


Caracterización fenotípica de 20 progenies de eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) para su conversión a rodal semillero

Phenotypic characterization of 20 progenies of eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) for their conversion to a seed stand

Pérez-Somarriba E. B.^{1*}, Morales-Pérez V. A.¹, Reyes-Canales, W. A.¹, Maradiaga-Gutiérrez L. E.¹, Tercero-Martínez J. N.¹.

 Pérez-Somarriba, E. B.
benito.perez@ev.unanleon.edu.ni

 Morales-Pérez, V. A.
victor.morales@fh.unanleon.edu.ni

 Reyes-Canales, W. A.
walter.reyes@ev.unanleon.edu.ni

 Maradiaga-Gutiérrez, L. E.
luis.maradiaga@ev.unanleon.edu.ni

 Tercero-Martínez, J. N.
jose.tercero@ev.unanleon.edu.ni

*Autor de correspondencia: benito.perez@ev.unanleon.edu.ni

¹ Dirección Específica de Agroecología y Agronegocios, Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral

vol.11, núm.22, 2025

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 23 de Agosto 2024

Aprobado: 23 de Marzo 2026

Publicado: 08 de Julio 2026

URL: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/articlvew/1085>

DOI: <https://doi.org/10.5377/>

Copyright © 2025 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León), Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias / Dirección Específica de Agroecología y Agronegocios / Centro de Investigación en Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0

Resumen

Antecedentes: El *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. es una de las especies forestales más cultivadas a nivel global, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales secas o semiáridas. El objetivo fue caracterizar fenotípicamente el desarrollo de 20 progenies de *Eucalyptus camaldulensis*. **Metodología:** Se utilizó diseño experimental Bloque Completo al Azar, se establecieron cuatro bloques en un área 1.2 ha, con un total de 2000 plantas, con 500 plantas por bloque, evaluando 20 progenies de eucalipto, se aplicó un análisis de clúster jerárquico y análisis de componente principales para las variables de altura, diámetro, área basal y volumen. **Resultados:** Las progenies 65, 123 y sobresalieron por su altura, registrando las máximas alturas totales (hasta 7.94 m), para la variable de diámetro predominaron las progenies 83, 8 y 65, registrándose el mayor diámetro de 7.26 cm en la progenie 83. El análisis de agrupamiento jerárquico (método de Ward.D2) discriminó las 20 progenies en cuatro conglomerados principales, aislando a los grupos III (progenies 35, 108, 45 y 107) y IV (progenies 83, 87, 111, 65, 123, 8 y 81) como los conjuntos élite de mayor rendimiento. Esta ordenación fue validada de forma robusta por el *biplot* del Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual identificó tres agrupamientos fenotípicos de interés para el mejoramiento genético: los genotipos 65, 83, 111, 8 y 81 se consolidaron como sobresalientes. **Conclusión:** Las progenies 65 y 8 son las sobresalientes en las variables estudiada, perfilándose como los candidatos idóneos para programas de selección y mejoramiento genético.

Palabras claves: forestal, myrtaceae, rodal, semillero.

Abstract

Background: *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. is one of the most widely cultivated forest species globally, especially in dry or semi-arid tropical and subtropical regions. The objective was to phenotypically characterize the development of 20 progenies of *Eucalyptus camaldulensis*. **Methodology:** A Randomized Complete Block Design was used. Four blocks were established in an area of 1.2 ha, with a total of 2000 plants (500 plants per block). Twenty eucalyptus progenies were evaluated. Hierarchical cluster analysis and principal component analysis were applied to the variables of height, diameter, basal area, and volume. **Results:** Progenies 65, 123, and 81 stood out for their height, registering the maximum total heights (up to 7.94 m). For the diameter variable, progenies 83, 8, and 65 predominated, with the largest diameter of 7.26 cm recorded in progeny 83. Hierarchical clustering analysis (Ward.D2 method) discriminated the 20 progenies into four main clusters, isolating groups III (progenies 35, 108, 45, and 107) and IV (progenies 83, 87, 111, 65, 123, 8, and 81) as the highest performing elite groups. This ranking was robustly validated by the Principal Component Analysis (PCA) biplot, which identified three phenotypic groupings of interest for genetic improvement: genotypes 65, 83, 111, 8, and 81 emerged as outstanding. **Conclusion:** The progenies 65 and 8 are the most outstanding in the variables studied, positioning themselves as ideal candidates for selection and genetic improvement programs.

Keywords: forest, myrtaceae, stand, seedbed

Introducción

Eucalyptus camaldulensis es una especie originaria de Australia, que ha demostrado una adecuada adaptación a las zonas secas y calientes, representando una alternativa productiva para áreas marginales de escasa pluviometría y suelos pobres (Aspinwall et al., 2023).

En Nicaragua, los eucaliptos igualmente se han desarrollado y adaptado al ritmo evolutivo del país. Este género llegó al país como materia prima endoenergética; posteriormente, su uso se expandió para generar cercos de demarcación de tierras y cortinas rompe vientos; en la década de los 90 esta especie fue utilizada como combustible como un coproducto útil para generar calor y electricidad a partir de la biomasa (Van den Broek et al., 1998).

Eucalyptus camaldulensis es uno de los géneros más plantados en el mundo por sus bondades como especies de rápido crecimiento, adaptación y plasticidad a muchos sitios y ausencia de mayores problemas sanitarios. Esta condición hace de los eucaliptos una especie con mucho potencial comercial y de manejo, lo que estimula su utilización como especie para la repoblación forestal (Eldridge et al., 1994).

