (55,48 %) y por Inocente (2023) en *C. spruceanum* (27,72 %), pero inferior a la energía germinativa de *N. oppositifolia* reportada por Potesta (2020) (78,92 %). Estas diferencias reflejan estrategias reproductivas contrastantes: mientras que *C. odorata* produce una mayor cantidad de semillas con alta eficiencia de germinación, otras especies pueden invertir en menor número de semillas, pero con mayor viabilidad individual.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos de la eficiencia de germinación y producción de semillas viables por fruto de *Cedrela odorata*.

Nº árbol	Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
árbol 1	EGS (%)	50	97,39	4,38	4,50	83,33	100,00
	EPSV (%)	50	53,26	5,88	11,04	42,00	67,35
árbol 2	EGS (%)	50	98,03	4,11	4,19	77,78	100,00
	EPSV (%)	50	51,89	7,67	14,78	26,53	63,27
árbol 3	EGS (%)	50	98,44	2,72	2,76	88,00	100,00
	EPSV (%)	50	62,47	5,22	8,36	43,14	76,00
árbol 4	EGS (%)	50	95,84	7,54	7,86	64,29	100,00
	EPSV (%)	50	54,27	6,54	12,05	33,33	65,31
árbol 5	EGS (%)	50	98,91	3,10	3,13	82,14	100,00
	EPSV (%)	50	59,18	4,48	7,57	44,90	68,75
árbol 6	EGS (%)	50	98,15	3,46	3,53	85,71	100,00
	EPSV (%)	50	60,36	6,32	10,47	46,94	71,11

EGS: Eficiencia de germinación de semillas; EPSV: Eficiencia de producción de semillas viables por fruto; Min: mínimo; Max: Máximo; D.E: Desviación estándar; CV (%): Coeficiente de variación

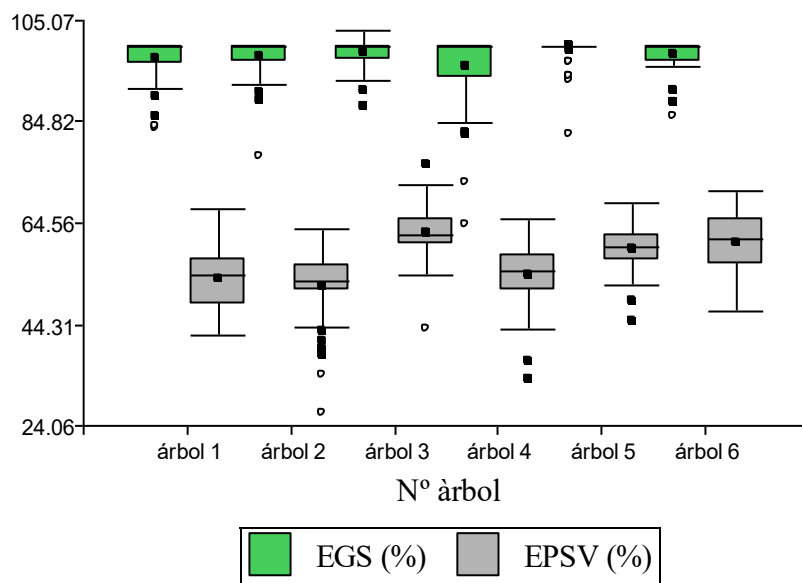


Figura 7. Diagrama de cajas de la eficiencia de germinación de semillas y la eficiencia de producción de semillas viables por fruto de *C. odorata*.

2.6. Análisis de correlación entre variables evaluadas

El análisis de correlación de Pearson reveló asociaciones significativas entre múltiples variables evaluadas (**Tabla 6 y Figura 8**), proporcionando información clave sobre los factores que determinan el éxito reproductivo de *C. odorata*.

Relaciones entre eficiencias reproductivas: Se encontró una correlación positiva fuerte entre la eficiencia de producción de semillas (EPS) y la eficiencia de producción de semillas viables (EPSV) ($r = 0,935$; $p < 0,001$), lo que indica que una mayor eficiencia en la producción de semillas desarrolladas se traduce directamente en una mayor producción de semillas viables. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Niembro y Ramírez (2006) en *S. macrophylla*.

