Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 17 (95)
Mayo - Junio (2026)

DOI: 10.29298/rmcf.v17i95.1615

Artículo de investigación

Variabilidad fenotípica de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum. en la Amazonía peruana

Phenotypic variability of *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum. in the Peruvian Amazonia

Gorky Florez-Castillo[1], Yicelia Maura Mamani Mariaca[1], Sharmely Hilares Vargas[1]*

Fecha de recepción/Reception date: 30 de octubre de 2025.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de abril de 2026.

[1]Estación Experimental Agraria San Bernardo, Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Perú.

*Autor para correspondencia; correo-e: shilares@inia.gob.pe
*Corresponding author; e-mail: shilares@inia.gob.pe

Resumen

Calycophyllum spruceanum, comúnmente conocido como "capirona", es un árbol nativo de la Amazonía peruana, con relevancia ecológica, cultural y económica por sus diversos usos. Sin embargo, persisten vacíos respecto a los rasgos morfológicos que aportan de forma significativa a su diversidad genética. Este estudio evaluó 18 individuos de *C. spruceanum in situ* mediante 34 descriptores morfológicos (hoja, flor, fruto y semilla) cualitativos y cuantitativos, y seis dasométricos en dos tipos de bosque de la provincia de Tambopata, Madre de Dios. Los resultados confirmaron alta variabilidad en caracteres dasométricos (*CV*>35 % para altura y *DN*), independientemente del tipo de bosque ($p>0.05$). El análisis de correspondencias múltiples reveló una asociación estrecha entre descriptores de hoja y flor (41.9 % variabilidad). Simultáneamente, el análisis de componentes principales explicó 44.6 % de la varianza total mediante dos ejes asociados a morfología foliar y reproductiva, lo que permitió el agrupamiento de los individuos en tres grupos morfológicos distintos: uno con énfasis vegetativo y dos con potencial reproductivo favorable. Las asociaciones fuertes ($r\geq0.7$) entre rasgos foliares y reproductivos sustentan esta clasificación. Estos hallazgos validan el uso de dichos descriptores como línea base para la identificación de fenotipos promisorios y constituye un aporte esencial para establecer bancos de germoplasma *ex situ* orientados a la conservación y el mejoramiento genético de la especie en la Amazonía peruana.

Palabras clave: Banco de germoplasma, capirona, conservación de recursos genéticos, diversidad genética, morfología vegetal, tipos de bosque.

Abstract

Calycophyllum spruceanum, commonly known as "*capirona*", is a tree native to the Peruvian Amazonia, with ecological, cultural and economic importance due to its diverse uses. However, gaps remain in understanding of the morphological traits that significantly contribute to its genetic diversity. This study evaluated 18 *C. spruceanum* individuals *in situ* using 34 qualitative and quantitative morphological descriptors (leaf, flower, fruit and seed) and 6 forest descriptors in two forest types in the *Tambopata* province, *Madre de Dios*. The results confirmed high variability in forest characteristics (*CV*>35 % for height and *DBH*), regardless of forest type ($p>0.05$). Multiple correspondence analysis revealed a close association between leaf and flower descriptors (41.9 % variability). Simultaneously, principal component analysis explained 44.6 % of the total variance using two axes associated with leaf and reproductive morphology, allowing the grouping of individuals into three distinct morphological groups: one with a vegetative emphasis and two with favorable reproductive potential. Strong correlations ($r\geq0.7$) between leaf and reproductive traits support this classification. These findings validate the use of these descriptors as a baseline for identifying promising phenotypes and constitute an essential contribution to establishing *ex situ* germplasm banks aimed at the conservation and genetic improvement of the species in the Peruvian Amazonia.

Keywords: Germplasm banks, *capirona*, genetic resources conservation, genetic diversity, plant morphology, forests types.

Introducción

Calycophyllum spruceanum (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum., comúnmente conocida como capirona (familia Rubiaceae, subfamilia Ixoroide) es un árbol nativo de la cuenca amazónica (Reynel et al., 2003). En Perú, se distribuye en regiones clave como Amazonas, Huánuco, Junín, Loreto, Madre de Dios, San Martín, Pasco y Ucayali (Flores-Bendezú, 2018; Saldaña et al., 2021); forma poblaciones densas denominadas "capironales" en bosques primarios y secundarios de terrazas bajas, inundables y de tierra firme (Flores-Bendezú, 2018; Freitas-Alvarado et al., 2021). Posee notable capacidad adaptativa, se desarrolla en altitudes por debajo de los 1 200 m, en suelos aluviales y bajo regímenes de precipitación superiores a 2 500 mm anuales (Reynel et al., 2003).

La capirona tiene un destacado valor ecológico, cultural, medicinal y particularmente económico debido a la alta calidad de su madera y rápido crecimiento (Duke, 2008; Peixoto et al., 2018; Ugarte-Guerra & Domínguez-Torrejón, 2010; Egoavil-Cueva-Gálvez et al., 2023). En la Amazonía peruana, la demanda de especies maderables de rápido crecimiento para plantaciones y sistemas agroforestales se ha incrementado (Cornelius et al., 2018), lo que ha posicionado a *C. spruceanum* como promisoria para

la diversificación económica y la recuperación de áreas degradadas por minería aluvial. Sin embargo, para aprovechar este potencial, es prioritaria su conservación y establecer programas de mejoramiento genético que aseguren la sostenibilidad del recurso a largo plazo.

Además de su importancia ecológica y económica, comprender la variación genética y fenotípica de la especie es esencial para su conservación, adaptación al cambio climático y aprovechamiento sostenible (Flores et al., 2019). Estudios previos de diversidad genética en capirona describen alta variabilidad entre individuos de la misma población, pero baja entre procedencias (Russell et al., 1999; Sotelo-Montes et al., 2006; Saldaña et al., 2021). Asimismo, Tauchen et al. (2011) refieren que la variabilidad fenotípica de la capirona es mayor que la genética debido a una fuerte influencia ambiental. No obstante, la mayoría de los estudios de variabilidad fenotípica de capirona se han centrado en propiedades tecnológicas de la madera (color, densidad, contracción) y descriptores dasométricos básicos (Sotelo-Montes et al., 2007a, 2007b), pero dejan un vacío de conocimiento significativo respecto a la variabilidad morfológica de estructuras vegetativas y reproductivas en poblaciones naturales *in situ*, las cuales son indicadores cruciales para la selección temprana de genotipos superiores.