A principios de la década de 1990, genetistas forestales de la Agencia Danesa de Desarrollo Internacional (DANIDA), en colaboración con el personal del Centro de Mejoramiento Genético y Banco de Semillas Forestal (CMG&BSF), establecieron diversos ensayos de procedencias y progenies de especies latifoliadas en diferentes regiones del país. Dichas pruebas se implementaron en terrenos propiedad del CMG&BSF (Dvorak, 2001).

La mejora genética en el área forestal genera beneficios que pueden preservarse a lo largo de las generaciones a través de la selección y propagación de genotipos superiores. Entre sus principales ventajas se destaca el aumento en las tasas de crecimiento, la optimización de la forma y homogeneidad de los árboles, la mejora en la adaptación a diversas condiciones ambientales, un incremento en la productividad y un fortalecimiento de la resistencia ante plagas y enfermedades, además de contribuir a la mejora de la calidad de los productos forestales obtenidos (Ray et al., 2022; Sniezko et al., 2023). Ante esto, el objetivo principal de este estudio fue caracterizar 20 progenies de *Eucalyptus camaldulensis* para su conversión a rodal semillero en el occidente de Nicaragua.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinaria de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, de la ciudad de León (12°25'22", 86°53'12"), en el ciclo comprendido entre marzo del 2017 – noviembre 2019. Con temperaturas promedio de 28° C, una altitud de 90 msnm, una humedad relativa de 72.74% con precipitaciones de 1273.4 mm anuales, suelos franco arenoso y una pendiente de 1% (Bárcenas et al., 2017).

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental de Bloque Completo al Azar (BCA). Se establecieron cuatro bloques en una área de 1.2 ha, cada bloque estaba compuesto de 500 plantas de 20 progenies establecidas a 3 m x 2 m, se consideró un borde de 0.26 ha. Las 20 progenies evaluadas, fueron obtenidas de CMG&BSF debidamente codificado (Tabla 1).

Tabla 1. Progenies de *Eucalyptus camaldulensis*

Descripción de los tratamientos	
T1	008
T2	029
T3	035
T4	045
T5	049
T6	058
T7	065
T8	068
T9	071
T10	081
T11	083
T12	087
T13	105
T14	107
T15	108
T16	111
T17	119
T18	120
T19	123
T20	125

Selección de las progenies

La selección de genotipos superiores se derivó a partir del ensayo de 37 progenies de *E. camaldulensis*. Este ensayo se encuentra ubicado en la instalación del CMG&BSF, en el lote Azul, la edad del ensayo es de 29 años, el área total es de 1.3 ha, Localizada en el 79.5 km de la carretera Managua – León y actualmente cuenta con 133 árboles compuesta de 37 progenies. Se implementó el sistema de selección, basado en la rigurosa individualización de árboles que sean capaces de exhibir características superiores de volumen y forma en relación con los restantes árboles que crecen bajo las mismas condiciones de sitio. Para estos efectos implementamos el uso del sistema de selección denominado de árboles de comparación, el cual resulta particularmente efectivo para realizar selección basal en rodales coetáneos. El proceso de identificación y marcación de los árboles se inició con la ubicación de los árboles por parcelas, bloques y familia en el ensayo.

El proceso de identificación consistió en seleccionar las mejores familias de un total de 40 que conforman el ensayo de progenie de *E. camaldulensis*, la selección de los mejores individuos por familia se basó en las siguientes variables cuantitativas: altura total, diámetro a la altura de pecho y volumen. Además de la variable fenotípica como rectitud del fuste, sanidad del árbol, posición sociológica, inclinación del árbol y ramificación o inserción de las ramas tomado como referencia el trabajo de Murillo (2004). Para el levantamiento de la información se utilizó un formulario de campo donde se anotaron las medidas o puntajes asignados a cada uno de los árboles candidato.

Establecimiento de ensayo

La producción de plantas se llevó a cabo en vivero tecnificado ubicada en el municipio de Sébaco, Matagalpa. Sin embargo, la responsabilidad sobre la identificación y seguimiento a la identidad de cada una de las progenies estaba a cargo del departamento de investigación del CMG&BSF-INAFOR y UNAN-León. Para esta actividad se contempla un sistema riguroso de marcación de las progenies y esta marcación tuvo un monitoreo hasta el establecimiento y control de la plantación.

Durante las actividades de plantación del ensayo se realizó la demarcación exacta de cómo se distribuirían las plantas en terreno marcando los vértices de bloques. Una vez que se ha marcado la distribución del diseño seleccionado en terreno, se procedió a cercar el perímetro del área que se va a utilizar, esto para proteger a la plantación y se evite cualquier riesgo de daños. Las plantaciones fueron establecidas a una distancia de 2 m x 3 m.

Variables a medir

Altura de la planta: La medición de altura de las plantas se realizó con una estadía (vara telescópica) y clinómetro digital, de la parte de la superficie de suelo hasta el ápice de la planta. La medición se realizó una vez al año después de un año de establecido.

Diámetro de la planta: La medición del diámetro a la altura del pecho (DAP) de las plantas se realizó con una cinta diamétrica de la parte de la superficie de suelo 1.3 m arriba de la planta. Usualmente están graduadas en unidades de circunferencia y de diámetro, una de cada lado de la cinta. La medición se realizó una vez al año después de establecido (Yepes, 2008).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos se aplicó un enfoque de Modelos Lineales Mixtos (LMM) mediante el criterio de Máxima Verosimilitud Restringida (REML). En el diseño del modelo, el factor Bloque se trató como un efecto fijo para controlar la heterogeneidad ambiental del sitio, mientras que las Progenies se modelaron como un efecto aleatorio. Apartir de los componentes de varianza del modelo, se aplicó la fórmula de Heredabilidad a nivel de familias (σ_f^2), la cual representa el parámetro genético por excelencia exigido por CAMCORE (Dvorak et al., 2000; Zobel & Talbert, 1984).