Tabla 6. Matriz de correlación de Pearson entre las variables morfológicas y reproductivas evaluadas en *Cedrela odorata* ($n = 300$).

Variable	Estadísticos	PF (gr)	LF (cm)	DF (cm)	EPS (%)	EGS (%)	EPSV (%)	NSD	NSSD	PPS	NSG
PF (gr)	R de Pearson	—	0,674	0,457	0,309	0,12	0,319	0,305	-0,288	0,067	0,318
	gl	—	298	298	298	298	298	298	298	298	298
	valor p	—	<0,001	<0,001	<0,001	0,037	<0,001	<0,001	<0,001	0,248	<0,001
LF (cm)	R de Pearson	0,674	—	0,002	0	0,04	0,013	-0,035	-0,021	-0,105	-0,018
	gl	298	—	298	298	298	298	298	298	298	298
	valor p	<0,001	—	0,974	0,995	0,493	0,818	0,552	0,719	0,069	0,75
DF (cm)	R de Pearson	0,457	0,002	—	0,307	0,119	0,318	0,342	-0,261	0,188	0,352
	gl	298	298	—	298	298	298	298	298	298	298
	valor p	<0,001	0,974	—	<0,001	0,039	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
EPS (%)	R de Pearson	0,309	0	0,307	—	0,111	0,935	0,956	-0,971	0,083	0,909
	gl	298	298	298	—	298	298	298	298	298	298
	valor p	<0,001	0,995	<0,001	—	0,054	<0,001	<0,001	<0,001	0,151	<0,001
EGS (%)	R de Pearson	0,12	0,04	0,119	0,111	—	0,453	0,09	-0,122	-0,047	0,417
	gl	298	298	298	298	—	298	298	298	298	298
	valor p	0,037	0,493	0,039	0,054	—	<0,001	0,119	0,035	0,415	<0,001
EPSV (%)	R de Pearson	0,319	0,013	0,318	0,935	0,453	—	0,889	-0,913	0,058	0,963
	gl	298	298	298	298	298	—	298	298	298	298
	valor p	<0,001	0,818	<0,001	<0,001	<0,001	—	<0,001	<0,001	0,316	<0,001
NSD	R de Pearson	0,305	-0,035	0,342	0,956	0,09	0,889	—	-0,861	0,37	0,942
	gl	298	298	298	298	298	298	—	298	298	298
	valor p	<0,001	0,552	<0,001	<0,001	0,119	<0,001	—	<0,001	<0,001	<0,001
NSSD	R de Pearson	-0,288	-0,021	-0,261	-0,971	-0,122	-0,913	-0,861	—	0,155	-0,825
	gl	298	298	298	298	298	298	298	—	298	298
	valor p	<0,001	0,719	<0,001	<0,001	0,035	<0,001	<0,001	—	0,007	<0,001
PPS	R de Pearson	0,067	-0,105	0,188	0,083	-0,047	0,058	0,37	0,155	—	0,322
	gl	298	298	298	298	298	298	298	298	—	298
	valor p	0,248	0,069	0,001	0,151	0,415	0,316	<0,001	0,007	—	<0,001
NSG	R de Pearson	0,318	-0,018	0,352	0,909	0,417	0,963	0,942	-0,825	0,322	—
	gl	298	298	298	298	298	298	298	298	298	—
	valor p	<0,001	0,75	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	—