La caracterización morfológica mediante descriptores estandarizados permite identificar patrones de variación que pueden no ser evidentes solo con datos dasométricos, lo que facilita la gestión de bancos de germoplasma. Por lo tanto, este estudio tuvo dos objetivos: (1) comparar las variables dasométricas de *C. spruceanum* entre bosques de terraza alta y bosques de terraza baja, y (2) identificar agrupamientos morfológicos mediante el uso de descriptores cualitativos y cuantitativos de hoja, flor, fruto y semilla para identificar fenotipos con potencial vegetativo o reproductivo. En este contexto, las hipótesis planteadas son: (a) existen diferencias significativas en las variables dasométricas entre los tipos de bosque, y (b) las variables cuantitativas y cualitativas presentan asociaciones fuertes que facilitan la agrupación de los individuos con base en sus características vegetativas o reproductivas superiores.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó entre febrero de 2023 y noviembre de 2024 correspondiente a dos campañas completas en poblaciones naturales de *C. spruceanum* ubicados en Bosques de Terraza alta (BTa) y Bosques de Terraza baja (BTb), localizados en las comunidades de San Bernardo y Aguas Negras, distrito de Tambopata, provincia de Tambopata, región Madre de Dios, Perú. El área presenta un clima cálido y húmedo (Aw) con temperatura media anual de 26.5 °C, humedad relativa de 84.7 % y precipitaciones anuales superiores a 2 100 mm (1981-2010) (Castro et al., 2021). El área corresponde a formaciones de terrazas bajas y altas de la ecorregión natural de bosques húmedos amazónicos (Ministerio del Ambiente, 2015; Britto, 2017). El muestreo estuvo conformado por un total de 18 individuos distribuidos entre ambos tipos de bosque (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización geográfica de los 18 individuos de capirona.

Tipo de bosque	Código	Sector	Latitud	Longitud	Altitud (m)
BTb	Acc1	Aguas negras	12°39'5.838" S	69°26'13.05" O	191
BTb	Acc2	Aguas negras	12°39'5.642" S	69°26'13.348" O	200
BTa	Acc3	Aguas negras	12°39'5.577" S	69°26'13.480" O	193
BTa	Acc4	Aguas negras	12°39'5.414" S	69°26'13.414" O	208
BTb	Acc5	Aguas negras	12°39'5.153" S	69°26'13.480" O	195
BTa	Acc6	Aguas negras	12°39'3.623" S	69°26'13.941" O	202
BTb	Acc7	Aguas negras	12°39'4.861" S	69°26'13.181" O	197
BTa	Acc8	Aguas negras	12°39'5.514" S	69°26'11.79" O	198
BTa	Acc9	Aguas negras	12°39'4.536" S	69°26'11.796" O	199

BTa	Acc10	Aguas negras	12°39'2.454" S	69°26'11.784" O	205
BTa	Acc11	Aguas negras	12°39'6.852" S	69°26'9.902" O	192
BTb	Acc12	Aguas negras	12°39'9.093" S	69°26'13.188" O	207
BTb	Acc13	Aguas negras	12°39'9.288" S	69°26'13.553" O	194
BTb	Acc14	Aguas negras	12°39'10.003" S	69°26'13.886" O	201
BTb	Acc15	Aguas negras	12°39'10.166" S	69°26'13.919" O	196
BTb	Acc16	Aguas negras	12°39'10.493" S	69°26'13.257" O	203
BTb	Acc17	San Bernardo	12°39'10.658" S	69°26'11.533" O	206
BTb	Acc18	Aguas negras	12°41'8.845" S	69°22'50.048" O	209

BTb = Bosque de terraza baja; BTa = Bosque de terraza alta.

La medición de los descriptores morfológicos de las muestras se llevó a cabo en las instalaciones del Módulo de Investigación de Recursos Genéticos de la Estación Experimental Agraria San Bernardo, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicada en el sector San Bernardo, distrito y provincia Tambopata, Madre de Dios, Perú.

Descriptores morfológicos

Para la colecta del material vegetal se seleccionaron 18 árboles con diámetro normal (*DN*; forcípula *Haglof*® Mantax Blue) mayor a 10 cm y en estado de madurez, a fin de tener una colecta completa en un mismo individuo en las diferentes etapas fenológicas (floración, fructificación y maduración). En campo (*in situ*), la altura total (m) y la altura comercial (m) se midieron mediante un dendrómetro electrónico *Criterion*® RD 1000. El diámetro normal (*DN*), número de ramas, diámetro de copa (m) y el volumen (m^3) de cada árbol se registraron para complementar el análisis morfológico. Posteriormente, 25 muestras de hojas, flores, frutos y semillas se recolectaron en diferentes partes del árbol.

Las muestras se trasladaron inmediatamente al laboratorio (Módulo de Investigación en Recursos Genéticos de la Estación Experimental Agraria San Bernardo, Instituto Nacional de Innovación Agraria) en fundas plásticas etiquetadas para su posterior medición.

La caracterización morfológica se realizó con 32 descriptores; entre ellos, 24 cuantitativos (Cuadro 2) y ocho cualitativos (Cuadro 3), de acuerdo con las siguientes categorías: hoja (7), flor (9), fruto (7) y semilla (9). Estos descriptores y sus categorías fueron planteados por Eras-Guamán et al. (2021) y Gutiérrez et al. (2020) para *Cinchona officinalis* L. y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl) DC*.* de la familia Rubiaceae, además se adaptaron los del *International Plant Genetic Resources Institute (*IPGRI, 1996).

Cuadro 2. Descriptores morfológicos cuantitativos evaluados en individuos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum.

Parte de la planta	Descriptor	Abreviatura
Hoja	Longitud del limbo foliar (cm)*	LLF
	Ancho de la base del limbo foliar (cm)*	ABL
	Área foliar del limbo (cm^2)*	AFL
	Longitud del pecíolo (cm)*	LP
Flor	Longitud de la flor desde la base al ápice (mm)	LFA
	Ancho de la base de la corola (mm)	ABC
	Área de la corola de flor (cm^2)	ACF
	Número de estambres	NE
	Longitud promedio de los estambres (mm)*	LPE
	Longitud del estilo (mm)*	LEF
	Número de pétalos	NP
Fruto	Longitud del fruto desde la base hasta el ápice (mm)*	LFBA
	Ancho de la base del fruto (mm)*	ABF
	Área total del fruto (mm^2)*	AF
	Peso promedio del fruto (g)*	PF
	Longitud del pedúnculo del fruto (mm)*	LF
Semilla	Número de semillas por fruto**	NSF

Masa fresca (mg)**	MF
Ancho de la semilla (mm)**	AS
Largo total de la semilla (mm)**	LS
Largo de la semilla sin ala (mm)**	LSSA
Largo de la semilla sin ala/largo total de la semilla (mm)*	LSSLT
Relación largo del embrión/largo interno de la semilla	LELIS
Largo del embrión	LE

*Eras-Guamán et al. (2021); **Gutiérrez et al. (2020).