$$h_f^2 = \frac{\sigma_f^2}{\sigma_f^2 + \sigma_e^2 / B}$$

Donde σ_f^2 corresponde a la varianza genética entre progenies, σ_e^2 representa la varianza residual y B es el número de bloques reales en el ensayo (B = 4). La recopilación de los datos se llevó a cabo mediante una hoja de registro de campo, utilizando los paquetes especializados lme4 y lmerTest para la estimación de los parámetros y sus respectivos niveles de significancia. Con el propósito de agrupar las progenies de *Eucalyptus* según sus atributos de crecimiento, se aplicó un análisis de clúster jerárquico. Los datos fueron tipificados para homogeneizar las varianzas de escala. Se computó una matriz de distancias euclidianas y el agrupamiento se resolvió mediante el método de Ward de varianza mínima (Ward.D2). El número final de conglomerados se fijó en cuatro, derivados de la topología del dendrograma generado. Este procedimiento estadístico y su correspondiente validación gráfica se ejecutaron utilizando los paquetes de R stats y factoextra. Se determinó la variación multidimensional y patrones de similitud entre las progenies evaluadas, se ejecutó un Análisis de Componentes Principales (ACP) utilizando los valores promedio de altura total, diámetro a la altura del pecho, área basal y volumen. Debido a las diferencias en las escalas de medición de las variables, los datos fueron estandarizados automáticamente mediante centrado y escalado unitario previo al análisis multivariado.

Para la retención de los componentes principales se consideró el criterio de Kaiser (autovalores > 1) y el porcentaje de varianza explicada acumulada. Los resultados y las relaciones de similitud entre las progenies y las variables morfológicas se examinaron visualmente mediante un gráfico bidimensional de superposición (*Biplot*), utilizando las funciones algorítmicas de los paquetes especializados FactoMineR para el cómputo del ACP, factoextra para la visualización geométrica y extracción de descriptores, y tidyverse para el procesamiento y estructuración matricial de los datos. Todos los análisis se realizaron con el software estadístico R dentro del entorno R Studio.

Resultados y Discusión

El ajuste de los modelos lineales mixtos (LMM) mediante el criterio de máxima verosimilitud restringida (REML) demostró una estructuración significativa de la varianza fenotípica en el ensayo de *E. camaldulensis* (Tabla 2 y Tabla 3). Con respecto a los efectos fijos, la heterogeneidad ambiental controlada a través de los bloques evidenció que el Bloque IV presentó incrementos significativos y altamente superiores tanto para la altura total ($\beta = 0.9377$ m, $p < 0.001$) como para el diámetro ($\beta_a = 0.7720$ cm, $p < 0.001$) tomando como referencia el Bloque I.

En cuanto a los efectos aleatorios, el análisis permitió aislar el componente genético familiar puro del ruido microambiental del sitio. Para la altura total, la varianza entre progenies (σ_f^2) fue de 0.2538 frente a una varianza residual (σ_r^2) de 2.1790. Para el diámetro, la varianza entre progenies alcanzó 0.4182, con un residuo de 3.1491.

Con base en estos componentes, se determinó la heredabilidad a nivel de familias (h_f^2), obteniendo valores de 0.318 para altura total y 0.347 para diámetro. De acuerdo con los criterios de selección forestal de CAMCORE (Dvorak et al., 2000; Zobel & Talbert 1984), estos valores se clasifican como de magnitud moderada a alta, lo que confirma que el ensayo posee un control genético lo suficientemente robusto para garantizar una ganancia genética significativa si se procede con la conversión a rodal semillero mediante el raleo selectivo de los peores genotipos.

La significancia estadística observada en el efecto de los bloques (particularmente el incremento superior del Bloque IV en altura y diámetro) evidencia la existencia de posiblemente de un gradiente microambiental o edáfico dentro del sitio experimental. En especies de rápido crecimiento como *E. camaldulensis*, las variaciones locales en la profundidad del suelo, la retención de humedad o el drenaje tienden (Craig & Momo, 2012)

Los valores de heredabilidad a nivel de familias obtenidos en este estudio se sitúan en el rango superior de lo reportado históricamente para poblaciones de mejora de *E. camaldulensis* en condiciones tropicales y subtropicales. Varios autores mencionan que los caracteres de crecimiento diamétrico y volumétrico suelen exhibir un control genético de magnitud moderada a baja debido a su naturaleza poligénica y su alta susceptibilidad a la competencia interindividual (Zobel & Talbert, 1984). No obstante, los parámetros estimados en el presente ensayo superan los umbrales promedio tradicionales alineándose con los criterios de selección forestal de CAMCORE para programas de domesticación de alto rendimiento (Dvorak et al., 2000).

Tabla 2. Parámetros del Modelo Lineal Mixto (LMM) para la variable Altura Total (m) en *Eucalyptus camaldulensis*

Componente de Efecto	Parámetro /Factor	Estimación	Error Estándar	Grados de Libertad (df)	Valor t	Valor p
Efectos Fijos	Intercepto (Bloque I)	6.762	0.132	30.18	51.119	< 0.001
	Bloque II	-0.0003	0.097	1803.00	-0.003	0.997
	Bloque III	0.3704	0.098	1803.00	3.779	< 0.001
	Bloque IV	0.9377	0.098	1803.00	9.585	< 0.001
Efectos Aleatorios	Varianza Progenies (σ_f^2)	0.2538	Std.Dev: 0.5038	—	—	—
	Varianza Residual (σ_r^2)	2.1790	Std.Dev: 1.4762	—	—	—
Genético	Heredabilidad (h_f^2)	0.318	(Moderada a alta)	—	—	—

Tabla 3. Parámetros del Modelo Lineal Mixto (LMM) para la variable Diámetro - Diámetro (cm) en *Eucalyptus camaldulensis*