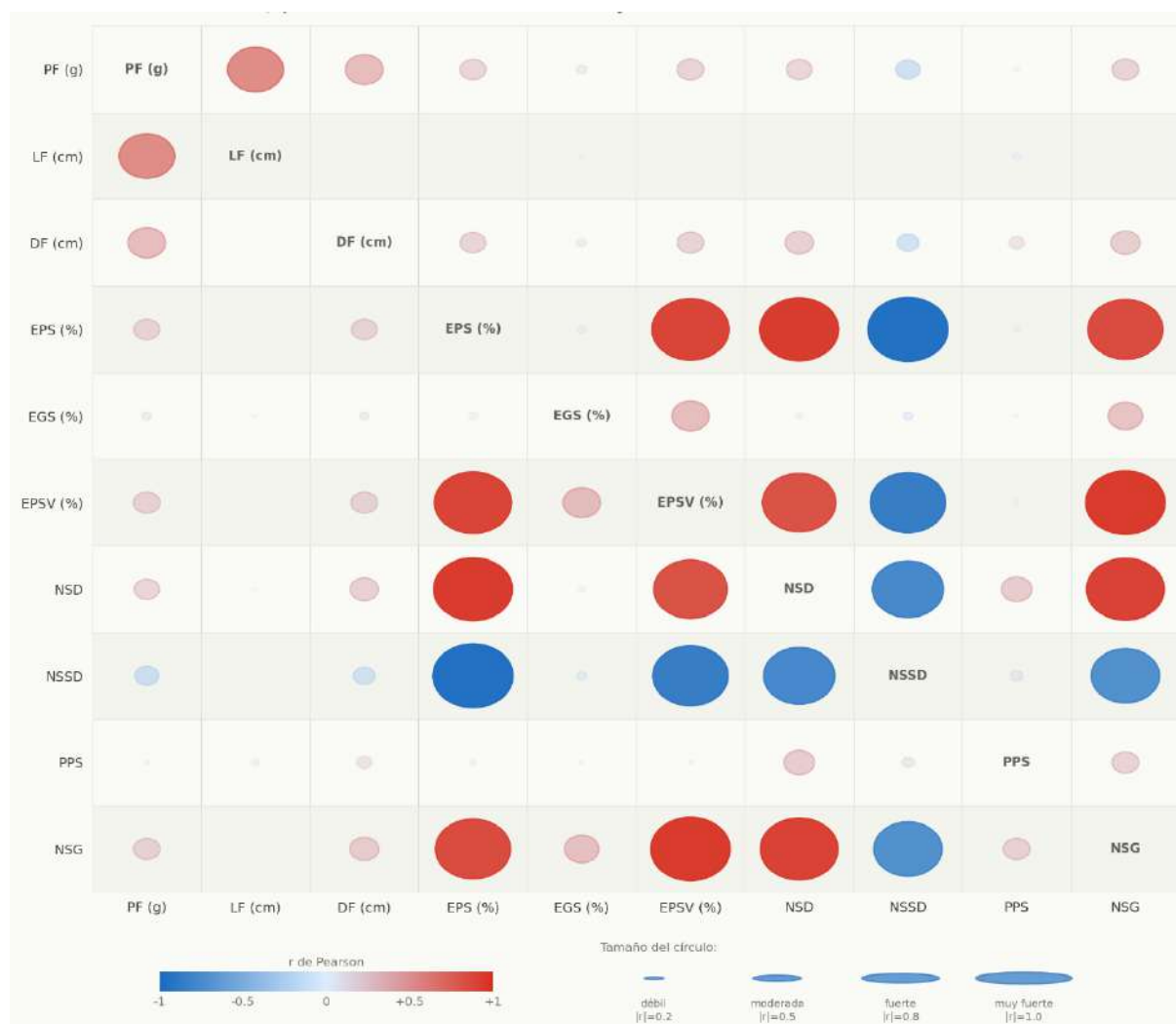


Figura 8. Corrplot de entre las variables morfométricas y reproductivas evaluadas en *Cedrela odorata*

Determinantes de la eficiencia: Se observó una correlación positiva muy fuerte entre EPS y número de semillas desarrolladas (NSD) ($r = 0,956$; $p < 0,001$), y una correlación negativa fuerte entre EPS y número de semillas subdesarrolladas (NSSD) ($r = -0,971$; $p < 0,001$). Estos resultados confirman que la eficiencia de producción está determinada principalmente por la proporción de semillas desarrolladas.