Cuadro 3. Descriptores morfológicos cualitativos evaluados en individuos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum.

Parte de la planta	Descriptor	Estado	Abreviatura
Hoja	Forma del ápice*	1 1 Agudo	FA
		2 2 Acuminado	
		3 3 Mucronado	
	Forma de la base*	1 Aguda	FB
		2 Truncada	
		3 Obtusa	
		4 Redondeada	
	Color de la hoja*	1 Verde amarillento brillante	CH
		2 Verde amarillento moderado	
		3 Verde amarillento oscuro	
		4 Verde amarillento fuerte	
		5 Verde grisáceo	
		6 Verde amarillento vivo	
		7 Verde profundo amarillento	
		8 Grisáceo verde oliva	
Flor	Color de los pétalos*	1 Blanco Verdoso	CP
		2 Gris Amarillento	
		3 Blanco amarillento	
	Forma del pistilo*	1 Longistila	FP
		2 Mediostila	
		3 Brevistila	
Fruto	Color de fruto*	1 Marrón grisáceo oscuro	CF

		2 Marrón amarillento oscuro	
		3 Marrón oscuro	
	Forma del fruto*	1 Elíptico	FF
		2 Oblongo	
Semilla	Color de la semilla*	1 Marrón claro	CS
		2 Marrón amarillento grisáceo oscuro	

*Adaptado del *International Plant Genetic Resources Institute* (IPGRI, 1996).

Análisis estadístico

Se calculó estadística descriptiva para las variables dasométricas (media, desviación estándar, Coeficiente de variación, valores mínimo y máximo). Posteriormente, se evaluó el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de *Shapiro-Wilk* y de homogeneidad de varianzas con la prueba de *Levene* para cada variable cuantitativa. Para comparar las variables dasométricas entre los dos tipos de bosque (Terraza alta *vs.* Terraza baja) se aplicó la prueba *t* de *Student* para muestras independientes cuando los datos cumplieron ambos supuestos. Cuando se violó el supuesto de normalidad, se usó la prueba no paramétrica de *Mann-Whitney*.

Para los descriptores morfológicos cualitativos, se aplicó un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) con el fin de explorar patrones de asociación entre categorías. Las asociaciones entre los 24 descriptores morfológicos cuantitativos se evaluaron mediante la correlación de *Spearman*, la cual se visualizó gráficamente con el *software* C*orrplot* (Wei & Simko, 2017).

Posteriormente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) basado en las medias de los descriptores cuantitativos de los 18 individuos evaluados. Para clasificar los individuos según su similitud morfológica, se efectuó un análisis de agrupamiento jerárquico utilizando la distancia euclidiana como medida de disimilitud

y el método de *Ward* (Ward, 1963) como criterio de aglomeración, lo que generó un dendrograma de clasificación (Maechler et al., 2026). Una vez identificados los conglomerados se compararon las medias de las variables cuantitativas entre grupos aplicando ANOVA seguido de la prueba *post-hoc* de *Tukey* cuando se cumplieron normalidad y homogeneidad de varianzas; ANOVA de *Welch* seguido de la prueba de *Games-Howell,* si se violó el supuesto de homogeneidad de varianza; y la prueba de *Kruskal-Wallis* seguida de *Dunn-Holm* para variables que no cumplieron los supuestos de normalidad.

Todos los análisis estadísticos se realizaron en el *software R* versión 4.4.1 (R Core Team, 2023). La representación gráfica y visualización de los resultados multivariados se llevó a cabo mediante los paquetes *FactoMineR* (Lê et al., 2008), *Factoextra* (Kassambara & Mundt, 2020) y *Ggplot2* (Wickham, 2016).

Resultados

Las variables dasométricas no diferenciaron significativamente los tipos de bosque ($p>0.05$), pero se registró alta variabilidad en la altura total y el diámetro normal (*DN*) entre los árboles de capirona muestreados (Cuadro 4).

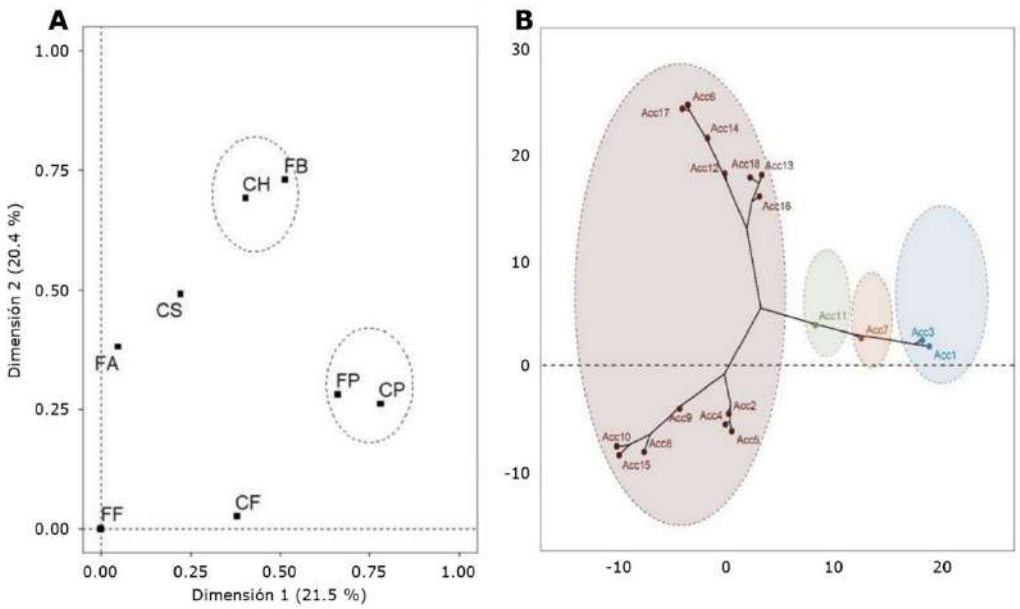
Cuadro 4. Valores mínimos, máximos, media, coeficientes de variación y desviación estándar para los caracteres cuantitativos dasométricos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum. en dos tipos de bosque.