Componente de Efecto	Parámetro / Factor	Estimación	Error Estándar	Grados de Libertad (df)	Valor t	Valor p
Efectos Fijos	Intercepto (Bloque I)	5.7239	0.1669	28.80	34.292	< 0.001
	Bloque II	0.2000	0.1175	1802.84	1.701	0.0891
	Bloque III	0.1845	0.1178	1802.70	1.566	0.1175
	Bloque IV	0.7720	0.1176	1802.49	6.564	< 0.001
Efectos Aleatorios	Varianza Progenies (σ_f^2)	0.4182	Std.Dev: 0.6467	—	—	—
	Varianza Residual (σ_f^2)	3.1491	Std.Dev: 1.7746	—	—	—
Genético	Heredabilidad (h_f^2)	0.347	(Moderada a alta)	—	—	—

La altura promedio de las progenies evaluadas osciló entre 6.36 y 7.94 m. La progenie 65 presentó la mayor altura media (7.94 ± 0.18 m), seguida por las progenies 123 (7.77 ± 0.17 m) y 8 (7.70 ± 0.11 m). Por el contrario, las menores alturas promedio se registraron en las progenies 125 (6.36 ± 0.11 m), 58 (6.37 ± 0.11 m) y 49 (6.45 ± 0.14 m) (Figura 2, Tabla 4).

Estos resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Alvear y Gutiérrez (1995), quienes evaluaron 23 procedencias y 196 familias de *E. camaldulensis* en Chile, encontrando diferencias significativas en altura entre familias y estimando parámetros genéticos que evidenciaron un importante potencial para la selección de individuos superiores. La fluctuación en la altura promedio de las progenies (entre 6.36 y 7.94 m) evidencia una variabilidad fenotípica dentro de la población evaluada. Este comportamiento es característico de los ensayos de introducción y selección temprana de *E. camaldulensis* Dehnh., una especie reconocida por poseer característica genética altamente polimórfico que se traduce en una segregación notable de caracteres cuantitativos de crecimiento (Pinyopusarerk et al., 1996; Bush et al., 2013).

La progenie 65, 123 y 8 presentaron la mayor altura, posiblemente estos materiales poseen una mejor capacidad de adaptación y aprovechamiento de los recursos disponibles en las condiciones ambientales del sitio de estudio. Por ello, estas progenies destacan como candidatos promisorios para programas de selección y mejoramiento genético, debido a su sobresaliente desempeño en crecimiento.

Los mejores índices de crecimiento se encuentran en los primeros años, sitios con buenas características de suelo y clima; esta especie de *E. camaldulensis* ha presentado buenas características en altura en el clima cálido de la zona de occidente oscilan entre 3.5 a 5 metros por año.

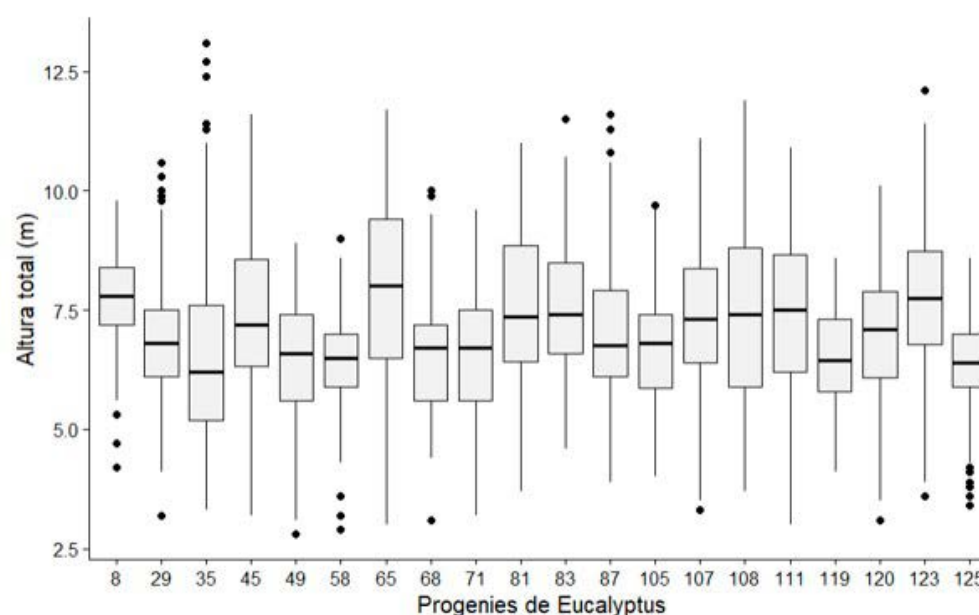


Figura 2. Altura media de progenies de *E. camaldulensis* en Nicaragua.

Tabla 4: Descripción del análisis descriptivo de altura media de progenies de *E. camaldulensis* en Nicaragua.