Relación con la germinación: La correlación positiva fuerte entre EPSV y número de semillas germinadas (NSG) ($r = 0,963$; $p < 0,001$), así como entre NSD y NSG ($r = 0,942$; $p < 0,001$), evidencia que el éxito final en la obtención de plántulas está directamente relacionado con la producción de semillas desarrolladas.

Influencia de la morfometría: Las variables morfométricas mostraron correlaciones positivas significativas con las variables reproductivas, aunque de menor

magnitud (r entre 0,305 y 0,457). El peso del fruto (PF) y el diámetro (DF) presentaron correlaciones significativas con EPS, EPSV, NSD y NSG ($p < 0,001$), mientras que la longitud del fruto (LF) no mostró correlación significativa con ninguna variable reproductiva. Estos resultados sugieren que, si bien el tamaño del fruto influye en la producción de semillas, otros factores como la calidad de la polinización y las condiciones durante el desarrollo del fruto pueden tener un papel más determinante en el éxito reproductivo final (Rodríguez et al., 2001; Mendizábal et al., 2012).

Conclusiones

Los frutos de *Cedrela odorata* presentaron una variabilidad morfométrica moderada entre árboles, siendo el peso la característica más variable (CV: 10,12 %–14,12 %), seguido por la longitud (CV: 4,74 %–5,65 %) y el diámetro (CV: 3,04 %–5,38 %), observándose una correlación positiva significativa entre el peso y la longitud del fruto ($r = 0,674$; $p < 0,001$), así como entre el peso y el diámetro ($r = 0,457$; $p < 0,001$), mientras que no existió relación entre la longitud y el diámetro, lo que indica que la longitud es el principal determinante del peso del fruto. El potencial de producción de semillas (PPS) se mantuvo estable entre árboles (48,38–49,88 semillas por fruto), mientras que la eficiencia de producción (EPS) presentó mayor variabilidad (52,96 %–63,43 %), evidenciando diferencias en la conversión del potencial reproductivo en semillas viables. La eficiencia de germinación (EGS) fue notablemente alta (95,84 %–98,91 %), demostrando un excelente potencial germinativo de las semillas desarrolladas, aunque la eficiencia de producción de semillas viables por fruto (EPSV) mostró una variabilidad considerable (51,89 %–62,47 %), lo que sugiere que, si bien las semillas desarrolladas germinan en alta proporción, la viabilidad final está condicionada por factores como la calidad de la polinización y las condiciones ambientales durante la fructificación.

El análisis de correlación reveló asociaciones altamente significativas entre las variables reproductivas, destacando la correlación positiva entre EPS y EPSV ($r = 0,935$; $p < 0,001$), entre EPS y el número de semillas desarrolladas ($r = 0,956$; $p < 0,001$), y la correlación negativa entre EPS y semillas subdesarrolladas ($r = -0,971$; $p < 0,001$), confirmando que la eficiencia reproductiva está determinada principalmente por la proporción de semillas desarrolladas. Finalmente, los resultados permiten identificar al árbol 3 como el de mayor eficiencia reproductiva (EPS: 63,43 %; EPSV: 62,47 %) y al

árbol 5 como el de mayor desarrollo morfométrico (peso: 3,91 g; longitud: 4,17 cm), constituyéndose como fuentes semilleras prioritarias para programas de reforestación, restauración ecológica y conservación genética en la Amazonía peruana.

Referencias

Alderete, A., & Márquez, J. (2004). Variación en frutos de *Cedrela odorata* L. y determinación de su potencial y eficiencia de producción de semillas en el estado Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 6(1), 5-8. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49760102.pdf>

Alvarado, F. (2011). *Caracterización morfológica de caracteres biométricos de frutos de caoba (Swietenia macrophylla King.) en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/a95bcc1c-29f1-42cd-8fc0-083a4ce64266>

Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina [APFAL]. (1995). Producción de semillas de Cedro *Cedrela odorata* L. bajo condiciones naturales en Campeche, México. En A. Niembro Rocas (Ed.), *Simpósio*. CATIE.