Caracteres dasométricos	Bosque de terraza baja					Bosque de terraza alta					*p*
	Min	***Max***	***Media***	***DE***	***CV***	***Min***	***Max***	***Media***	***DE***	***CV***	
Diámetro de copa (m)	1.50	17.60	4.06	1.27	5.17	3.75	18.00	5.20	1.14	5.93	0.17
Número de ramas	1.00	3.00	2.27	0.79	1.79	2.00	3.00	2.14	0.38	0.81	0.58
Altura de la planta (m)	7.30	17.60	12.90	3.07	39.64	10.78	18.00	14.51	2.48	35.97	0.26
Altura comercial (m)	3.60	11.00	6.28	2.18	13.67	3.45	11.01	5.71	2.63	15.03	0.62
Diámetro Normal (cm)	13.10	23.70	17.73	3.99	70.76	14.50	26.50	19.46	4.37	85.04	0.40
Volumen (m^3)	0.07	0.56	0.27	0.17	0.05	0.13	0.63	0.35	0.20	0.07	0.36

Min = Valores mínimos; *Max*= Valores máximos; *DE* = Desviación estándar; *CV* = Coeficiente de variación.

Descriptores cualitativos

El análisis de correspondencias múltiples de descriptores cualitativos (Figura 1A) permitió identificar asociaciones entre descriptores foliares, donde las dos primeras dimensiones explicaron conjuntamente 41.9 % de la variabilidad total. Se evidenció la estrecha asociación entre el color y la forma de la base de la hoja, que contribuyeron a la diferenciación morfológica entre los 18 individuos de *C. spruceanum*. Asimismo, se observó la relación entre la forma del pistilo y el color del pétalo, sugiriendo posibles agrupamientos morfológicos.



A = Análisis de correspondencias múltiples (ACM); B = Dendrograma jerárquico. CH = Color de hoja; FB = Forma de base; FP = Forma del pistilo; CP = Color del pétalo; CS = Color de la semilla; FA = Forma del ápice; FF = Forma del fruto; CF = Color del fruto. Códigos Acc1, Acc2, …, Acc18 = Ver Cuadro 1.

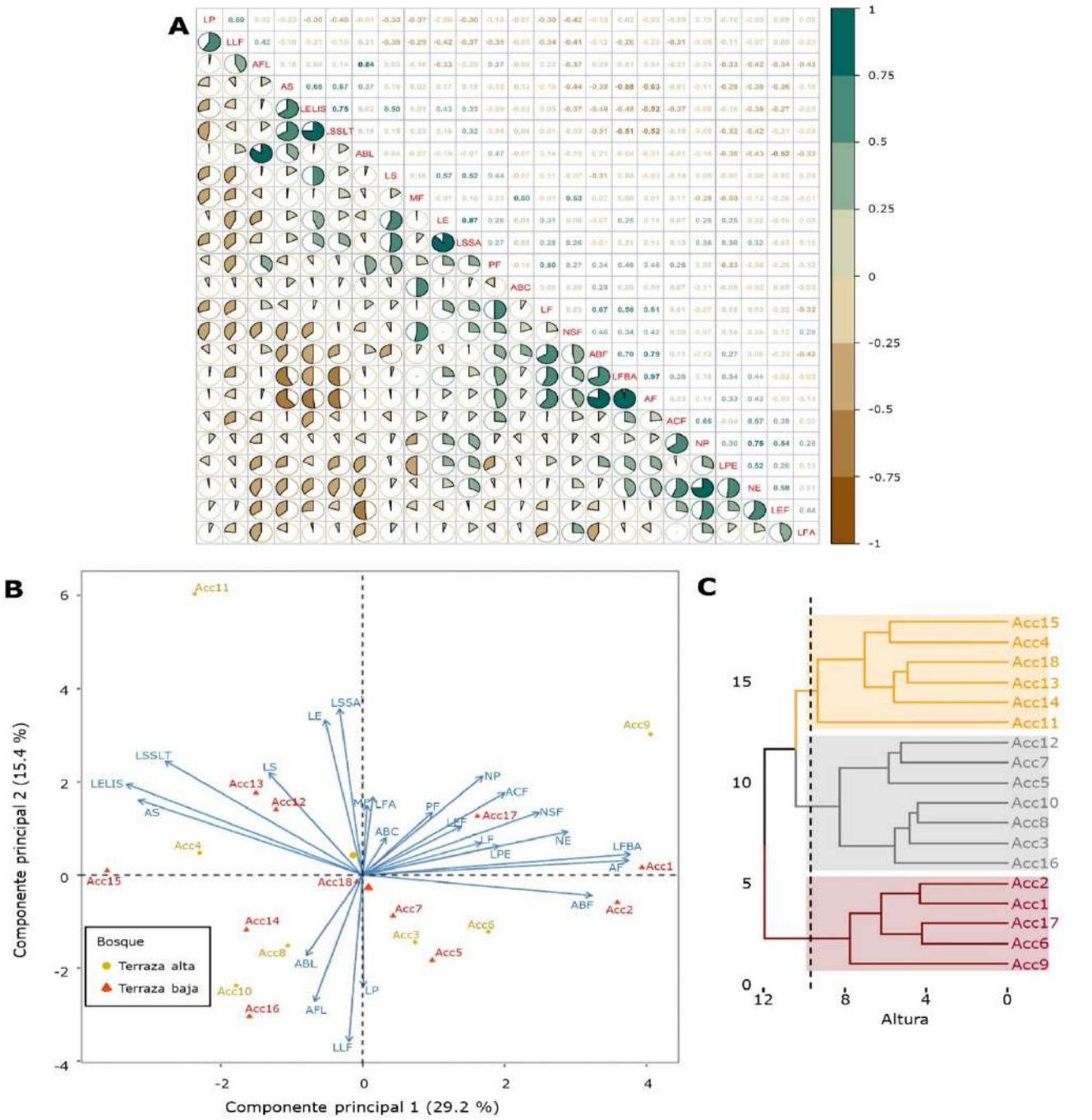
Figura 1. Resultados de análisis multivariado de caracteres cualitativos en 18 individuos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum., Madre de Dios, Perú.