Nº	Progenie	N	Altura media ± EE (m)	Desviación Estandar (m)	Rango (mín-máx) (m)
1	65	97	7.94 ± 0.18	1.77	3.0–11.7
2	123	92	7.77 ± 0.17	1.67	3.6–12.1
3	8	91	7.70 ± 0.11	1	4.2–9.8
4	83	93	7.62 ± 0.15	1.48	4.6–11.5
5	81	94	7.61 ± 0.18	1.78	3.7–11.0
6	111	91	7.51 ± 0.18	1.75	3.0–10.9
7	45	78	7.44 ± 0.19	1.71	3.2–11.6
8	107	94	7.38 ± 0.16	1.56	3.3–11.1
9	108	91	7.36 ± 0.20	1.89	3.7–11.9
10	87	100	7.30 ± 0.17	1.73	3.9–11.6
11	120	88	6.94 ± 0.15	1.42	3.1–10.1
12	29	96	6.92 ± 0.14	1.4	3.2–10.6
13	35	85	6.76 ± 0.25	2.29	3.3–13.1
14	105	92	6.73 ± 0.12	1.17	4.0–9.7
15	68	93	6.61 ± 0.13	1.28	3.1–10.0
16	71	77	6.51 ± 0.16	1.43	3.2–9.6
17	119	94	6.50 ± 0.11	1.07	4.1–8.6
18	49	92	6.45 ± 0.14	1.3	2.8–8.9
19	58	92	6.37 ± 0.11	1.08	2.9–9.0
20	125	95	6.36 ± 0.11	1.11	3.4–8.6

El diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de las progenies evaluadas varió entre 5.03 y 7.26 cm. La progenie 83 presentó el mayor diámetro medio (7.26 ± 0.19 cm), seguida por las progenies 8 (6.79 ± 0.15 cm) y 65 (6.77 ± 0.19 cm). En contraste, las menores medias se registraron en las progenies 119 (5.03 ± 0.13 cm), 125 (5.17 ± 0.12 cm) y 68 (5.24 ± 0.13 cm) (Figura 3, Tabla 5).

Estos resultados son comparables con los reportados por Mahmood et al. (2009), quienes evaluaron familias y procedencias de *E. camaldulensis* en suelos salinos de Pakistán y encontraron un DAP promedio general de 7.4 cm a los 60 meses de edad, con valores extremos entre 5.0 y 9.1 cm según la procedencia. Los valores máximos obtenidos en el presente estudio se sitúan dentro de este rango, lo que indica un desempeño similar de las mejores progenies evaluadas.

De igual forma, en un ensayo de procedencias y familias realizado en Tailandia se detectaron diferencias significativas en diámetro entre regiones, procedencias y familias de *E. camaldulensis* (Pinyopusarek et al., 1996) confirmando que el crecimiento en diámetro está fuertemente influenciado por la variabilidad genética existente dentro de la especie.

Por otra parte, estudios más recientes en Brasil reportaron promedios de diámetro de 10.63 cm a los tres años y 12.40 cm a los seis años de edad en progenies de *E. camaldulensis*, valores superiores a los observados en el presente estudio (Queiroz et al., 2019). Estas diferencias pueden atribuirse a la edad de evaluación, las condiciones ambientales, la calidad del sitio y el origen genético de los materiales utilizados. Sin embargo, al igual que en la presente investigación, los autores encontraron diferencias significativas entre progenies para el crecimiento en diámetro, lo que resalta el potencial de la selección genética temprana para incrementar la productividad de las plantaciones.

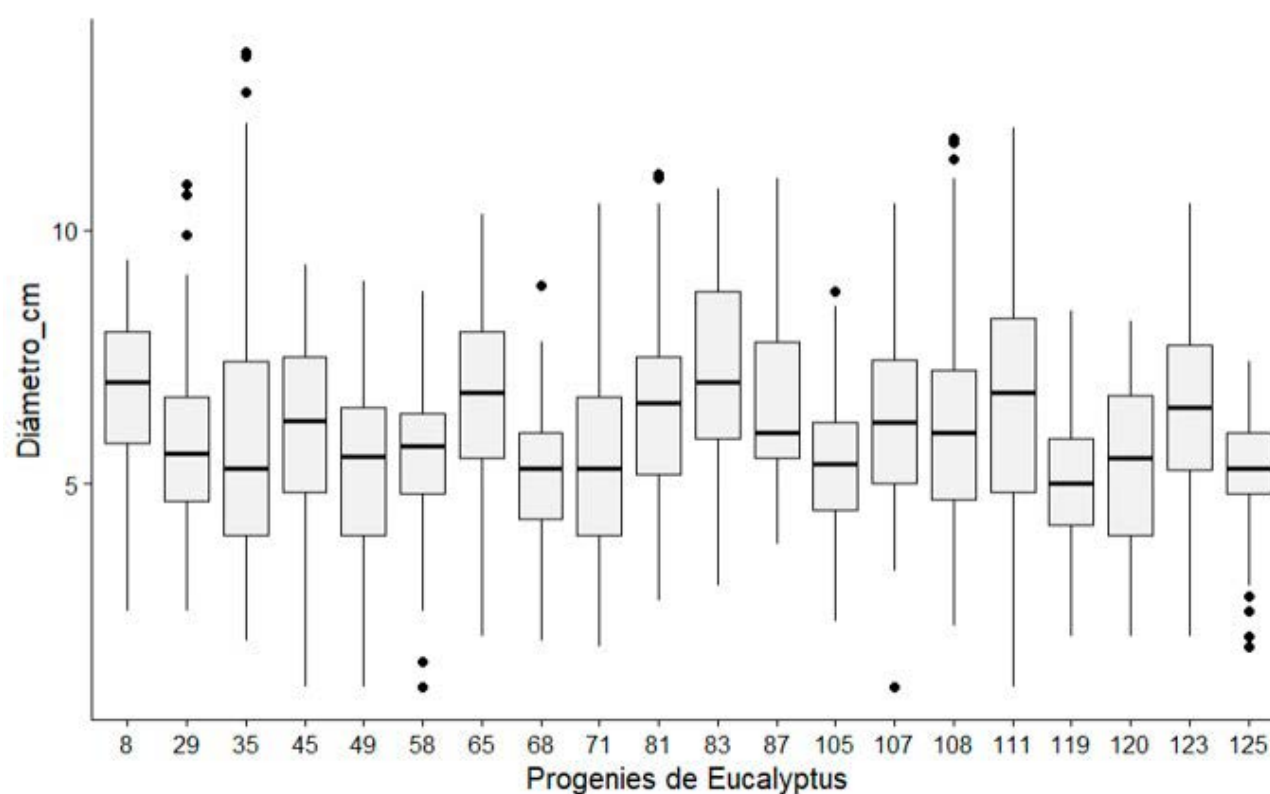


Figura 3. Diámetro media de progenies de *E. camaldulensis* en Nicaragua.