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES]. (2019). *Apéndices I, II y III*. <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2019/S-Appendices-2019-11-26.pdf>

Cruz, M. A. (2018). *Morfometría, germinación y estimación de constantes de emergencia en semillas de bolaina blanca (Guazuma crinita C. Mart.) para la producción de plantones en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/d2ffb486-7b19-4395-9770-49683622418f>

FAO. (1995). *Producción de semillas forestales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

FAO. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Gálvez, L., Vallejo Reyna, M. A., Méndez Espinoza, C., & López Upton, J. (2020). *Cedrela odorata* L.: Oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58), 4–25. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>

Holdridge, L. R. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. <https://repositorio.iica.int/items/1133111c-6a7a-4a9a-bc12-e87b2d68d824>

Inocente, C. E. (2023). *Caracterización morfométrica del fruto, potencial y eficiencia de producción de semillas de capirona (Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook. f. ex K. Schum.) en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/65877f39-f05c-44ef-8061-e3e2f98cba84>

International Seed Testing Association [ISTA]. (2022). International rules for seed testing. <https://www.seedtest.org/en/publications/international-rules-seed-testing.html>

Márquez, J. (2007). *Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de Pinus oaxacana* Mirov [Tesis doctoral, Universidad Veracruzana]. <https://www.uv.mx/iif/files/2014/10/Tesis-J-Marquez-Doc.pdf>

Márquez, J., Cruz, H., Alba, J., Mendizábal, L., & Ramírez, E. (2020). *Cedrela odorata* L. Variación en la producción de semillas en dos sitios de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 22(1), 25–33. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49765033008>

Márquez, J., Cruz, J., Alba, J., Mendizábal, L., Ramírez, E., & Grajales, E. (2021). Variación de semillas de *Cedrela odorata* L. en dos sitios de La Balsa, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 23(1), 13–22. <https://www.redalyc.org/journal/497/49768568005/html/>

Mendizábal-Hernández, L. del C., Hernández-Viveros, J. J., & Alba-Landa, J. (2013). Estudio de conos y semillas de *Cedrela odorata* L. en una generación parental y una generación filial. *Foresta Veracruzana*, 15(1), 45–51. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49728291006>

Mendizábal-Hernández, L. del C., Márquez, J., Alba, J., Ramírez, E., & Cruz, H. (2012). Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. *Foresta Veracruzana*, 14(2), 31–36. <https://www.redalyc.org/journal/497/49728290005/html/>

Niembro Rocas, A., Ramírez-García, E. O., & Aparicio-Rentería, A. (2007). Correlación entre características de frutos de *Swietenia macrophylla* King con su contenido de semillas desarrolladas. *Foresta Veracruzana*, 9(1), 49–53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49790108>

Niembro Rocas, A., & Ramírez-García, E. O. (2006). Evaluación de la cantidad y calidad biológica de semillas de caoba [*Swietenia macrophylla* King–Meliaceae] procedentes de una plantación en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 8(1), 23–30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49780105>

Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre [OSINFOR]. (2013). *Protocolo para la herborización: colección y preservado de ejemplares botánicos en procesos de supervisión forestal*. Lima, Perú.

Potesta, L. K. (2020). *Caracterización del fruto, germinación, desarrollo de plántulas y longevidad de semillas de moena amarilla (Nectandra oppositifolia Nees & Mart.) en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/883d3350-4d97-41e5-8380-dfd1e7a8aa7e>

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Rodríguez Rivas, G., Márquez Ramírez, J., & Rebolledo-Camacho, V. (2001). Determinación del potencial y eficiencia de producción de semillas en *Cedrela odorata* L. y su relación con caracteres morfológicos de frutos. *Foresta Veracruzana*, 3(1), 23–26. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49730104.pdf>

Rosas, K. E. (2019). *Morfometría de frutos y semillas de dos morfotipos de cedro colorado (Cedrela odorata L.) en Tingo María* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/items/109f0216-d044-4d7b-acb2-a01a6c0b71d0>

Conflicto de interés

Los autores de este manuscrito declaran no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

Los autores declaran que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La **Revista Latinoamericana de Difusión Científica** declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista.

Licencia CreativeCommons

Esta obra está bajo una Licencia CreativeCommons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