El dendrograma jerárquico (Figura 1B) mostró cuatro agrupaciones morfológicas entre las 18 accesiones de *C. spruceanum*. El grupo I reunió 14 accesiones (77.78 %) con similitud en ocho caracteres vinculados a hojas, flores y frutos; destacan pistilos brevistilos o longistilos, pétalos gris amarillento a blanco verdoso y hojas verde amarillento con base truncada y ápice acuminado.

El grupo II (5.55 %) agrupó una accesión con hojas de base redondeada y ápice agudo. El grupo III (5.55 %) integró una accesión con hojas verde amarillento morado y semillas marrones claro. Finalmente, el grupo IV (11.11 %) reunió dos accesiones con similitud en hojas, flores y frutos, caracterizadas por pistilos brevistilos, pétalos blanco amarillento, frutos marrones grisáceo oscuro y base foliar obtusa.

Descriptores cuantitativos

El análisis de correlación de *Spearman* ($p<0.05$) evidenció asociaciones positivas fuertes ($r\geq0.70$) entre varios rasgos foliares y reproductivos. En semillas, destacaron las correlaciones entre la longitud del embrión (LE) y la longitud de la semilla sin ala (LSSA) ($r=0.87$), así como entre la relación largo de la semilla sin ala-largo total de la semilla (LSSLT) y la relación largo del embrión-largo interno de la semilla (LELIS) ($r=0.75$). En flores, el número de pétalos (NP) y el número de estambres (NE) ($r=0.75$). En frutos, la longitud del fruto (LFBA) se asoció con el ancho de la base del fruto (ABF) ($r=0.70$) y el área del fruto (AF) ($r=0.97$), lo que sugiere frutos más grandes; mientras que el área foliar del limbo (AFL) se correlacionó con el ancho de la base foliar (ABL) ($r=0.84$). También se observaron correlaciones negativas entre el ancho de la semilla (AS) y el área del fruto (AF) ($r=0.63$), y entre AS y LFBA ($r=0.58$) (Figura 2A).



A = Correlograma de *Spearman*: los tonos verdes petróleo representan correlaciones positivas y el marrón oscuro, negativas; el tamaño de los semicírculos indica la magnitud de la correlación. Acrónimos: ver Cuadro 2. B = Análisis de componentes principales (ACP). C = Dendrograma jerárquico.

Figura 2. Resultados del análisis descriptivo y multivariado para 24 descriptores cuantitativos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. *ex* K. Schum., Madre de Dios, Perú.

El análisis de componentes principales (ACP) reveló patrones estructurales en la variabilidad fenotípica entre las 18 accesiones de *C. spruceanum* provenientes de terrazas altas y bajas. Los dos primeros componentes explicaron 44.6 % de la variabilidad total observada (Figura 2B). Los resultados mostraron que ambos grupos se distribuyeron de manera mezclada en el plano definido por los dos primeros componentes principales, sin evidenciar una separación clara por origen ecológico, lo que indica que los caracteres cuantitativos no discriminan significativamente los tipos de bosque (Figura 2B).

El primer componente principal (PC1), que explicó 29.2 %, se relacionó con parámetros de fruto y semilla, como la LFBA, AF, NSF y el peso promedio del fruto (PF); además de, variables florales como el número y la longitud de estambres (NE, LPE) y la longitud del estilo (LEF), lo que representa en gran parte la dimensión productiva y reproductiva. El segundo componente principal (PC2), con 15.4 %, se asoció con rasgos foliares como la longitud del limbo (LLF), el área basal (ABL) y con parámetros de semilla como la relación largo de la semilla sin ala-largo total de la semilla (LSSLT). Los individuos Acc1 y Acc2 tuvieron mayor contribución de variables reproductivas (LFBA, ABF, NSF). El árbol Acc11 destacó por su posición positiva en PC2, vinculada a mayor desarrollo en LE y LSSA.

Los resultados del análisis de agrupamiento jerárquico permitieron agrupar los 18 individuos de *C. spruceanum* en tres grupos morfológicos claramente definidos (Figura 2C). La clasificación integró rasgos foliares, florales, de fruto y semilla, que evidencian patrones fenotípicos consistentes.

El grupo I reunió cinco individuos (Acc1, 2, 6, 9 y 17) con los mayores valores en caracteres reproductivos como NE, longitud y área del fruto (LFBA, AF) y NSF, lo cual refleja un alto potencial reproductivo. El grupo II, con siete individuos (Acc3, 5, 7, 8, 10, 12 y 16), presentó mayores valores en longitud del peciolo (LP) y longitud del limbo foliar (LLF), pero menores en descriptores de fruto (ABF, AF, PF, LF), que sugiere un predominio de caracteres vegetativos frente a los reproductivos. El grupo III, integrado por seis individuos (Acc4, 11, 13, 14, 15 y 18), se caracterizó por altos

valores en caracteres reproductivos, y destacó el mayor ancho de semilla, peso del fruto y longitud total de semilla.

Las pruebas *post hoc* evidenciaron diferencias significativas ($p<0.05$) entre grupos, principalmente en descriptores reproductivos (ACF, AF, ABF, NSF, LFBA) y foliares (LLF, LP) (Cuadro 5). Los altos coeficientes de variación (>40 %) de los descriptores de flor y fruto confirmaron la marcada diferenciación fenotípica entre individuos de capirona, aunque posiblemente no influenciada por su procedencia.

Cuadro 5. Análisis descriptivo y comparación de medias entre conglomerados morfológicos para caracteres cuantitativos en accesiones de capirona.

Caracter	Grupo I	Grupo II	Grupo III	Prueba	*p*	*CV* (%)
LLF	10.0b	10.8a	9.7b	*Tukey*	0.003*	6.9
ABL	4.5a	4.5a	4.5a	*Tukey*	0.910	6.8
AFL	27.1a	27.9a	27.9a	*Tukey*	0.922	11.8
LP	1.8ab	2.0a	1.7b	*Tukey*	0.034*	13.3
LFA	8.4a	8.4a	8.4a	*Dunn-Holm*	0.906	10.6
ABC	1.8a	1.6a	1.7a	*Games-Howell*	0.444	19.7
ACF	18.0a	11.5a	10.2a	*Tukey*	0.419	78.0
NE	6.3a	6.0a	5.0b	*Tukey*	0.020*	15.2
LPE	5.2a	4.6a	4.4a	*Dunn-Holm*	0.111	14.5
LEF	5.8a	6.2a	5.5a	*Tukey*	0.275	11.7
NP	5.6a	5.6a	5.2a	*Tukey*	0.507	11.8
LFBA	9.8a	7.4b	7.7b	*Tukey*	0.00*	15.1
ABF	3.1a	2.3b	2.3b	*Tukey*	0.001*	18.4
AF	32.6a	15.6b	16.4b	*Games-Howell*	0.013*	44.0
PF	0.2ab	0.2b	0.2a	*Tukey*	0.072	10.5
LF	1.3a	1.0b	1.2ab	*Tukey*	0.016*	19.5
NSF	31.3a	23.8b	24.2b	*Tukey*	0.055	23.0
MF	0.2a	0.2a	0.2a	*Tukey*	0.144	4.9
AS	0.5b	0.6ab	0.6a	*Tukey*	0.026*	13.1
LS	4.2ab	4.1b	4.6a	*Tukey*	0.041*	9.4