Tabla 5. Descripción del análisis descriptivo de diámetro media de progenies de *E. camaldulensis* en Nicaragua.

Nº	Progenie	N	Diámetro medio \pm EE (cm)	Desviación Estándar (cm)	Rango (mín-máx) (cm)
1	83	93	7.26 \pm 0.19	1.85	3.0–10.8
2	8	91	6.79 \pm 0.15	1.44	2.5–9.4
3	65	97	6.77 \pm 0.19	1.82	2.0–10.3
4	87	100	6.75 \pm 0.19	1.89	3.8–11.0
5	111	91	6.69 \pm 0.25	2.34	1.0–12.0
6	81	94	6.60 \pm 0.20	1.98	2.7–11.1
7	123	92	6.45 \pm 0.20	1.95	2.0–10.5
8	108	91	6.32 \pm 0.23	2.21	2.2–11.8
9	45	78	6.21 \pm 0.20	1.79	1.0–9.3
10	107	94	6.15 \pm 0.17	1.69	1.0–10.5
11	35	85	5.98 \pm 0.31	2.81	1.9–13.5
12	29	96	5.75 \pm 0.17	1.7	2.5–10.9
13	58	92	5.58 \pm 0.15	1.42	1.0–8.8
14	105	92	5.50 \pm 0.15	1.42	2.3–8.8
15	120	88	5.41 \pm 0.17	1.59	2.0–8.2
16	49	92	5.34 \pm 0.18	1.71	1.0–9.0
17	71	77	5.27 \pm 0.22	1.94	1.8–10.5
18	68	93	5.24 \pm 0.13	1.28	1.9–8.9
19	125	95	5.17 \pm 0.12	1.16	1.8–7.4
20	119	94	5.03 \pm 0.13	1.25	2.0–8.4

El análisis de agrupamiento jerárquico mediante el método de Ward (Ward.D2) permitió clasificar las 20 progenies de eucalipto en cuatro grupos principales. Los grupos I y II estuvieron conformados por progenies con alta similitud entre sí, mientras que los grupos III (Progenies 35, 108, 45 y 107) y IV (83, 87, 111, 65, 123, 8 y 81) constituyeron un segundo conjunto diferenciado (Figura 4) siendo estos grupos los que contienen varias de las progenies con mejor desempeño en crecimiento. Estos mismos resultados se dieron en la ordenación bidimensional de las progenies en el espacio del *biplot* del análisis de componente principal identificando tres agrupamientos fenotípicos claramente diferenciados. Las progenies 65, 83, 111, 8 y 81 destacaron por exhibir el mayor desarrollo radial, área basal y rendimiento volumétrico, posicionándose en la dirección de máxima influencia de dichos vectores; asimismo, las progenies 123, 45 y 107 se desplazaron hacia el cuadrante superior derecho, consolidándose como materiales sobresalientes con énfasis en el crecimiento en altura comercial (Figura 5). Estos genotipos se perfilan como los candidatos idóneos para programas de selección y mejoramiento genético orientados a maximizar la productividad de madera. La distancia de agrupamiento observada indica una marcada divergencia entre ambos conjuntos principales, sugiriendo la existencia de variabilidad genética y fenotípica entre las progenies evaluadas.