LSSLT	0.7b	0.8b	0.9a	*Tukey*	0.006*	13.1
LSSA	0.8a	0.7a	0.8a	*Games-Howell*	0.142	12.6
LELIS	0.7b	0.8b	0.9a	*Tukey*	0.002*	10.8
LE	0.8a	0.7a	0.8a	*Tukey*	0.154	10.2

CV = Coeficiente de variación. *Existe diferencia significativa (p<0.05). Las letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba *post hoc* correspondiente.

Los grupos I y III incluyeron individuos en su mayoría alineados al PC1 por sus rasgos reproductivos y productivos; mientras que el grupo II estuvo más alineado al PC2 por sus rasgos vegetativos.

Discusión

Este estudio constituye la primera caracterización morfológica *in situ* de *C. spruceanum* en la región de Madre de Dios, Perú, basada en descriptores cualitativos y cuantitativos de órganos vegetativos y reproductivos. Los valores obtenidos para los descriptores morfológicos de *C. spruceanum* se alinean con los intervalos documentados en estudios dendrológicos para la Amazonía peruana (Flores-Bendezú, 2018; Reynel et al., 2003). Además, la significativa variabilidad observada en altura total y diámetro normal puede atribuirse a las diferentes edades de los individuos evaluados y a la ausencia de control sobre las variables ambientales inherente al muestreo *in situ*.

No obstante, estudios realizados en plantaciones de capirona de diferentes edades, provenientes de selección fenotípica de baja intensidad, sugieren que la altura y el diámetro son rasgos eficaces para mantener la variación genética dentro de poblaciones (Weber et al., 2009). Más aún, estas variables dasométricas presentan correlación

positiva con la densidad de la madera, tanto a nivel genético como fenotípico según lo demostrado en pruebas de progenie realizadas en capirona (Sotelo-Montes et al., 2006). Por lo tanto, es fundamental incluir estas variables para garantizar la representatividad genética; por ejemplo, en la caracterización de bancos de germoplasma *ex situ*, donde existe un mayor control de variables.

El factor ambiental tiene mayor impacto en el fenotipo de *C. spruceanum* según la procedencia, zona de plantación (alta, baja) y variables de crecimiento. Basados en la tolerancia a la sequía, la variabilidad en las características fisiológicas de la especie, como la abscisión de la hoja, podría ser más esperada en zonas bajas que en altas, que además generaría mayor variación en el crecimiento al reducir la tasa fotosintética entre individuos vecinos (Sotelo-Montes et al., 2006; Tauchen et al., 2011).

No obstante, los descriptores morfológicos evaluados no revelaron diferencias fenotípicas significativas entre los tipos de bosque analizados. Hallazgo que es congruente con la estructura genética descrita para la especie, cuya variación dentro de las poblaciones de *C. spruceanum* excede de manera considerable la variación entre poblaciones (Saldaña et al., 2021). Dicha distribución de la diversidad sugiere que la diferenciación morfológica no necesariamente refleja agrupaciones geográficas o ecológicas claras; ello subraya la necesidad de complementar estos estudios con evidencia molecular robusta para discernir patrones de diferenciación poblacional.

Cabe señalar que el alcance geográfico del muestreo empleado en esta investigación podría no abarcar la totalidad de la variabilidad fenotípica de *C. spruceanum* dentro de su área de distribución natural, dado que la robustez estadística en especies forestales tropicales de polinización cruzada, la alta diversidad intraespecífica y la compleja estructura poblacional exigen generalmente diseños de muestreo extensos y estratificados para garantizar la robustez estadística de las caracterizaciones (Sotelo-Montes et al., 2006). El adecuado registro de los descriptores permite asegurar la trazabilidad del material vegetal, orientar la selección de árboles semilleros con adaptaciones locales confirmadas y fundamentar el establecimiento de bancos de germoplasma *ex situ* bajo criterios biológicos rigurosos, que maximicen el

potencial de conservación y uso sostenible de la especie (Fajardo-Vizcayno et al., 2014).

El análisis de la caracterización morfológica evidencia que los descriptores reproductivos y vegetativos constituyen los ejes principales de diferenciación en *C. spruceanum*. La asociación observada entre caracteres de hoja y flor sugiere que, si bien los rasgos vegetativos son altamente susceptibles a las condiciones ambientales, los rasgos florales tienden a comportarse como marcadores más estables para la identificación taxonómica y varietal. Patrón que concuerda con lo referido para especies arbóreas como *Malus* spp., cuya morfología floral proporciona criterios clave para la diferenciación de cultivares, mientras que la variación vegetativa refleja más la respuesta adaptativa al entorno (He et al., 2025).

La utilidad de los descriptores morfológicos y dasométricos para establecer grupos fenotípicos preliminares para ser usados en mejoramiento genético ha sido validada en diversas especies forestales tropicales. Investigaciones en *Juglans pyriformis* Liebm., *Simarouba amara* Aubl. y *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms han demostrado que la caracterización basada en caracteres de copa, fuste, hoja y fruto permiten discriminar individuos con potencial para usos específicos, como producción maderable, sistemas silvopastoriles, agroforestales o servicios ecosistémicos (Acosta-Hernández et al., 2011; Castañeda-Garzón et al., 2021, 2024). De acuerdo a esos antecedentes, la identificación de grupos morfológicos contrastantes en *C. spruceanum* sugiere un alto potencial para la preselección de candidatos para árboles *plus*, lo que facilita la priorización de materiales para programas de conservación y uso sostenible.

Sin embargo, si se considera que la variabilidad fenotípica en poblaciones naturales es el resultado de la interacción genotipo×ambiente (G×E), la superioridad observada en ciertos rasgos morfológicos no garantiza una base genética heredable, ya que puede ser producto de la plasticidad fenotípica frente a condiciones locales favorables (Kageyama & de Souza-Dias, 1985).

Para discriminar de forma efectiva entre ventajas genéticas y ambientales, es imperativo complementar la caracterización *in situ* con ensayos en condiciones controladas (*ex situ*). Esta estrategia no solo garantiza la trazabilidad de las accesiones, sino también previene la erosión genética debido a un muestreo insuficiente (Fajardo-Vizcayno et al., 2014). En consecuencia, la caracterización *in situ* actúa como un filtro eficiente para construir bancos de germoplasma al optimizar los recursos destinados a la conservación (Núñez-Colín & Escobedo-López, 2014). Los hallazgos del presente estudio constituyen una línea base fundamental para diseñar estrategias que busquen asegurar la diversidad genética potencial, permitiendo la selección de individuos representativos mediante la evaluación de la respuesta fenotípica desde estadios tempranos. Asimismo, la incorporación futura de descriptores sanitarios, fitoquímicos y de calidad de madera, junto con la estimación de parámetros de heredabilidad facilitará la selección temprana y consolidará un programa de mejoramiento genético para capirona basado en evidencia genética sólida.

Conclusiones

El estudio confirmó una alta variabilidad fenotípica en las variables dasométricas (altura y *DN*); sin embargo, el tipo de bosque no influyó en esta variación. El análisis de descriptores cualitativos evidenció asociación estrecha entre caracteres foliares y florales, lo que indica patrones morfológicos comunes predominantes en la población evaluada. Las correlaciones positivas fuertes de los descriptores cuantitativos permitieron clasificar los individuos en tres grupos morfológicos distintos, diferenciados por su énfasis vegetativo (grupo II) o reproductivo (grupos I y III). Esta clasificación valida el uso de dichos descriptores como línea base para la identificación de fenotipos promisorios y constituye un aporte esencial para establecer bancos de germoplasma *ex situ* orientados a la conservación y el mejoramiento genético de la especie en la Amazonía peruana.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto de inversión "Mejoramiento de los Servicios de Investigación en la Caracterización de los Recursos Genéticos de la Agrobiodiversidad en 17 departamentos del Perú-PROAGROBIO" con CUI 2480490 del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por la gestión y financiamiento del estudio en la Estación Experimental Agraria-San Bernardo en Madre de Dios.

Conflicto de intereses

Los autores han declarado que no existen intereses en conflicto.

Contribución por autor

Gorky Florez-Castillo y Yicelia Maura Mamani Mariaca: conceptualización, análisis formal, investigación, redacción y revisión; Sharmely Hilares Vargas: investigación, curación de datos, redacción y revisión. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Referencias

Acosta-Hernández, C. C., Luna-Rodríguez, M., Noa-Carrazana, J. C., Galindo-González, J., Vázquez-Torres, S. M., Morales-Romero, Z., & Iglesias-Andreu, L. G. (2011). Caracterización morfológica y dasométrica de la especie amenazada *Juglans pyriformis* Liebm. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *17*(1), 59-67. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.03.015

Britto, B. (2017). Actualización de las Ecorregiones Terrestres de Perú propuestas en el Libro Rojo de Plantas Endémicas del Perú. *Gayana Botánica*, *74*(1), 15-29. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432017005000318

Castañeda-Garzón, S. L., Argüelles-Cárdenas, J. H., Zuluaga-Peláez, J. J., & Moreno-Barragán, J. (2021). Evaluación de la variabilidad fenotípica en *Simarouba amara* Aubl., mediante descriptores cualitativos y cuantitativos. *Orinoquia*, *25*(1), 67-77. https://doi.org/10.22579/20112629.656

Castañeda-Garzón, S. L., Cervera-Bonilla, D. C., Zuluaga-Peláez, J. J., & Argüelles-Cárdenas, J. H. (2024). Rasgos morfológicos de árboles de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms en el municipio El Espinal, Tolima, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *25*(3), Artículo e3622. https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num3_art:3622

Castro, A., Davila, C., Laura, W., Cubas, F., Avalos, G., López-Ocaña, C., Villena, D., Valdez, M., Urbiola, J., Trebejo, I., Menis, L., & Marín, D. (2021). *Climas del Perú. Mapa de clasificación climática nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf

Cornelius, J. P., Pinedo-Ramírez, R., Sotelo-Montes, C., Ugarte-Guerra, L. J., & Weber, J. C. (2018). Efficiency of early selection in *Calycophyllum spruceanum* and *Guazuma crinita*, two fast-growing timber species of the Peruvian Amazon. *Canadian Journal of Forest Research*, *48*(5), 517-523. https://doi.org/10.1139/cjfr-2017-0407

Duke, J. A. (2008). *Duke's Handbook of Medicinal Plants of Latin America* (1st ed). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420043174

Egoavil-Cueva-Gálvez, G. I., Pereira-da Rocha, M., Klitzker, R. J., & Castro-Tamayo, P. C. (2023). Study of the physical and mechanical properties of *capirona* (*Calycophyllum spruceanum* [Bentham] Hooker f. ex Schumann) wood as a potential for solid wood flooring production. *Ingeniería Industrial*, *45*, 215-234. https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6505

Eras-Guamán, V. H., Moreno-Serrano, J. A., Correa-Torres, G. D., & Yaguana-Arévalo, M. (2021). Caracterización morfológica de los órganos vegetativos y reproductivos de *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) en la provincia de Loja (Ecuador).

Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia, *11*(1), 13-21. https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/1033

Fajardo-Vizcayno, J., Hugo, W., & Sanz-Alvarez, J. (2014). *Appropriate Seed Varieties for Small-scale Farmers: Key Practices for DRR Implementers*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d66bf82f-d2a1-4ab0-b540-cbd03b04fa42/content

Flores, A., López-Upton, J., Rullán-Silva, C. D., Olthoff, A. E., Alía, R., Sáenz-Romero, C., & García-del Barrio, J. M. (2019). Priorities for conservation and sustainable use of forest genetic resources in four Mexican pines. *Forests*, *10*(8), Article 675. https://doi.org/10.3390/f10080675

Flores-Bendezú, Y. (2018). *Árboles nativos de la Región Ucayali.* Estación Experimental Agraria Pucallpa. https://www.researchgate.net/publication/328145898_Arboles_nativos_de_la_Region_Ucayali

Freitas-Alvarado, L., Zárate-Gómez, R., Del Castillo-Torres, D., Dávila-Díaz, A., Villacorta-Gonzáles, C., & Benavides-Ríos, J. (2021). Silvicultura de un rodal de regeneración natural de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum (Rubiaceae) en la llanura aluvial inundable de Iquitos, Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, *30*(1), 71-86. https://doi.org/10.24841/fa.v30i1.545

Gutiérrez, A., Pernús, M., & Sánchez, J. A. (2020). Rasgos funcionales de semillas de *Calycophyllum candidissimum* (Rubiaceae), árbol pionero del Neotrópico. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, *41*, 71-77. https://www.jstor.org/stable/26975227

He, M., Zheng, Y., Hu, Y., Zhao, P., & Ji, X. (2025). Classification framework of introduced crabapple (*Malus* spp.) cultivars based on morphological and numerical traits: insights for germplasm conservation and landscape forestry. *Forests*, *16*(12), Article 1792. https://doi.org/10.3390/f16121792

International Plant Genetic Resources Institute. (1996). *Descriptores del café (Coffea spp. y Psilanthus spp.).* International Plant Genetic Resources Institute. https://hdl.handle.net/10568/72790

Kageyama, P. Y., & de Souza-Dias, I. (1985). *Aplicación de conceptos genéticos a especies forestales nativas en Brasil* [Información sobre Recursos Genéticos Forestales 13]. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. https://www.fao.org/4/r3812s/R3812S02.htm#ch2

Kassambara, A., & Mundt, F. (2020). *Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses* (R Package Version 2.0.0) [Software]. Comprehensive R Archive Network. https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/index.html

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *Journal of Statistical Software*, *25*(1), 1-18. https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01

Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M., & Hornik, K. (2026). *cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions* (R package version 2.1.8.2) [Software]. Comprehensive R Archive Network. https://CRAN.R-project.org/package=cluster

Ministerio del Ambiente. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura Vegetal* [Mapa temático]. Ministerio del Ambiente. https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-cobertura-vegetal

Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López, D. (2014). Caracterización de germoplasma vegetal: la piedra angular en el estudio de los recursos fitogenéticos. *Acta Agrícola y Pecuaria*, *1*(1), 1-6. https://aap.uaem.mx/index.php/aap/article/view/1

Peixoto, H., Roxo, M., Koolen, H., da Silva, F., Silva, E., Braun, M. S., Wang, X., & Wink, M. (2018). *Calycophyllum spruceanum* (Benth.), the Amazonian "Tree of Youth" Prolongs Longevity and Enhances Stress Resistance in *Caenorhabditis elegans*. *Molecules*, *23*(3), Article 534. https://doi.org/10.3390/molecules23030534

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing* (version 4.4.1) [Software]. R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Reynel, C., Pennington, R. T., Pennington, T. D., Flores, C., & Daza, A. (2003). *Árboles útiles de la Amazonía Peruana: un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies.* Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. https://catalog.hathitrust.org/Record/101579362

Russell, J. R., Weber, J. C., Booth, A., Powell, W., Sotelo-Montes, C., & Dawson, I. K. (1999). Genetic variation of *Calycophyllum spruceanum* in the Peruvian Amazon

Basin, revealed by amplified fragment length polymorphism (AFLP) analysis. *Molecular Ecology*, *8*(2), 199-204. https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.1999.00551.x

Saldaña, C. L., Cancan, J. D., Cruz, W., Correa, M. Y., Ramos, M., Cuellar, E., & Arbizu, C. I. (2021). Genetic diversity and population structure of capirona (*Calycophyllum spruceanum* Benth.) from the Peruvian amazon revealed by RAPD markers. *Forests*, *12*(8), Article 1125. https://doi.org/10.3390/f12081125

Sotelo-Montes, C., Beaulieu, J., & Hernández, R. E. (2007a). Genetic variation in wood shrinkage and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *Canadian Journal of Forest Resources*, *37*(5), 966-976. https://doi.org/10.1139/X06-288

Sotelo-Montes, C., Hernandez, R. E., & Beaulieu, J. (2007b). Radial variation in wood density and correlations with growth of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *Wood and Fiber Science*, *39*(3), 377-387. https://www.researchgate.net/publication/256326370_Radial_variation_in_density_and_correlations_with_growth_of_Calycophyllum_spruceanum_at_an_early_age_in_the_Peruvian_Amazon

Sotelo-Montes, C., Hernández, R. E., Beaulieu, J., & Weber, J. C. (2006). Genetic variation and correlations between growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. *Silvae Genetica*, *55*(1-6), 217-228. https://doi.org/10.1515/sg-2006-0029

Tauchen, J., Lojka, B., Hlásná-Čepková, P., Svobodová, E., Dvořáková, Z., & Rollo, A. (2011). Morphological and genetic diversity of *Calycophyllum spruceanum* (Benth) k. Schum (Rubiaceae) in Peruvian Amazon. *Agricultura Tropica et Subtropica*, *44*(4), 212-218. https://www.agriculturaits.czu.cz/pdf_files/vol_44_4_pdf/tauchen.pdf

Ugarte-Guerra, L. J., & Domínguez-Torrejón, G. (2010). Índice de sitio (IS) de *Calycophyllum spruceanum* Benth. en relación con la altura dominante del rodal en ensayos de plantación en la Cuenca del Aguaytía, Ucayali, Perú. *Ecología Aplicada*, *9*(2), 101-111. https://www.researchgate.net/publication/256297305_SITE_INDEX_OF_Calycop

hyllum_spruceanum_Benth_IN_RELATION_WITH_THE_DOMINANT_HEIGHT_OF_ESSAY_PLANTATIONS_IN_THE_AGUAYTIA_BASIN_UCAYALI_PERU

Ward, Jr., J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(301), 236-244. https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845

Weber, J. C., Sotelo-Montes, C., Ugarte, J., & Simons, T. (2009). Phenotypic selection of *Calycophyllum spruceanum* on farms in the Peruvian Amazon: evaluating a low-intensity selection strategy. *Silvae Genetica*, *58*(4), 172-179. https://doi.org/10.1515/sg-2009-0023

Wei, T., & Simko, V. (2017). *R Package "Corrplot": Visualization of a Correlation Matrix* (Version 0.84) [Software]. Comprehensive R Archive Network. https://github.com/taiyun/corrplot

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (Version 4.0.3) [Software]. Springer-Verlag New York. https://ggplot2.tidyverse.org/

Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales –**sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.