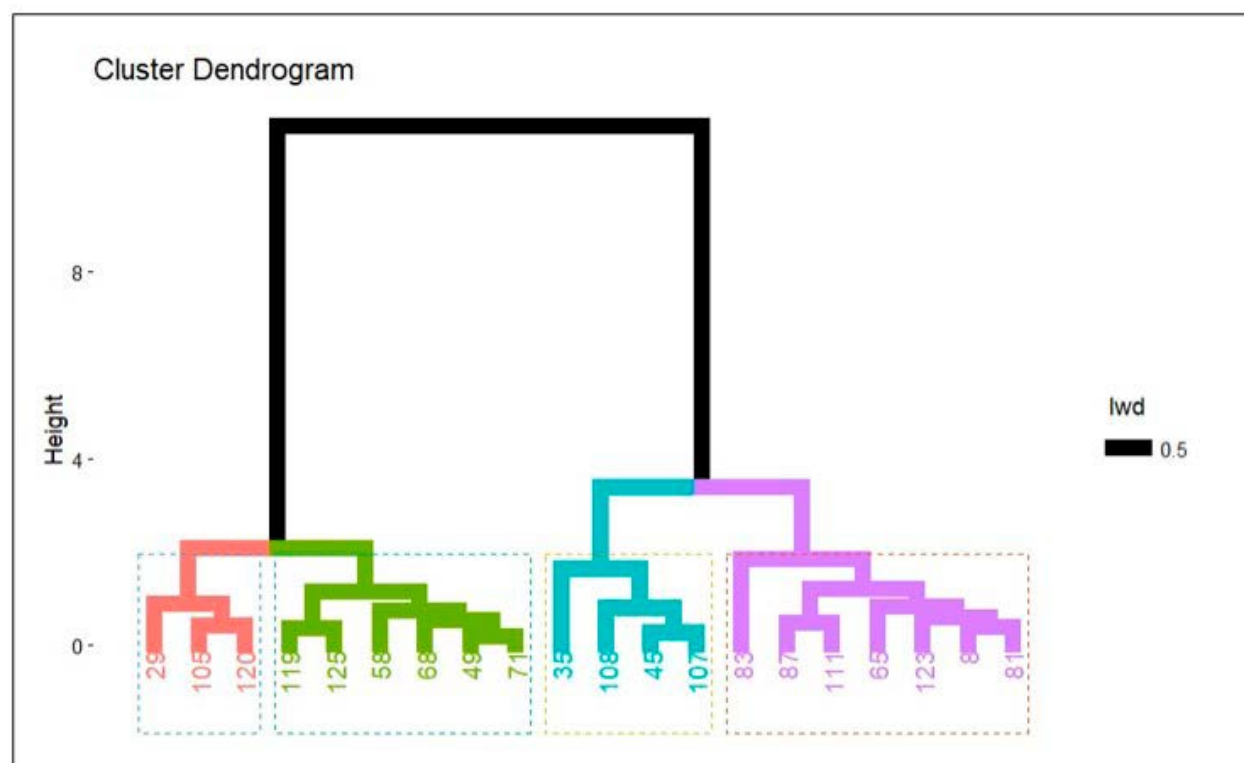


Figura 4. Dendrograma de agrupamiento jerárquico de 20 progenies de Eucalyptus obtenido mediante el método de Ward (Ward.D2)

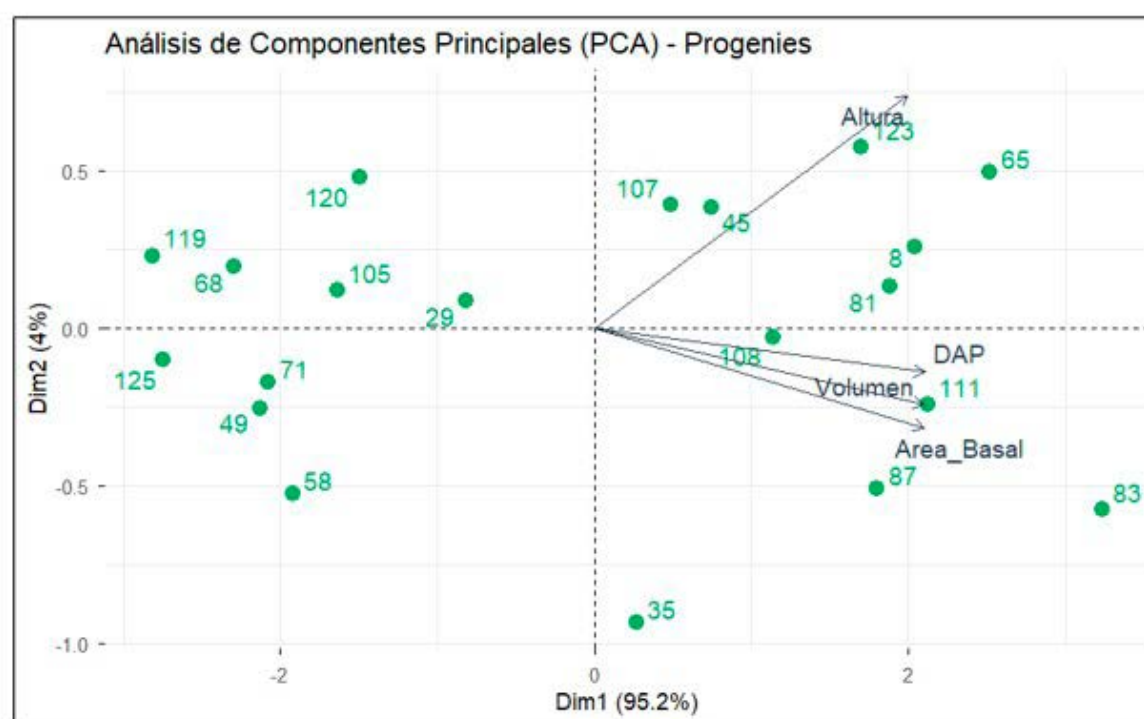


Figura 5. Análisis de Componentes Principales (ACP) de variables morfológicas en progenies forestales.

Los vectores indican la dirección y magnitud de las variables cuantitativas (diámetro, altura, área basal y volumen). Los puntos representan la dispersión fenotípica de las progenies según sus valores promedio.

Resultados similares fueron reportados por [Poke et al. \(2005\)](#), quienes emplearon análisis multivariados y de agrupamiento en poblaciones de *Eucalyptus camaldulensis* de Australia. Los autores identificaron varios grupos genéticos bien definidos asociados a su origen geográfico, concluyendo que la divergencia entre grupos representaba una fuente valiosa de variabilidad para programas de selección y conservación genética. De manera semejante, la formación de grupos diferenciados en el presente estudio indica que las progenies poseen distintos niveles de similitud y pueden aportar diversidad genética cuando son utilizadas como progenitores.

Por otra parte, [Moraes et al. \(2007\)](#), trabajando con progenies de eucalipto en Brasil, observaron que los grupos formados mediante análisis de conglomerados coincidían con diferencias en características de crecimiento y productividad. Estos autores destacaron que la identificación de grupos divergentes permite seleccionar genotipos complementarios para maximizar la ganancia genética y reducir la endogamia.

Conclusiones

Entre las progenies evaluadas, las progenies 65, 83, 8, 123 y 81 mostraron el mejor desempeño en crecimiento, destacándose la progenies 65 y 8 como candidatos promisorios para programas de mejoramiento genético y para el establecimiento de futuros rodales semilleros. Asimismo, los análisis multivariados permitieron identificar patrones de similitud y divergencia entre las progenies. Tanto el análisis de conglomerados como el análisis de componentes principales señalaron que las progenies 65, 83, 111, 8, 81, 123, 45 y 107 conforman grupos con elevado potencial productivo.

La diferenciación observada entre los grupos pone de manifiesto la existencia de una base genética amplia dentro de la población estudiada, condición favorable para la selección de progenitores genéticamente divergentes y para maximizar la ganancia genética en futuras generaciones. En conjunto, los resultados confirman el potencial de estas progenies para fortalecer los programas de mejoramiento genético forestal de *Eucalyptus camaldulensis* en Nicaragua.

Declaraciones

Fondos: Autofinanciado

Conflicto de intereses: No revelaron conflictos de intereses.

Cumplimiento de estándares éticos: No se realizó ningún experimento con animales mayores o personas.

Contribuciones de Autores: Todos los autores contribuyeron en: conceptualización, metodología, redacción, análisis de datos, borrador original, redacción, revisión y edición.

Disponibilidad de datos: Los conjuntos de datos están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable

Referencias bibliográficas

- Alvear, C., & Gutiérrez, B. (1995). Crecimiento hasta los 42–44 meses de edad y estimación de parámetros genéticos de 23 procedencias y 196 familias de *Eucalyptus camaldulensis* en cuatro sitios de Chile. *Ciencia e Investigación Forestal*, 9(1), 23–46. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.1995.212>
- Aspinwall, M. J., Blackman, C. J., Maier, C., Tjoelker, M. G., Rymer, P. D., Creek, D., Chieppa, J., Griffin-Nolan, R. J., & Tissue, D. T. (2023). Aridity drives clinal patterns in leaf traits and responsiveness to precipitation in a broadly distributed Australian tree species. *Plant-Environment Interactions*, 4(2), e10102. <https://doi.org/10.1002/pei3.10102>
- Bárcenas, M., Rostran, J. & Silva, P. (2017). Condiciones climáticas del Campus Agropecuario. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/5445/1/B0001.pdf>
- Bush, D. J., Marcar, N. E., Arnold, R. J., & Crawford, D. F. (2013). Assessing genetic variation within *Eucalyptus camaldulensis* for survival and growth on two spatially variable saline sites in southern Australia. *Forest Ecology and Management*, 306, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.008>
- Craig, E., & Momo, F. (2012). Crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. en relación a atributos edafoambientales a nivel de micrositio en Luján, Buenos Aires, Argentina. *Ciencia & Investigación Forestal*, 18(3), 35–50. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2012.392>
- Dvorak, W. S. (2001). *Situación del programa de mejoramiento genético forestal en el Banco Nicaragüense de Semillas y oportunidades de desarrollo futuro*. Asistencia Técnica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Banco de Semillas Forestales de Nicaragua.
- Dvorak, W. S., Jordan, A. P., Hodge, G. R., & Romero, J. L. (2000). *Eucalyptus in the CAMCORE Cooperative*. Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative (CAMCORE), North Carolina State University.
- Eldridge, K. G., Davidson, J., Harwood, C. E., & Van Wyk, G. (1994). *Eucalypt domestication and breeding*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198541493.001.0001>
- Mahmood, K., Naqvi, M. H., & Marcar, N. (2009). Genetic variation in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. in a provenance-family trial on saline soil. *Pakistan Journal of Botany*, 41(5), 2281–2287. https://www.pakbs.org/pjbot/paper_details.php?id=2035

- Murillo, O. (2004). *Calidad y valoración de plantaciones forestales*. Cartago, C.R, Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Taller de publicaciones del ITCR. . Cartago, Costa Rica.
- Pinyopusarerk, K., Doran, J. C., Williams, E. R., & Wasuwanich, P. (1996). *Variation in growth of Eucalyptus camaldulensis provenances in Thailand*. *Forest Ecology and Management*, 87(1–3), 63–73. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03835-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03835-2)
- Moraes, M. A., Zanatto, A. C. S., Moraes, E., Sebbenn, A. M., & Freitas, M. L. M. (2007). Variabilidade genética para caracteres silviculturais em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus camaldulensis* em Luiz Antônio - SP. *Revista do Instituto Florestal*, 19(2), 113–118. <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2007192354>
- Poke, F. S., Vaillancourt, R. E., Potts, B. M., & Reid, J. B. (2005). Genetic structure and diversity of natural populations of *Eucalyptus camaldulensis*. *Australian Journal of Botany*, 53(5), 415–432. <https://doi.org/10.1071/BT04144>
- Queiroz, M. de M., Arriel, D. A. A., Tsukamoto Filho, A. de A., Oliveira, O. E., Moraes, P. M., Skowronski, L., & Costa, R. B. da. (2019). Early selection in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. progenies in Savanna, Brazil. *African Journal of Biotechnology*, 18(16), 347–351. <https://doi.org/10.5897/AJB2018.16729>
- Ray, D., Berlin, M., Alía, R., Sánchez, L., Hynynen, J., González-Martínez, S. C., & Bastien, C. (2022). *Transformative changes in tree breeding for resilient forest restoration*. *Frontiers in Forests and Global Change*, 5, 1005761. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.1005761>
- Sniezko, R. A., Koch, J., Liu, J.-J., & Romero-Severson, J. (2023). *Will genomic information facilitate forest tree breeding for disease and pest resistance?* *Forests*, 14(12), 2382. <https://doi.org/10.3390/f14122382>
- Van den Broek, R., Van Wijk, A., & Turkenburg, W. (1998). Heat and power from eucalyptus and bagasse in Nicaragua: Part B: Results of environmental, macro-and micro-economic evaluation. In *Biomass for energy and industry: 10th European conference and technology exhibition, Wurzburg* (pp. 965–968). CARMEN.
- Yepes, A. (2008). *Dinámica de un Bosque Primario Premontano de los Andes Colombianos*. Tesis de Posgrado en Bosques y Conservación Ambiental. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. . Medellín, Colombia.
- Zobel, B. J., & Talbert, J. T. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons.