



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales

Evaluación producción de plantas de Ulmo (*Eucryphia cordifolia*) 1:0 en contenedor, vivero Bosques del Sur, Valdivia, Chile

Patrocinante: Sr. Oscar Thiers E.

Trabajo de Tesina presentado como parte
de los requisitos para optar al Título de
Ingeniero Forestal

MARCELO RICARDO RAIN KRAM

VALDIVIA

2025

	Índice de materias	Pág
i	Calificación del Comité de Titulación	i
ii	Resumen ejecutivo	ii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Características de la especie <i>Eucryphia cordifolia</i>	2
1.2	Viverización de <i>Eucryphia cordifolia</i>	3
1.3	Morfología de plantas e índices de calidad	4
2	MÉTODOS	7
2.1	Origen y características de las plantas	7
2.2	Diseño de muestreo y clasificación de plantas	7
2.3	Análisis de laboratorio y muestreo destructivo	8
2.4	Análisis granulométrico del sustrato	8
2.5	Procesamiento de datos y cálculo de índices de calidad de planta	9
4	RESULTADOS	9
4.1	Análisis descriptivo de las plantas de <i>Eucryphia cordifolia</i>	9
4.2	Biomasa por componentes aéreo y raíz	10
4.3	Relación entre diámetro, altura y biomasa	12
4.4	Indicadores de calidad de plantas de <i>Eucryphia cordifolia</i>	13
4.5	Variación física del sustrato para la viverización	16
5	DISCUSIÓN	17
5.1	Análisis integrado de calidad morfológica y biomasa	17
5.2	Indicadores de calidad de plantas de <i>Eucryphia cordifolia</i>	19
5.3	Variación física del sustrato para la viverización	21
6	CONCLUSIONES	23
7	REFERENCIAS	24
Anexos	1 Base de datos 100 plantas medidas en vivero	
	2 Base de datos 60 plantas análisis de laboratorio	
	3 Datos granulométricos del sustrato seco	
	4 Fotografía de plantas en laboratorio de suelos	
	5 Fotografía de plantas separadas por componentes	
	6 Categorización de plantas según DAC y Altura total	
	7 Significancia modelos de gráficos de dispersión	

Calificación del Comité de Titulación

	Nota
Patrocinante: Sr. Oscar Thiers E.	<u>6,9</u>
Informante: Sr. Fernando Droppelmann F.	<u>6,7</u>
Informante: Sra. Maritza Obando C.	<u>6,9</u>

El Patrocinante acredita que el presente Trabajo de Titulación cumple con los requisitos de contenido y de forma contemplados en el Reglamento de Titulación de la Escuela. Del mismo modo, acredita que en el presente documento han sido consideradas las sugerencias y modificaciones propuestas por los demás integrantes del Comité de Titulación.



Sr. Oscar Thiers E.

Resumen

Este estudio aborda la evaluación de la calidad morfológica de plantas de ulmo (*Eucryphia cordifolia*) producidas en el vivero Bosques del Sur, una especie nativa de gran relevancia ecológica y económica para procesos de restauración y reforestación en el sur de Chile. La importancia de esta evaluación radica en asegurar la calidad de las plantas utilizadas en estos procesos, lo que impacta directamente en el éxito del establecimiento en terreno. El objetivo fue caracterizar morfológica y funcionalmente las plantas clasificadas en tres categorías de tamaño: chicas, medianas y grandes. Se analizaron variables de crecimiento (altura total, diámetro al cuello), biomasa aérea y radicular, índices de calidad como lo es el de Dickson y el índice de esbeltez, y características físicas del sustrato. Metodológicamente, se midieron y compararon estos atributos entre categorías de tamaño, empleando análisis estadísticos para determinar diferencias significativas. Los principales resultados indicaron que las plantas grandes presentaron un desarrollo superior, con mayor altura ($57,7 \pm 4,3$ cm), diámetro ($4,41 \pm 0,45$ mm), y biomasa total ($8,55 \pm 1,65$ mm). Además, mostraron mejores índices de calidad, como un mayor valor del índice de Dickson ($0,55 \pm 0,16$), lo que refleja una planta más robusta y balanceada. El sustrato no presentó diferencias relevantes entre categorías. Estos resultados permiten orientar decisiones de selección de planta en vivero, priorizando aquellas con mayor potencial de establecimiento. A nivel aplicado, contribuyen a mejorar prácticas de producción en vivero, optimizar recursos y aumentar el éxito de proyectos de restauración ecológica, aportando también evidencia científica sobre la relación entre atributos morfológicos y la calidad de las plantas.

Palabras clave: *Eucryphia cordifolia*, parámetros de crecimiento, biomasa, índices de calidad.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de las plantas en viveros son factores clave para garantizar el éxito de programas de forestación, reforestación o restauración ecológica. La plantación de especies nativas representa una de las estrategias más utilizadas y prometedoras para recuperar sitios degradados (Acevedo *et al.* 2021).

La producción de plantas nativas en Chile presenta importantes deficiencias, destacando la escasa disponibilidad de ejemplares de calidad. Esta situación ha sido identificada como uno de los principales cuellos de botella que dificultan el avance de los procesos como la restauración de ecosistemas en el país, debido a la limitada oferta nacional y a la necesidad de mejorar tanto la calidad como la diversidad de especies nativas disponibles en viveros (Bannister *et al.* 2018).

Para los próximos años, aumentará la demanda de plantas nativas producidas bajo el concepto de "planta objetivo", ya que permitirá definir y producir plantas con características morfofisiológicas, genéticas y funcionales específicas para cada sitio de plantación, aumentando así las probabilidades de establecimiento exitoso y crecimiento vigoroso en condiciones adversas (Davis y Pinto 2021).

En este contexto, el estudio de ulmo (*Eucryphia cordifolia*), una especie nativa de gran relevancia ecológica y económica en los bosques templados de Chile, destacando su característica multifuncional (madera, miel, follaje, etc.). La optimización de las técnicas de cultivo en vivero, basada en una caracterización adecuada de la calidad de las plantas, es esencial para aumentar su probabilidad de supervivencia y adaptación en ambientes naturales, incluso, en condiciones de cambio climático futuro proyectado. En la actualidad, a pesar del significativo valor ecológico y potencial productivo de las especies del bosque nativo chileno, las tasas de plantación y enriquecimiento de estas especies continúan siendo marginales. Entre las principales limitaciones se encuentran la escasa oferta de semillas y plantas de alta calidad, así como la insuficiente producción, lo que afecta directamente la capacidad para el establecimiento de las futuras plantaciones con diversos fines.

En el presente estudio, se busca complementar estos esfuerzos, analizando la producción de plantas de ulmo (*Eucryphia cordifolia*) generadas en el vivero Bosques del Sur, propiedad de la Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Universidad Austral de Chile.

El objetivo general es evaluar la calidad de las plantas de *E. cordifolia* producidas en contenedor.

Los objetivos específicos son caracterizar las plantas de *E. cordifolia* mediante indicadores de calidad y analizar el sustrato utilizado mediante comparación de plantas pequeñas, medianas y grandes.

1.1 Características de la especie *Eucryphia cordifolia*

Eucryphia cordifolia es una especie arbórea endémica de los bosques del sur de Chile. En la Cordillera de Los Andes, crece desde la región del Biobío (38°20'S) hasta la región de Palena, lago Yelcho (42°50'S), normalmente a altitudes menores a 700 m.s.n.m., mientras que, en la Cordillera de la Costa, desde Nahuelbuta hasta el sur de la isla de Chiloé (43°20'S). Al sur de los 38°, se encuentra desde la Depresión Intermedia hasta Puerto Montt, continuando por la Isla de Chiloé (Donoso 2013). El clima predominante es oceánico templado húmedo, con precipitaciones que varían entre 1.500 y 4.000 mm anuales y temperaturas moderadas, con un promedio de 11°C. Debido a estas condiciones, su altitud máxima de desarrollo es limitada y su distribución no se extiende más hacia el sur (Donoso 2013). Se desarrolla en suelos profundos, bien drenados y con alta cantidad de materia orgánica. No obstante, ha adquirido la capacidad de colonizar áreas de alta humedad, incluidos los ñadis (Quiroz *et al.* 2001). Crece bajo condiciones de topografía suave. Se encuentra en laderas montañosas y es poco común encontrarlo en pendientes abruptas. En la Cordillera de los Andes desde Malleco – Cautín al sur, se ubica bajo los 750 m.s.n.m. (Donoso 2013).

Se caracteriza por su copa redondeada, tronco recto, y una corteza lisa de color gris pardo. Alcanza hasta 40 metros de altura total y 2 metros de diámetro, y sus hojas son opuestas, con un borde suavemente dentado y una forma aovada a oblonga. Sus flores son hermafroditas, de color blanco y llamativas, con cuatro pétalos y numerosos estambres blancos. El fruto es una cápsula leñosa y alargada, coronada por estilos persistentes, que mide aproximadamente 1,5 x 1,0 cm y adquiere un tono café oscuro al madurar. Está compuesto por 10 a 12 celdas en forma de bote, cada una contiene de 2 a 3 semillas ovaladas de color café, con alas laterales de aproximadamente 6 x 2 mm (Morales 2013).

Se encuentra preferentemente asociado a los tipos forestales roble-raulí-coihue, donde forma parte del dosel emergente con pocos individuos junto al roble, y al tipo forestal siempreverde, como especie dominante o emergente, superando el dosel denso en 5 a 10 metros, compuesto por especies con mayor tolerancia a la sombra, como el laurel, el mañío de hojas cortas y el trevo (Escobar *et al.* 2006). Se regenera habitualmente por rebrotes en tocones de árboles muertos, ya sea en pie o caídos, así como por rebrotes de las raíces de árboles adultos. Su regeneración ocurre principalmente en claros, y en ciertas situaciones puede considerarse una especie colonizadora. Según la dinámica de sus comunidades, se le clasifica como una especie semitolerante a la sombra (Donoso 2013).

Entre sus usos, esta especie es la más utilizada en el sur de Chile para la producción de leña, considerada de calidad insuperable. Además, es reconocida por sus flores, que atraen a las abejas melíferas, lo que permite producir una miel de excelente sabor, altamente valorada. Su atractiva floración

la convierte en una especie con gran potencial ornamental y para el paisajismo. La madera, de notable resistencia y un color distintivo, es muy apreciada en la fabricación de muebles y en diversas construcciones (Donoso 2013).

1.2 Viverización de *Eucryphia cordifolia*

En Chile, la viverización de *Eucryphia cordifolia* comienza con la recolección de semillas, un proceso crucial para asegurar el éxito en el establecimiento de plantas en el vivero. La calidad y viabilidad de las semillas son determinantes para este proceso. La recolección de semillas de *E. cordifolia* se lleva a cabo entre marzo y abril, directamente desde el árbol, cuando los frutos alcanzan la madurez. Este momento es esencial para garantizar que las semillas hayan alcanzado su madurez fisiológica, lo que favorece su viabilidad y germinación. La recolección directa permite seleccionar las semillas de mejor calidad y evita su pérdida por dispersión natural (Quiroz *et al.* 2001).

Según López (1998), citado en Quiroz *et al.* (2001), la germinación se define como el nacimiento y desarrollo de las estructuras primarias derivadas del embrión, lo que indica la capacidad de producir una planta normal en condiciones favorables. Este proceso comienza con la absorción de agua, reactivando el metabolismo y dando inicio al crecimiento. En el caso del *E. cordifolia*, según Quiroz *et al.* (2001), se presenta un tipo de latencia fisiológica, en la cual la germinación es inhibida por un mecanismo fisiológico. Se señala que el almacenamiento en cámaras de frío durante un periodo de 6 meses resulta eficaz para conservar la viabilidad de sus semillas. Este método permite alcanzar un porcentaje de germinación del 92%, demostrando su efectividad para mantener las semillas en condiciones óptimas antes de su siembra. Además, Quiroz *et al.* (2001) destaca la efectividad de la estratificación en arena húmeda a 4 °C durante 30 a 40 días como una técnica complementaria para promover la germinación. Este tratamiento facilita la ruptura de la latencia de las semillas, favoreciendo un desarrollo inicial uniforme y mejorando las condiciones de germinación entre el 80% y el 93%.

En el Viveros Bosques del Sur¹, el desarrollo de las plantas se lleva a cabo en tubetes dispuestos en bandejas forestales de 84 cavidades. Como sustrato, se utiliza corteza compostada de *Pinus radiata*, mezclada con Basacote, un fertilizante de liberación controlada. Se depositan entre 8 y 10 semillas por cavidad, que luego se trasladan a una cámara de pregerminación con temperatura controlada entre 18 y 22°C para acelerar la emergencia.

Una vez que se observa la germinación, las bandejas son llevadas al invernadero, donde se mantienen bajo condiciones ambientales específicas y un régimen de riego adecuado. A los 2–3 meses,

¹ Sra. Maritza Obando, jefa Vivero Bosques del Sur. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile. Comunicación personal.

las plantas se retiran y trasladan al exterior para iniciar el proceso de acondicionamiento en el sombreadero del vivero, el cual consta de platabandas elevadas y cubiertas con malla Raschel de 50 % sombra. Finalmente, la malla se retira para completar la fase de lignificación durante los meses más fríos del año, coincidiendo con el otoño e invierno. Durante este proceso, los tejidos vegetales aumentan su contenido de lignina, lo que mejora su resistencia mecánica y reduce la transpiración, haciéndolas más tolerantes a condiciones adversas como el estrés hídrico y el viento. Este endurecimiento es fundamental para garantizar la adaptación y supervivencia de las plantas una vez trasplantadas a su ambiente definitivo.

El tipo de sustrato utilizado corresponde a corteza compostada de *Pinus radiata*. La utilización de este sustrato obedece a que mejora la aireación y el drenaje, aporta materia orgánica estable, mejorando la retención de agua y nutrientes, y disminuye patógenos y toxinas gracias al compostaje. Especial atención debe considerarse en la granulometría, ésta debe ser balanceada para lograr un sustrato que retenga suficiente agua, drene bien y mantenga una buena aireación, todo lo cual es esencial para el crecimiento saludable de las plantas. Normalmente las partículas no tienen un tamaño uniforme ni una forma esférica, lo que influye en la porosidad: a mayor tamaño promedio de las partículas, mayor será la porosidad del sustrato, y viceversa. Se ha observado que el porcentaje de partículas en cada intervalo granulométrico, en relación con el peso seco total, permite identificar dos fenómenos simultáneos. El primero es el fraccionamiento de partículas gruesas o de tamaño intermedio, y el segundo, la migración o pérdida de partículas más finas (Orozco y Marfà 1995). Según Alcoser (1981), la distribución de tamaños de partículas influye directamente en la capacidad del sustrato para retener agua y aire, factores esenciales para el desarrollo de las raíces. Una granulometría fina tiende a mejorar la retención de agua, pero puede limitar la aireación, mientras que una granulometría más gruesa favorece el drenaje y la oxigenación, pero reduce la capacidad de campo.

Por otro lado, los sustratos con granulometría irregular pueden provocar acumulación de agua en ciertas zonas, lo que aumenta el riesgo de anoxia radicular. Según Alzugaray *et al.* (2004), las plantas con una granulometría adecuada en su sustrato inicial mantuvieron una relación tallo-raíz estable, lo que se traduce en mayores tasas de supervivencia y mejor desempeño morfológico durante las primeras dos temporadas de crecimiento.

1.3 Morfología de plantas e índices de calidad

La morfología se define como la forma o estructura de un organismo o de cualquiera de sus partes (Thompson 1985). La morfología de una planta cultivada en contenedor en un vivero forestal es el resultado de las características genéticas de las plantas, las condiciones ambientales del vivero y las

prácticas de cultivo empleadas, como la fecha de siembra, la densidad de cultivo, el tipo de contenedor, el grado de sombreo, el régimen de fertilización y riego, las podas aéreas, entre otras (Navarro *et al.* 2006).

Siendo los más comunes la altura de la parte aérea, el diámetro del cuello y los pesos secos de la raíz y la parte aérea, todos ellos descriptores del grado de desarrollo de las partes aérea y radical, deberían elegirse los atributos que mejor puedan predecir el establecimiento de la planta en campo en términos de supervivencia y crecimiento y, a la vez, sean sencillos y rápidos de obtener (Navarro *et al.* 2006).

Los atributos morfológicos de las plantas, como la altura total, el diámetro de cuello y la forma del tallo, pueden tener una relación significativa con la supervivencia y el crecimiento inicial en terreno. Según Aguiar y Mello (1974), estas características influyen en la capacidad de adaptación de las plantas a las condiciones del ambiente, como la disponibilidad de agua y nutrientes. En este sentido, una buena morfología puede mejorar la competitividad de las plantas, favoreciendo su desarrollo y aumentando las probabilidades de supervivencia en el terreno.

Un índice morfológico se define como un indicador cuantitativo que combina múltiples atributos físicos de una planta, como la altura, el diámetro del cuello de la raíz, y el peso seco, con el propósito de predecir el desempeño en campo de las plántulas. Estos índices permiten sintetizar en una sola métrica la calidad morfológica, facilitando la evaluación y comparación entre diferentes lotes de plántulas (Thompson 1985).

Las plantas utilizadas en actividades de forestación no solo deben poseer un origen genético acorde al objetivo de la plantación y las condiciones del sitio en que serán establecidas; también deben cumplir con condiciones mínimas de calidad, entendida ésta como el conjunto de atributos que permitan garantizar su capacidad para establecerse y crecer exitosamente en terreno (Quiroz *et al.* 2001). La esbeltez, definida como el cociente entre la altura y el diámetro en el cuello, y la relación entre el peso seco de la parte aérea y el peso seco radical (PA/PR), son los indicadores más comúnmente empleados. Además, el índice de Dickson, que combina la esbeltez y la relación PA/PR, junto con la morfología del sistema radical evaluada mediante peso seco, volumen, longitud, arquitectura o fibrosidad, también se han utilizado ampliamente como atributos para evaluar la calidad morfológica de plantas forestales cultivadas en vivero (Navarro *et al.* 2006).

La relación tallo/raíz Se define como la razón entre el peso seco de la parte aérea (tallo y hojas) y el peso de la raíz (Escobar 2007). En ambientes con restricciones hídricas, las plantas tienden a desarrollar un mayor sistema radicular para explorar y captar agua, mientras reducen su biomasa aérea para

minimizar las pérdidas por evapotranspiración. Por otro lado, en condiciones favorables de humedad, las plantas pueden priorizar el crecimiento aéreo (Rodríguez 2008).

El coeficiente de esbeltez (IE). Relación entre el largo de tallo y el diámetro de cuello. Es un buen indicador de la planta para soportar daños físicos (Thompson 1985). Valores mayores corresponden a plantas más esbeltas. El rango óptimo es entre 5 y 10 para que sea una planta equilibrada, si es menor a 5 sería una planta de baja altura respecto a su DAC, y sobre 10 una planta muy alta respecto al DAC (Quiroz *et al.* 2009). La ecuación para calcular el IE es la siguiente (Sáenz *et al.* 2007):

$$IE = \frac{\text{Altura total de la parte aérea (cm)}}{\text{Diámetro de cuello (mm)}} \quad [1]$$

Índice de calidad de Dickson (ID). Este índice combina la masa seca total de la planta (g) con la suma del Índice de Esbeltez y la Relación Parte Seca Aérea/Parte Seca Radical o Índice Tallo-Raíz. Representa un indicador del equilibrio en la distribución de biomasa y robustez, lo que permite evitar la selección de plantas desproporcionadas y no descartar aquellas de menor altura, pero con mayor vigor (Quiroz *et al.* 2001). El Índice de Dickson es clave para evaluar la proporción adecuada de tamaño y peso seco de las plantas (Hernández 2007). La ecuación para calcular el ID es la siguiente (Sáenz *et al.* 2007):

$$ID = \frac{\text{Peso seco total (g) por planta}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro de cuello (mm)}} + \frac{\text{Peso seco tallo (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}} \quad [2]$$

También se pueden realizar modificaciones o generar variantes del Índice de Dickson, considerando solo la relación entre la masa seca total y el Índice de Esbeltez, excluyendo la relación tallo-raíz. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IDMOD1 = \frac{\text{Peso seco total (g) por planta}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro de cuello (mm)}}} \quad [3]$$

En la misma línea se puede incorporar, además de la relación de altura y diámetro, la suma del peso seco del tallo y las hojas. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IDMOD2 = \frac{\text{Peso seco total (g) por planta}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro de cuello (mm)}} + (\text{Peso seco tallo (g)} + \text{Peso seco hojas (g)})} \quad [4]$$

Existe escasa información sobre los resultados de calidad en sistemas de producción de plantas 1:0 de *Eucryphia cordifolia*. Sin embargo, Martínez (2016) realizó un tratamiento para determinar el efecto de la profundidad de siembra sobre la emergencia y el crecimiento de las plantas producidas en contenedor (cuadro 1).

Cuadro 1. Valor medio de variables morfológicas de *E. cordifolia*

Profundidades de siembra	Especie	Tipo planta	Altura (cm)	DAC (mm)	I. esbeltez	R. tallo/raíz	Índice de Dickson
3mm	<i>E. cordifolia</i>	1:0	21,0	2,9	7,2	2,1	0,3
5mm	<i>E. cordifolia</i>	1:0	27,2	3,7	7,2	1,7	0,6
7mm	<i>E. cordifolia</i>	1:0	26,5	3,5	7,4	1,8	0,5

Los tratamientos de diferentes profundidades de siembra (3 mm, 5 mm y 7 mm) mostraron diferencias significativas, el tratamiento T1 (3 mm) presentó los valores más bajos en germinación, sobrevivencia, atributos morfológicos e índices de calidad, en comparación con T2 (5 mm) y T3 (7 mm). El tratamiento T2 obtuvo los mejores resultados generales, aunque todas las plantas producidas cumplen con los estándares nacionales de calidad y son aptas para su establecimiento en terreno.

2. MÉTODOS

2.1 Origen y características de las plantas

Las plantas evaluadas en este estudio fueron producidas a raíz cubierta en el vivero Bosques del Sur a partir de semillas de *Eucryphia cordifolia*. Las semillas se trataron mediante un remojo de 24 horas en ácido giberélico, seguido de un lavado y la preparación del sustrato para la siembra en agosto de 2023 y finalizadas en 2024. Estas plantas se desarrollaron en contenedores de 130 cm³, con sustrato de corteza de pino compostada más Basacote de 6 meses, siguiendo los estándares de producción del vivero y con la aplicación ocasional de tratamientos preventivos en caso de presentar algún síntoma o signo de ataque de insecto u hongos como lo mencionaron los trabajadores del vivero.

2.2 Diseño de muestreo y clasificación de plantas

En abril de 2024, se realizó un muestreo aleatorio simple en el sombreadero del vivero, seleccionando al azar 100 plantas de *Eucryphia cordifolia* iniciada su producción en la temporada 2023. Durante este proceso, se registraron dos variables morfológicas principales: el diámetro a la altura del

cuello (DAC) en mm y la altura total de cada planta (HT) en cm, con el objetivo de clasificarlas en categorías de tamaño: pequeñas, medianas y grandes (Anexo 6). En total se seleccionaron 60 plantas distribuidas equitativamente ($n=20$) entre las tres categorías mencionadas. Estas plantas fueron enviadas al Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales de la Universidad Austral de Chile para realizar un muestreo destructivo.

2.3 Análisis de laboratorio y muestreo destructivo

Una vez en el laboratorio, las plantas fueron rotuladas y se les asignó un código de identificación de acuerdo con las categorías establecidas. Posteriormente, se individualizaron y se llevó a cabo la medición de las variables morfológicas correspondientes.

Entre las variables evaluadas, se consideró el diámetro a la altura del cuello (DAC), el cual se midió en milímetros utilizando un pie de metro. Esta variable se define como la zona donde se observa una diferenciación clara de color entre el tallo y la raíz Thompson (1985). Asimismo, se determinó la altura total de cada planta, medida en centímetros desde el cuello hasta el ápice de la yema terminal (Thompson 1985).

Para llevar a cabo el muestreo destructivo, se separaron los componentes principales de la planta en raíces, tallo y hojas. Las raíces fueron lavadas para eliminar el sustrato, el cual se almacenó según las categorías en bolsas de plástico. Cada planta fue colocada en una bandeja de aluminio y secada en un horno a 65 °C hasta alcanzar el peso seco de cada componente (Anexos 4, 5). De este modo, se obtuvieron los pesos de biomasa seca de los componentes de las plantas, lo que permitió la determinación de los índices de calidad de las plantas.

2.4 Análisis granulométrico del sustrato

El análisis granulométrico se llevó a cabo con el sustrato utilizado en las diferentes categorías de planta (pequeña, mediana y grande). Para ello, se utilizaron muestras de sustrato previamente almacenadas. Se prepararon cinco muestras de 100 gramos de sustrato húmedo por cada categoría de planta, las cuales fueron sometidas a un proceso de tamizado con una serie de tamices de diferentes tamaños (8 mm, 6,3 mm, 4 mm, 2 mm y 1 mm), incluyendo una fracción fina para partículas < 1 mm. Posteriormente, las muestras tamizadas se secaron en un horno a 105°C durante 36 horas para eliminar completamente la humedad y estandarizar el peso de las partículas. Este procedimiento permitió clasificar el sustrato en distintas fracciones granulométricas, proporcionando información detallada sobre la distribución de tamaños de partículas en cada categoría de planta.

2.5 Procesamiento de datos y cálculo de índices de calidad de planta

Los datos fueron organizados y procesados en *Excel* y *RStudio*, donde se calcularon los índices de calidad a partir de las variables morfológicas medidas.

Los datos fueron importados a *RStudio*, donde se realizaron gráficos de análisis descriptivo para visualizar la distribución de las variables morfológicas (diámetro, altura, biomasa aérea y radical), las relaciones entre ellas y los valores obtenidos de los índices de calidad. Se utilizaron gráficos de dispersión y gráficos de caja y bigote para comparar los tratamientos y facilitar la interpretación visual de los resultados.

Las mediciones individuales de altura total (cm), diámetro del cuello (mm), peso seco de la parte aérea (g) y peso seco del sistema radical (g) se ingresaron en hojas de cálculo de *Excel*, agrupadas por tratamiento y repetición. A partir de estas variables, se calcularon los índices de calidad de planta, como el Índice de Dickson, la relación altura/diámetro, la relación peso aéreo/peso radical (y la biomasa total).

4. RESULTADOS

4.1 Análisis descriptivo de las plantas de *Eucryphia cordifolia*

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las categorías de plantas (chica, mediana y grande) en cuanto al diámetro a la altura del cuello (DAC) y altura total. Las plantas clasificadas como grandes presentaron los mayores valores promedio, con un diámetro del cuello de $4,41 \pm 0,45$ mm y una altura total de $57,70 \pm 4,31$ cm. Las plantas medianas registraron un diámetro del cuello de $3,84 \pm 0,48$ mm y una altura total de $49,23 \pm 3,63$ cm, mientras que las plantas chicas presentaron los valores más bajos, con un diámetro del cuello de $3,46 \pm 0,28$ mm y una altura total de $36,03 \pm 3,43$ cm.

El aumento del tamaño de las plantas se asoció a un mayor desarrollo en ambas variables medidas, DAC y altura total (figura 1). Los gráficos de caja evidencian diferencias consistentes entre las categorías establecidas, donde las plantas de menor tamaño presentan valores inferiores en comparación con las clasificadas como medianas o grandes. Además, la distribución dentro de cada grupo es relativamente homogénea, lo que sugiere que estas diferencias no se deben a una alta variabilidad en los datos, sino a un patrón definido de crecimiento.

Las plantas de mayor tamaño presentan un desarrollo superior tanto en altura total como en diámetro del cuello, lo que podría estar influenciado por diversos factores, como condiciones ambientales, genética o prácticas de manejo aplicadas durante su crecimiento en vivero.

El valor p extremadamente bajo ($< 0,001$) obtenido en los análisis estadísticos confirma que las categorías de tamaño influyen de manera significativa en el DAC. De igual modo, el tamaño afecta

notablemente la altura total de las plantas. Esto implica que la clasificación en categorías de tamaño no es arbitraria, sino que se asocia claramente con diferencias morfológicas medibles.

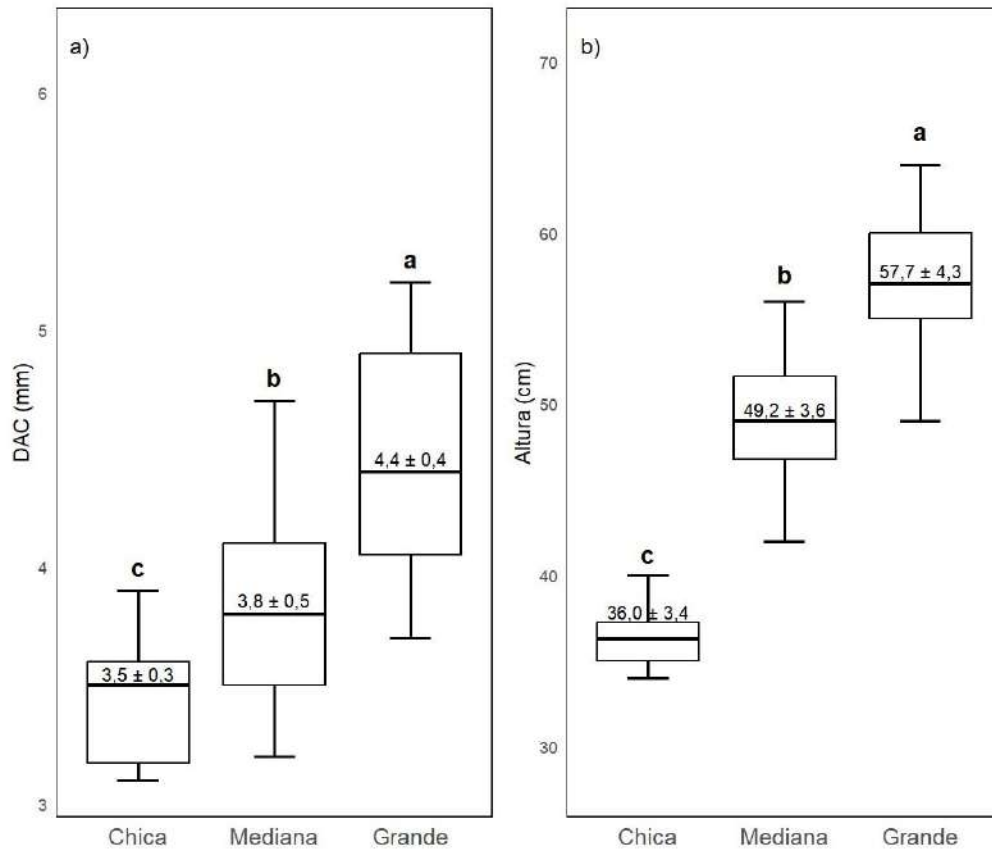


Figura 1. Resumen de variables morfológicas de las plantas de *Eucryphia cordifolia*. A) Diámetro a nivel del cuello (DAC), B) Altura total (HT). Los valores dentro de las cajas indican la media $\pm$ desviación estándar.

4.2 Biomasa por componentes aéreo y raíz

Se observaron diferencias significativas en la biomasa por componente entre las categorías de plantas chicas, medianas y grandes. En cuanto a la biomasa del tallo, las plantas de la categoría grande presentaron un promedio significativamente mayor de 2.94 ± 0.43 g, mientras que las plantas medianas alcanzaron 2.06 ± 0.42 g y las chicas 1.11 ± 0.15 g, respectivamente. El crecimiento más robusto en las plantas más grandes se evidencia por una mayor biomasa en los tallos, como se observa en la figura 2A. En lo que respecta a la biomasa de las hojas, las plantas grandes mostraron el mayor promedio con 3.33 ± 0.76 g, seguidas por las medianas con 2.66 ± 0.46 g y las chicas con 1.72 ± 0.33 g. Este patrón refleja una mayor asignación de recursos a las hojas en las plantas más grandes, lo que se ilustra en la figura 2B.

Finalmente, la biomasa de las raíces también mostró un aumento progresivo según el tamaño de la planta. Las plantas grandes presentaron un promedio de $2,28 \pm 0,79$ g, superando a las medianas con $1,54 \pm 0,50$ g y a las chicas con $1,40 \pm 0,50$ g. Este incremento sugiere un sistema radicular más desarrollado en las plantas de mayor tamaño, lo cual es crucial para la absorción de agua y nutrientes, como se observa en la figura 2C.

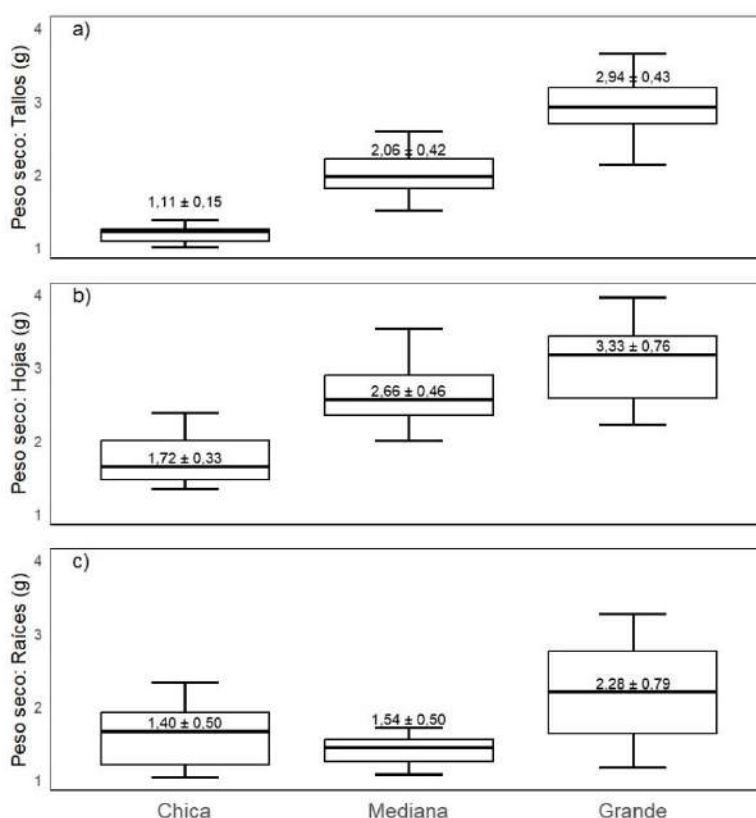


Figura 2. Biomasa por componente en plantas de *Eucryphia cordifolia*. A) Peso seco de tallos (g), B) Peso seco de hojas (g), y C) Peso seco de raíces (g). Los valores al interior de las cajas indican la media $\pm$ desviación estándar.

En general, se identificó una tendencia progresiva en la biomasa de los tallos, hojas y raíces conforme aumenta el tamaño de las plantas. Esto indica que las plantas clasificadas como grandes presentan un mayor desarrollo morfológico y una mayor asignación de recursos en comparación con las medianas y chicas. Además, los resultados sugieren que la relación entre tamaño y biomasa podría estar influenciada por factores como la disponibilidad de nutrientes y agua en el entorno de crecimiento.

4.3 Relación entre diámetro, altura y biomasa

Todas las relaciones mencionadas fueron altamente significativas (ver Anexo 7). El diámetro a la altura del cuello (DAC) y la altura total en *Eucryphia cordifolia* presentan una relación positiva y significativa, con un coeficiente de determinación ($R^2=0,38$). Aunque esta asociación no es muy fuerte, se observa una tendencia clara: las plantas con un mayor DAC muestran mayor altura total, especialmente a partir de los 4 mm (figura 3A). Esto era de esperarse, ya que un tallo más grueso generalmente proporciona mayor estabilidad y capacidad de conducción de agua y nutrientes, lo que favorece el crecimiento en altura.

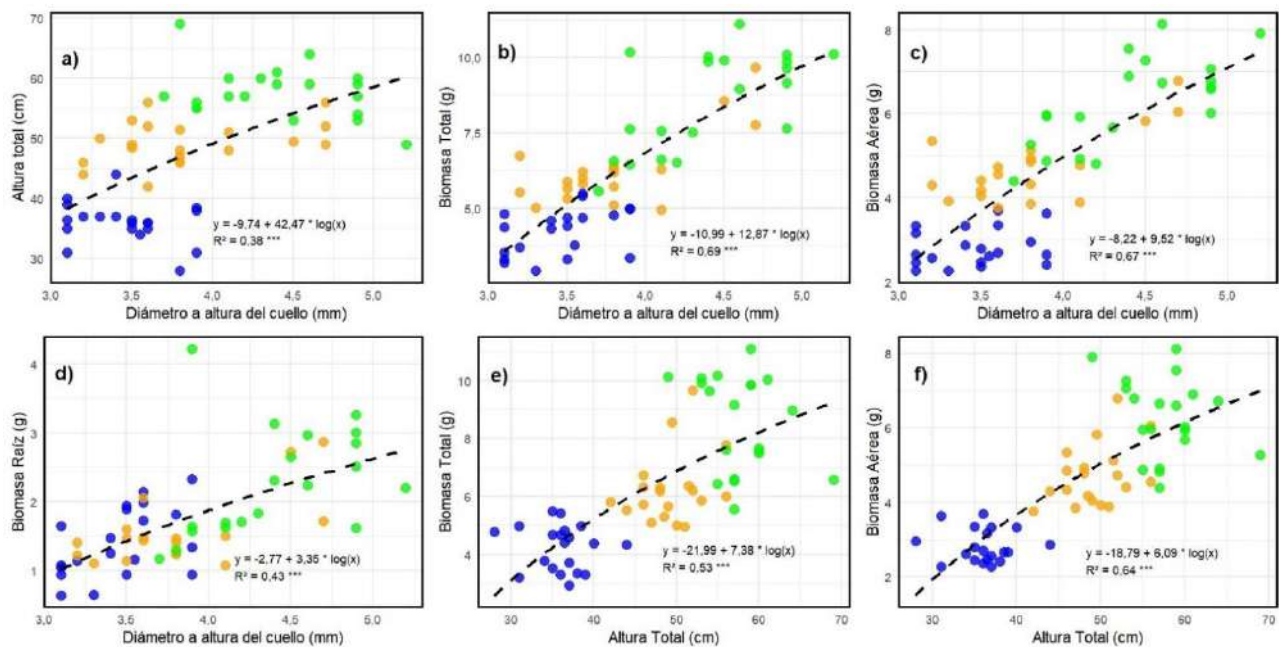


Figura 3. Relación entre el diámetro a la altura del cuello, la altura total y la biomasa en plantas de *Eucryphia cordifolia*. A) Altura total vs DAC, B) Biomasa total vs DAC, C) Biomasa aérea vs DAC, D) Biomasa de raíces vs DAC, E) Biomasa total vs altura total, F) Biomasa aérea vs altura total. Los colores representan categorías de tamaño: plantas pequeñas (azul), medianas (naranja) y grandes (verde). Se ajustó una regresión logarítmica en cada caso. Significancia: * = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$; *** = $P < 0,001$; ns = no significativo.

Al analizar la relación entre DAC y biomasa total (figura 3B), se confirma que el diámetro del cuello es un buen indicador del desarrollo general de la planta. Un mayor DAC corresponde a una mayor acumulación de biomasa, coherente con que un tallo más robusto suele estar asociado a plantas más vigorosas y eficientes en la captación de recursos.

Al desglosar la biomasa en sus distintos componentes, se observa que la relación entre el DAC y la biomasa aérea es bastante fuerte ($R^2=0,67$; figura 3C). En otras palabras, a mayor diámetro del cuello, mayor desarrollo del follaje y los tallos, lo cual es lógico, ya que una base más gruesa permite sostener una mayor cantidad de tejido aéreo. En cambio, la relación entre el DAC y la biomasa de la raíz es algo más débil ($R^2=0,43$; figura 3D), lo que sugiere que otros factores, como la disponibilidad de agua y nutrientes, también influyen en el desarrollo radicular. Si bien las plantas con mayor DAC tienden a tener más biomasa en las raíces, la variabilidad en los datos indica que no siempre es una regla fija.

Por otro lado, al analizar la altura total como predictor de la biomasa, se encuentra también una relación positiva, aunque algo menos marcada en comparación con el DAC. La relación entre la altura y la biomasa totales presentó un $R^2=0,53$ (figura 3E). En cuanto a la biomasa aérea, la relación fue algo más fuerte ($R^2=0,64$; figura 3F), lo que indica que el crecimiento en altura está más directamente vinculado con el desarrollo del follaje y el tallo que con el peso total de la planta.

En resumen, el DAC es un mejor predictor del desarrollo de la biomasa total y aérea que la altura total. Esto sugiere que, en *Eucryphia cordifolia*, un mayor diámetro del cuello refleja mejor el vigor general de la planta en comparación con la altura total. Además, mientras que el crecimiento aéreo sigue una tendencia clara con el DAC y la altura total, el desarrollo de las raíces parece estar influenciado por más factores externos.

4.4 Indicadores de calidad de plantas de *Eucryphia cordifolia*

El índice tallo-raíz muestra un comportamiento variable entre las categorías de planta. Las plantas chicas tienen un promedio de $2,25 \pm 0,77$, lo que refleja un desarrollo moderado del tallo en comparación con las raíces. Por otro lado, las plantas medianas presentan un índice más alto, con un promedio de $3,20 \pm 0,61$, lo que sugiere un mayor crecimiento relativo del tallo frente a las raíces. Finalmente, las plantas grandes tienen una relación promedio de $2,96 \pm 0,68$, indicando un desarrollo más equilibrado entre ambas estructuras. Este comportamiento indica que las plantas más grandes han logrado una mayor madurez y estabilidad en su asignación de biomasa entre tallo y raíces (figura 4a).

El índice de esbeltez, que evalúa la relación entre la altura total y el diámetro del cuello de la planta, se observa un incremento progresivo según la categoría de tamaño. Las plantas chicas presentan un valor promedio de $10,50 \pm 1,45$, mientras que las medianas y grandes alcanzan valores de $12,96 \pm 1,52$ y $13,26 \pm 1,89$, respectivamente. Un aumento en el cociente de esbeltez indica una planta más alta en proporción a su grosor, lo que puede generar inestabilidad mecánica y aumentar el riesgo de daños por factores ambientales como viento o nieve. Esto puede comprometer la calidad de la planta al afectar su resistencia estructural y supervivencia en campo (Figura 4b).

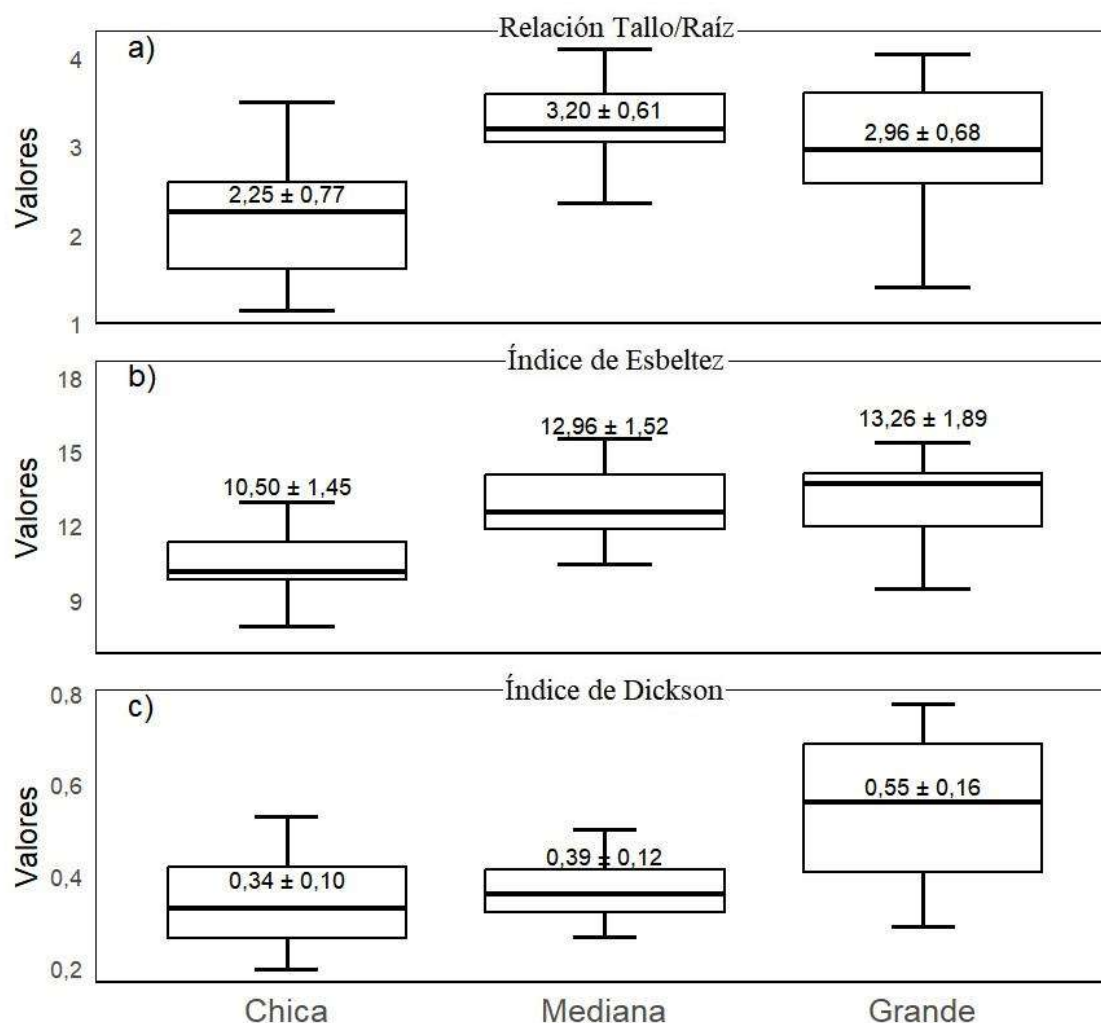


Figura 4. Indicadores de calidad en plantas de *Eucryphia cordifolia*.

A) Índice Tallo-Raíz, B) Índice de Esbeltez y C) Índice de Calidad de Dickson. Los valores dentro de las cajas representan la media $\pm$ desviación estándar.

El índice de calidad de Dickson, que integra diferentes parámetros de crecimiento y biomasa para evaluar la calidad general de las plantas, sigue una tendencia creciente con el tamaño. Las plantas chicas tienen un promedio de $0,34 \pm 0,10$, mientras que las medianas y grandes alcanzan promedios de $0,39 \pm 0,12$ y $0,55 \pm 0,16$, respectivamente. Esto indica que las plantas grandes presentan una calidad general superior, caracterizada por un mejor balance entre biomasa aérea y radicular, así como una asignación eficiente de recursos (figura 4c).

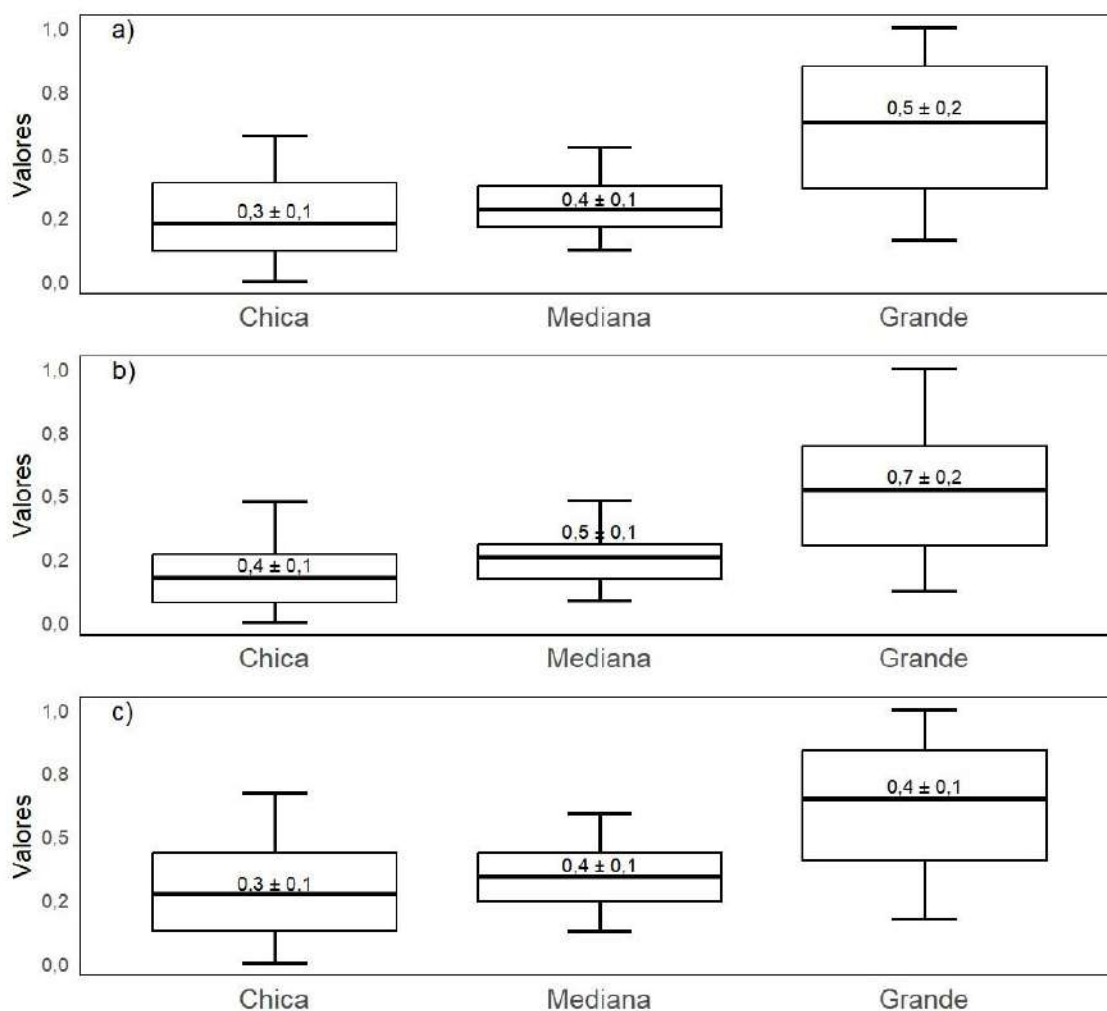


Figura 5. Índices de calidad en plantas de *Eucryphia cordifolia*.

A) Índice de Dickson tradicional; B) Variante IDMOD1: Índice considerando únicamente la relación entre la masa seca total y el índice de esbeltez, excluyendo la relación tallo-raíz; C) Variante IDMOD2: índice que incorpora, además de la relación altura/diámetro, la suma del peso seco del tallo y las hojas.

Los valores dentro de las cajas representan el promedio $\pm$ desviación estándar.

La variante IDMOD1, que considera únicamente la relación entre la masa seca total y el índice de esbeltez, arrojó valores de $0,4 \pm 0,1$ en plantas chicas, $0,5 \pm 0,1$ en medianas y $0,7 \pm 0,2$ en grandes, reafirmando la progresión positiva asociada al tamaño.

Por otro lado, la variante IDMOD2, que incorpora además la suma del peso seco del tallo y las hojas, mostró valores ligeramente menores: $0,3 \pm 0,1$ en plantas chicas, $0,4 \pm 0,1$ en medianas y grandes. Aun así, se mantiene la misma tendencia ascendente, aunque con menor diferencia entre categorías.

En conjunto, los tres índices coinciden en señalar que las plantas más grandes presentan una mejor calidad morfológica general, caracterizada por una mayor armonía entre altura, diámetro y distribución de biomasa. Las plantas medianas se sitúan en un punto intermedio, mientras que las chicas registran los valores más bajos, lo que podría indicar un menor grado de desarrollo y menor preparación para su establecimiento exitoso en terreno.

4.5 Variación física del sustrato para la viverización

La distribución de partículas en el sustrato presentó diferencias dependiendo del tamaño de las plantas de *Eucryphia cordifolia*. En general, se observó que en los tres grupos de plantas chicas, medianas y grandes, la mayor proporción de peso correspondió al material más fino (fondo del tamizado). Esto evidencia que, independientemente del tamaño de la planta, el sustrato estuvo compuesto mayoritariamente por partículas de pequeño tamaño (figura 6).

En las plantas chicas, el peso más elevado correspondió al material más fino (fondo del tamizado, 32 g), seguido por el retenido en los tamices de 1 mm (30,33 g) y 2 mm (23,64 g). Las fracciones más gruesas, de los tamices de 4 mm, 6,3 mm y 8 mm, representaron un porcentaje considerablemente menor, lo que confirma el predominio de partículas finas en este grupo.

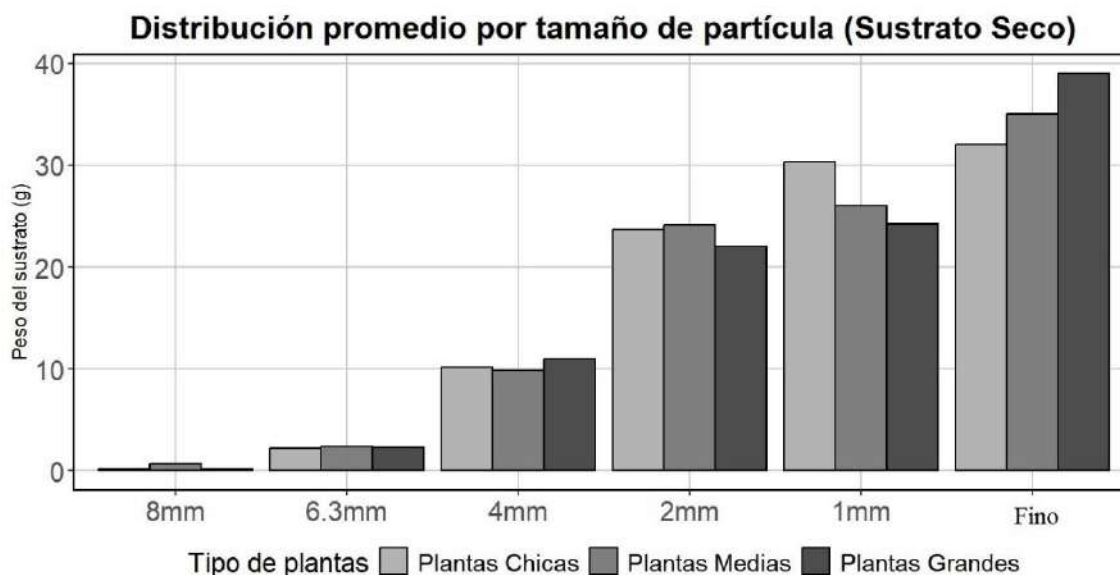


Figura 6. Distribución promedio del sustrato seco según el tamaño de partícula y tipo de planta.

De forma similar, en las plantas grandes, el mayor peso también se concentró en el material de fondo (38,97 g), así como en los tamices de 1 mm (24,25 g) y 2 mm (22,04 g). No obstante, en este grupo la la

proporción de material fino fue aún mayor que en las plantas chicas, lo que sugiere una tendencia más marcada hacia un sustrato de partículas pequeñas en ejemplares de mayor tamaño.

Por su parte, las plantas medianas mostraron un patrón intermedio. El mayor peso correspondió nuevamente al fondo (35,02 g), seguido de los tamices de 1 mm (26,00 g) y 2 mm (24,10 g). Aunque las diferencias respecto a los otros grupos no fueron tan pronunciadas, se mantiene la tendencia de predominancia de fracciones menores a 2 mm.

Estos resultados, representados en la figura 6, reflejan que la granulometría del sustrato estuvo dominada por partículas finas en los tres grupos de plantas, lo que podría tener importantes implicancias en aspectos como la retención de agua, la aireación y el desarrollo del sistema radicular. Si bien un sustrato fino favorece la retención de humedad, también puede restringir la oxigenación de las raíces, afectando el crecimiento y la calidad de las plantas, especialmente en etapas de desarrollo más avanzadas.

5. DISCUSIÓN

5.1 Análisis integrado de calidad morfológica y biomasa

El análisis morfológico de las plantas de *Eucryphia cordifolia* evidencia una diferenciación clara entre las categorías de tamaño (chicas, medianas y grandes), tanto el diámetro a la altura del cuello (DAC) como la altura total (HT) aumentan progresivamente con el tamaño, lo que sugiere un patrón de crecimiento estructurado más que una dispersión aleatoria.

Las diferencias claras en DAC y altura total no solo evidencian un patrón de crecimiento definido, sino que además sugieren que el manejo aplicado en el vivero Bosques del Sur permitió expresar de forma diferenciada el potencial de crecimiento de cada planta, posiblemente en respuesta a condiciones microambientales, prácticas culturales o características genéticas.

Estos parámetros morfológicos básicos, como la altura total y el DAC, son comúnmente empleados por su facilidad de medición y su utilidad para predecir el rendimiento en campo. Haase (2008) señala que el DAC, en particular, presenta una buena correlación con el tamaño del sistema radicular, y, por lo tanto, puede ser un buen estimador del vigor general de la plántula. No obstante, también advierte que estos parámetros por sí solos pueden no ser suficientes para una evaluación integral de la calidad.

Ritchie (1984), la calidad de planta refleja la integración de múltiples atributos fisiológicos y morfológicos, por lo cual no es recomendable basar la selección de plantas en un único parámetro como la altura o el diámetro, sino considerar indicadores complementarios que den cuenta de su desempeño potencial.

Por otro lado, Haase (2008) señala que la altura total puede ser una ventaja competitiva en sitios con fuerte presión de malezas, ya que está asociada con una mayor capacidad fotosintética debido al mayor número de estructuras foliares. Sin embargo, advierte que una altura excesiva puede comprometer la estabilidad estructural de la planta y aumentar su vulnerabilidad al estrés hídrico y al daño por viento, especialmente si no va acompañada de un sistema radicular bien desarrollado.

Diversos estudios han demostrado que el comportamiento morfológico de las plantas se encuentra influenciado por factores tales como la época de siembra, proceso de germinación de semillas en vivero, donde se requiere un contacto íntimo entre la semilla y el sustrato en que se depositan, el cual debe proporcionar suficiente agua y oxígeno para que la germinación ocurra sin complicaciones. Además, el rango de temperaturas debe ser lo más cercano posible al óptimo para la especie sembrada (Escobar 1990).

La densidad de cultivo (Duryea 1984) afecta directamente la disponibilidad de recursos para el desarrollo aéreo y radicular. Asimismo, la época de siembra puede haber sido determinante en los resultados observados. En climas templados, los mayores porcentajes de germinación y el crecimiento más vigoroso suelen coincidir con fines de invierno e inicios de primavera, para *E. cordifolia* es aconsejable sembrar en septiembre. Una siembra oportuna es de importancia en el tamaño de la planta al final del período de crecimiento (Donoso *et al.* 1993).

En cuanto a la asignación de biomasa, se observaron diferencias significativas entre categorías de tamaño. Las plantas grandes presentaron mayores valores de biomasa foliar, de tallo y de raíz, lo que indica una mejor capacidad para aprovechar los recursos del vivero.

Esto está en línea con la hipótesis de que un crecimiento vigoroso y equilibrado es producto de un ambiente bien manejado, lo que permite una distribución sinérgica de los recursos entre los distintos órganos de la planta. La mayor biomasa foliar registrada en las plantas grandes sugiere una mayor capacidad fotosintética, lo que promueve a su vez un mejor desarrollo estructural general. A su vez, la mayor biomasa radicular en estas plantas es clave para la absorción de agua y nutrientes, aspectos fundamentales para el éxito en el establecimiento en terreno, tal como lo señala Rose *et al.* (1998). Esto es especialmente relevante en contextos de restauración ecológica, donde el desempeño inicial tras la plantación determina en gran medida el éxito del proyecto.

Lusk y Piper (2007) señalan que en plántulas de especies siempreverdes del bosque templado chileno, como *Eucryphia cordifolia*, el almacenamiento de carbohidratos varía según el tamaño de la planta. En etapas tempranas, las especies más tolerantes a la sombra tienden a concentrar sus reservas en las raíces como mecanismo de resiliencia frente a la defoliación. A medida que crecen, estas reservas se

distribuyen en mayor proporción hacia el follaje, reflejando una transición hacia estrategias de crecimiento estructural más activas. Esto respalda la importancia de considerar tanto la biomasa como la distribución interna de recursos al evaluar la calidad de planta.

Respecto a los indicadores morfológicos como predictores de calidad, los resultados muestran que el DAC es una variable más confiable que la altura total para estimar la biomasa total y aérea. En contraste, la altura total puede ser más susceptible a influencias externas como la competencia por luz o el estrés hídrico, lo que limita su utilidad como indicador único. De hecho, Haase (2008) señala que el DAC, en particular, presenta una buena correlación con el tamaño del sistema radicular, por lo tanto, puede ser un buen estimador del vigor general de la plántula. No obstante, también advierte que estos parámetros por sí solos pueden no ser suficientes para una evaluación integral de la calidad.

En este mismo contexto, otros autores como Grossnickle y MacDonald (2018) señalan que el diámetro a la altura del cuello (DAC) es uno de los indicadores clave debido a su fuerte correlación con la supervivencia y el crecimiento posterior a la plantación. Sin embargo, estos autores enfatizan que, aunque el DAC es una medida práctica y confiable, su evaluación debe complementarse con otros parámetros para lograr una valoración integral del vigor y desempeño potencial de la planta.

La correlación entre el DAC y la biomasa de raíz fue más débil, lo que se explica por la influencia de factores ambientales específicos del sustrato, como la aireación, la humedad y el volumen disponible, que afectan directamente al desarrollo radicular. Esto refuerza la importancia de emplear múltiples variables en la evaluación de calidad de planta, particularmente en contextos donde la adaptación al sitio de plantación es crítica. Respaldando la utilidad del DAC como parámetro central para la selección de plantas en vivero, dado que permite anticipar con mayor precisión su comportamiento en terreno. La integración de indicadores morfológicos con datos de biomasa y asignación de recursos permite una evaluación más robusta y orientada a la eficiencia en programas de reforestación y restauración ecológica.

5.2 Indicadores de calidad de plantas de *Eucryphia cordifolia*

La evaluación de la calidad de plantas de *Eucryphia cordifolia* permite interpretar de forma integrada el estado funcional y estructural de los individuos producidos en vivero. Esta calidad se define en función de propiedades morfológicas y fisiológicas, las cuales deben evaluarse experimentalmente para establecer su relación con los factores limitantes del sitio de plantación (Escobar 1990). En este contexto, los indicadores de calidad utilizados en este estudio permiten identificar patrones consistentes con la literatura, particularmente en la asignación de biomasa y la eficiencia morfológica, aspectos clave para el éxito del establecimiento en terreno.

Según Duryea (1985), una planta es de buena calidad cuando presenta altas tasas de supervivencia y crecimiento inicial en campo, lo que es posible si ha sido preparada en vivero para tolerar las limitaciones del sitio. Esto incluye condiciones de suelo, disponibilidad hídrica y competencia vegetal. Grossnickle (2012) refuerza esta idea, señalando que atributos como altura, diámetro del tallo, biomasa radicular, relación tallo/raíz y resistencia a la sequía son determinantes para aumentar las probabilidades de éxito, aun cuando no lo garanticen por sí solos.

Los resultados obtenidos muestran que los atributos morfológicos varían según el tamaño de las plantas. El índice Tallo/Raíz, por ejemplo, evidencia una asignación diferenciada de biomasa: las plantas chicas presentan un valor más bajo, lo que indica una mayor inversión en el sistema radicular, característica de etapas iniciales donde se prioriza la absorción de recursos. En contraste, las plantas medianas y grandes presentan un índice más elevado, reflejando un mayor desarrollo aéreo y una madurez funcional superior (Duryea 1984). Esta tendencia sugiere que un equilibrio adecuado entre la parte aérea y el sistema radicular constituye un indicador confiable de calidad. Las plantas grandes, con una asignación más proporcional, presentan estructuras más robustas y potencialmente mejor adaptadas para enfrentar condiciones de campo. En cambio, las plantas chicas podrían ver limitado su desempeño postrasplante, especialmente en su capacidad de absorción de agua y nutrientes.

No obstante, el uso del índice Tallo/Raíz como indicador de calidad en plantas producidas en contenedor ha sido cuestionado por diversos autores. Bernier *et al.* (1995) argumentan que, si bien este índice puede ser útil desde una perspectiva del balance hídrico en condiciones de vivero, su capacidad para predecir el desempeño en terreno es limitada. Según estos autores, las condiciones de cultivo en contenedores tienden a favorecer una proliferación radicular que excede los requerimientos fisiológicos reales, y que una vez plantadas la interfaz entre el pan radicular y el suelo impone mayores restricciones a la absorción de agua que la biomasa de raíces por sí sola. En consecuencia, recomiendan cautela al usar este índice como único parámetro para predecir la supervivencia o crecimiento en terreno.

El índice de esbeltez, que aumenta con el tamaño, refleja un crecimiento más acentuado en altura que en diámetro del cuello. Aunque este patrón puede interpretarse como eficiencia en crecimiento aéreo, también conlleva un riesgo de inestabilidad mecánica, especialmente en sitios con viento o suelos poco firmes. Sin embargo, esta vulnerabilidad puede mitigarse si existe un desarrollo radicular adecuado, como ocurre en las plantas grandes. También, un mayor índice de esbeltez, es decir, plantas más altas en proporción a su diámetro, se ha asociado con un mayor riesgo de volcamiento o daño por viento, especialmente en suelos inestables o sitios expuestos (Wang *et al.* 1998).

El índice de calidad de Dickson mostró claramente que, a medida que las plantas crecen, no solo aumentan su biomasa total, sino que también mejoran la forma en que distribuyen esa biomasa entre raíces y parte aérea. Esto hace que el índice sea muy útil para evaluar la calidad general y el vigor de las plantas en vivero, ya que combina varios aspectos importantes en un solo número.

En línea con los resultados, diversos autores han demostrado que ciertos indicadores morfológicos se correlacionan fuertemente con la calidad de planta. En particular, Binotto *et al.* (2010) evaluaron plántulas de *Eucalyptus grandis* y *Pinus elliottii*, concluyendo que el diámetro a la altura del cuello (DAC) fue el parámetro que mostró mayor correlación con el Índice de Calidad de Dickson, incluso por sobre la altura total. A su vez, la biomasa radicular también presentó una relación significativa con el Índice de Calidad de Dickson, destacando su rol clave en la estabilidad y vigor de las plantas. Por el contrario, variables como el número de hojas y la altura mostraron una correlación más débil con la calidad general de las plantas. Esto respalda el uso del DAC como una métrica central y confiable para estimar la calidad en vivero, y sugiere que evaluaciones integradas que consideren la distribución de biomasa ofrecen una visión más completa del potencial de desempeño de las plantas en terreno.

Lo interesante es que, al comparar el índice tradicional con sus versiones modificadas, una que no incluye la biomasa de las raíces (IDMOD1) y otra que suma el peso seco del tallo y hojas junto con la relación altura/diámetro (IDMOD2), vemos que todas siguen la misma tendencia: las plantas más grandes tienen mejor calidad. Esto es bueno, porque significa que, aunque algunas versiones sean más sencillas de calcular, por ejemplo, la que no requiere medir raíces, que suele ser complicado y lento, aun así, entregan resultados muy similares.

En la práctica, esto quiere decir que, si el objetivo es evaluar rápido y con recursos limitados, usar la variante que no incluye raíces puede ser una alternativa eficiente sin perder precisión. Por otro lado, la versión que incluye más variables no mostró tanta diferencia entre tamaños, lo que sugiere que a veces agregar más detalles no mejora tanto la evaluación.

Dicho de esta forma los tres índices coinciden en algo fundamental: las plantas más grandes son de mejor calidad y tienen un balance adecuado entre crecimiento y distribución de biomasa. Así, la elección de qué índice usar puede depender de qué tan fácil o rápido se quiera hacer la evaluación, pero los índices más simples ya dan una buena idea del estado y vigor de las plantas antes de llevarlas al campo.

5.3 Variación física del sustrato para la viverización

La granulometría del sustrato constituye un componente crítico en la producción de plantas en vivero, ya que determina propiedades físicas fundamentales como la retención de agua, la aireación y la disponibilidad de nutrientes. Se observa una clara dominancia de partículas finas en el sustrato utilizado

para *Eucryphia cordifolia*, independientemente del tamaño de las plantas. Esta composición influye directamente en el ambiente radicular y, por tanto, en la calidad física y funcional de las plántulas.

La predominancia de partículas menores a 2 mm favorece una alta retención de humedad, lo cual puede resultar beneficioso en etapas iniciales de crecimiento, especialmente en especies nativas que presentan tasas de crecimiento lentas o ciclos fenológicos ajustados a condiciones específicas del sitio. El hecho de que las plantas de mayor tamaño presenten una proporción aún más elevada de material fino sugiere que estas pueden haber desarrollado un sistema radicular adaptado a una alta humedad edáfica. Esto podría estar relacionado con una mayor masa radicular capaz de compensar las limitaciones de oxigenación en el medio. Sin embargo, este tipo de sustrato podría representar un factor limitante en etapas más avanzadas del cultivo, en las cuales el balance entre retención hídrica y aireación se vuelve más relevante para la estabilidad fisiológica de las plántulas. En este sentido, esta característica puede ser adecuado si se acompaña de una correcta gestión del riego y del manejo del contenedor, pero también podría justificar la incorporación de fracciones más gruesas que mejoren la porosidad y favorezcan el desarrollo radicular lateral, especialmente en contenedores de mayor volumen.

De acuerdo con Grossnickle (2012), la calidad de una plántula está determinada no solo por atributos morfológicos visibles, sino también por el grado en que sus sistemas funcionales están preparados para responder al estrés del sitio de plantación. Por tanto, un sustrato que impide la correcta oxigenación del sistema radicular podría reducir la resistencia al estrés hídrico postrasplante, afectando la supervivencia en terreno, aunque las plantas presenten un desarrollo aéreo adecuado en vivero.

En consecuencia, los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de ajustar la granulometría del sustrato a los requerimientos fisiológicos de *E. cordifolia*, priorizando un equilibrio entre retención de humedad y aireación. Considerando que esta especie se utiliza en procesos de restauración ecológica, resulta fundamental asegurar un desarrollo radicular funcional desde la etapa de viverización, de modo que las plantas estén mejor preparadas para el establecimiento en condiciones variables de campo.

6. CONCLUSIÓN

El estudio permitió evaluar de forma integral la calidad morfológica, la asignación de biomasa y la relación con el sustrato en plantas de *Eucryphia cordifolia* producidas en contenedor por el vivero Bosques del Sur, perteneciente a la Universidad Austral de Chile. Los resultados evidenciaron que el tamaño de las plantas, agrupadas en categorías chicas, medianas y grandes, está significativamente asociado con diferencias estructurales y funcionales, validando esta clasificación como un reflejo consistente del estado de desarrollo y vigor general.

Los indicadores de calidad aplicados, incluidos el Índice de Dickson tradicional y sus variantes, así como el índice de esbeltez y la relación tallo/raíz, fueron útiles para diferenciar el desempeño morfológico y funcional entre los grupos. En general, las plantas grandes presentaron un nivel de desarrollo superior, caracterizada por un equilibrio más favorable entre biomasa aérea y radicular y una mayor robustez estructural. Las variantes de los índices demostraron ser alternativas prácticas que entregan información comparable al método tradicional, pero con menores requerimientos de tiempo y recursos, lo que respalda su utilidad como herramientas complementarias en la evaluación de calidad.

En cuanto al sustrato, se detectó una predominancia de partículas finas en todas las categorías, favoreciendo la retención de agua, pero potencialmente limitando la aireación y el crecimiento radicular, especialmente en etapas avanzadas de cultivo. Este aspecto, junto con el patrón observado en la biomasa de raíces, sugiere que la granulometría podría limitando o afectando el desarrollo subterráneo, por lo que se recomienda su ajuste para optimizar la calidad integral de las plantas.

Los resultados confirman que la calidad de las plantas de *E. cordifolia* puede evaluarse eficazmente mediante indicadores morfológicos y de biomasa, los cuales deben seleccionarse de acuerdo con los objetivos productivos y las condiciones del sitio de plantación. Por último, se recomienda que estos indicadores sean validados mediante ensayos de desempeño en terreno, para fortalecer su aplicabilidad como predictores de supervivencia y crecimiento postrasplante.

7. REFERENCIAS

- Acevedo M, C Álvarez-Maldini, RK Dumroese, JR Bannister, E Cartes, M González. 2021. Native plant production in Chile: Is it possible to achieve restoration goals by 2035? *Forests* 12(6):739.
- Aguiar IB, HA Mello. 1974. Influencia do recipiente na produção de mudas e no desenvolvimento inicial após o plantio no campo, de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus saligna* Smith. *Revista IPEF* 8: 9–40.
- Alcoser JM. 1981. Características morfológicas y nutritivas del piso orgánico en *Pinus radiata* D. Don y bosque nativo secundario. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. 71 p.
- Alzugaray P, D Haase, R Rose. 2004. Efecto del volumen radicular y la tasa de fertilización sobre el comportamiento en terreno de plantas de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) producidas con el método 1+1. *Bosque* 25(2): 17–33.
- Bannister JR, R Vargas-Gaete, JF Ovalle, M Acevedo, A Fuentes-Ramírez, PJ Donoso, A Promis, C Smith-Ramírez. 2018. Major bottlenecks for the restoration of natural forests in Chile. *Restoration Ecology* 26(6):1039–1044.
- Binotto AF, A Dal’Col Lúcio, SJ Lopes. 2010. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. *Cerne* 16(4):457–464.
- Davis AS, JR Pinto. 2021. The scientific basis of the target plant concept: An overview. *Forests* 12(9):1293.
- Dickson A, L Leaf, JF Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *Forest Chronicle* 36(1):10–13.
- Donoso, C. 2013. Las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología (2.ª ed.). Marisa Cúneo Ediciones. p. 247-256.
- Donoso P, M González, B Escobar, I Basso, L Otero. 1999. Viverización y plantación de raulí, roble y coigüe en Chile. In C Donoso, A Lara eds. Silvicultura de los bosques nativos de Chile. Valdivia, Chile. Universitaria. p. 177–241.
- Duryea ML. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. In ML Duryea, T Landis eds. Forest nursery manual. The Hague, Netherlands. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. p. 143–164.
- Duryea M, T Landis. 1984. Forest nursery manual: production of bareroot seedlings. The Hague, Netherlands. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. 385 p.
- Escobar B, C Donoso, A Zúñiga. 2006. *Eucryphia cordifolia*. In C Donoso ed. Especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Autoecología. Valdivia, Chile. Marisa Cúneo Ediciones. p. 246–255.

- Escobar R. 2007. Manual de viverización. *Eucalyptus globulus* a raíz cubierta. Proyecto Innova Chile. Santiago, Chile. INFOR. 187 p.
- Escobar R. 1990. Análisis de algunos elementos básicos involucrados en la producción artificial de plantas de especies nativas. *Bosque* 11(1):3–9.
- Grossnickle SC. 2012. Why seedlings survive: Influence of plant attributes. *New Forests* 43:711–738.
- Grossnickle S, MacDonald J. 2018. Seedling quality: history, application, and plant attributes. *New Forests* 9(5):283.
- Haase DL. 2008. Understanding forest seedling quality: Measurements and interpretation. *Tree Planters' Notes* 52(2):24–30.
- Hernández R. 2007. Análisis de un cultivo de plantas 1-0 de *Laurelia sempervirens*, *Persea lingue* y *Weinmannia trichosperma* con dos tipos de fertilización en dos épocas de siembra. Tesis Ingeniero Forestal. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile. 12 p.
- Lusk C, Piper F. 2007. Seedling size influences relationships of shade tolerance with carbohydrate-storage patterns in a temperate rainforest. *Functional Ecology* 21:78–86.
- Martínez Yáñez. 2016. Efecto de la profundidad de siembra en la emergencia y crecimiento de plantas de ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav.) 1/0 producidas en contenedor. Tesis de pregrado. Valdivia, Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. p. 10-13.
- Morales J. 2013. Información tecnológica de productos forestales no madereros del bosque nativo en Chile: antecedentes silvícolas y tecnológicos de *Eucryphia cordifolia* (Ulmo). Santiago, Chile. Instituto Forestal (INFOR). 27 p.
- Navarro M, P Villar-Salvador, A Del Campo. 2006. Morfología y establecimiento de los plantones. En Rafael R. Producción y manejo de plantas forestales. p. 67–88.
- Orozco R, O Marfà. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. *Acta Horticulturae* 408:147–161.
- Quiroz I, L Flores, M Pincheira, A Villarroel. 2001. *Viverización y plantación de especies nativas. Zona centro sur de Chile*. Santiago, Chile. CONAF. 160 p.
- Quiroz I, E García, M Gonzales, P Chung, H Soto. 2009. Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta. Concepción, Chile. Centro Tecnológico de la Planta Forestal, INFOR Sede Bío-Bío. 128 p.
- Ritchie GA. 1984. Assessing seedling quality. In Duryea ML, Brown J eds. Seedling physiology and reforestation success. Dordrecht, Netherlands. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. p. 243–259.
- Rodríguez Trejo DA. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo. 120 p.

Rose R, T Birchler, M Pardos, A Royo. 1998. La plántula ideal: Producción de plántulas de calidad para mejorar el comportamiento de las plantaciones. 40 p.

Sáenz Reyes JT, HJ Muñoz Flores, CMÁ Pérez D, A Rueda Sánchez, J Hernández Ramos. s.f. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero “Morelia”, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. p. 98–111.

Thompson B. 1985. Seedling morphological evaluation. En Duryea ML ed. Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major tests. Oregon, EE.UU. Forest Research Laboratory, Oregon State University. p. 59–69.

Wang Y, Titus J, LeMay M. 1998. Relationships between tree slenderness coefficients and tree or stand characteristics for major species in boreal mixedwood forests. *Canadian Journal of Forest Research* 28(8):1171–1181.

ANEXO

Anexo 1. Base de datos 100 plantas medidas en vivero

No.	Dac (mm)	HT (cm)
1	3,2	20,0
2	4,3	24,5
3	3,0	37,3
4	4,3	42,5
5	3,3	46,3
6	4,4	59,0
7	3,0	46,0
8	3,0	40,1
9	3,3	37,5
10	2,7	40,4
11	4,1	40,5
12	1,8	34,3
13	4,8	50,0
14	2,0	36,0
15	2,7	30,3
16	3,0	30,6
17	2,2	30,3
18	3,0	30,8
19	2,2	30,4
20	2,7	31,0
21	2,0	31,0
22	2,5	34,5
23	2,2	29,0
24	2,2	31,0
25	2,2	32,5
26	4,1	36,0
27	2,4	34,0
28	2,4	31,0
29	3,1	36,0
30	4,1	34,0
31	2,2	39,0
32	2,5	35,0
33	3,0	37,0
34	2,7	51,0
35	5,0	48,0
36	4,8	53,0
37	2,9	42,0
38	3,1	53,0
39	3,3	53,0

40	3,8	56,5
41	2,7	34,0
42	3,3	36,5
43	3,3	36,5
44	3,3	47,0
45	3,4	35,0
46	2,5	28,0
47	3,3	41,0
48	2,2	25,0
49	4,4	63,0
50	4,1	53,0
51	3,3	59,0
52	4,6	53,0
53	3,8	49,0
54	2,9	42,0
55	3,3	48,0
56	3,5	42,0
57	3,1	39,5
58	2,0	31,0
59	2,7	31,0
60	2,5	29,0
61	3,1	37,0
62	3,8	44,0
63	3,3	43,0
64	4,3	50,0
65	3,1	49,0
66	3,1	52,0
67	3,3	53,0
68	2,7	47,0
69	2,0	30,0
70	3,8	51,0
71	2,7	34,5
72	3,7	37,5
73	2,2	28,0
74	3,0	42,0
75	1,8	32,0
76	3,3	45,5
77	2,2	27,0
78	1,6	22,0
79	2,9	34,0
80	2,2	24,5
81	3,8	34,5
82	3,0	33,5
83	2,7	36,0
84	2,5	31,5
85	2,2	28,0

86	2,2	27,5
87	3,3	40,0
88	3,0	38,0
89	3,3	29,0
90	2,2	32,0
91	3,5	35,0
92	4,8	47,0
93	3,0	33,2
94	3,1	41,0
95	3,3	32,0
96	3,4	49,0
97	1,8	29,0
98	2,7	40,5
99	2,7	39,0
100	3,0	42,0

Anexo 2. Base de datos 60 plantas análisis de laboratorio

Tipo Planta	n°	DAC (mm)	HT (cm)	peso tallos	peso hojas	peso raíz
chica	1	3,9	38	1	1,41	0,94
chica	2	3,5	36,5	1,06	1,42	1,94
chica	3	3,4	44	1,24	1,63	1,47
chica	4	3,6	36	1,21	1,49	1,99
chica	5	3,5	35	1,09	1,7	1,89
chica	6	3,2	37	1,09	1,48	1,14
chica	7	3,1	40	1,22	2,12	1,04
chica	8	3,3	37	0,95	1,33	0,65
chica	9	3,55	34	0,97	1,65	1,16
chica	10	3,6	36	1,38	2,32	1,72
chica	11	3,9	38,5	1,16	1,5	2,33
chica	12	3,5	36	0,96	1,41	0,94
chica	13	3,6	35	1,34	2,01	2,14
chica	14	3,4	37	1,25	2,09	1,25
chica	15	3,1	36,5	1,22	1,95	1,65
chica	16	3,1	31	0,85	1,42	0,94
chica	17	3,8	28	0,97	1,99	1,81
chica	18	3,1	35	0,92	1,54	1,07
chica	19	3,1	39	1,02	1,64	0,64
chica	20	3,9	31	1,26	2,38	1,34
Mediana	21	4,1	51	1,9	1,99	1,07
Mediana	22	3,8	51,5	2,25	2,88	1,25
Mediana	23	3,5	53	2,13	2,28	1,46
Mediana	24	3,5	48,5	1,77	2,41	1,14
Mediana	25	3,8	46	1,96	2,9	1,46
Mediana	26	3,3	50	1,84	2,08	0,6
Mediana	27	3,6	56	2,16	2,4	1,43

Mediana	28	4,5	49,5	2,31	3,52	2,72
Mediana	29	3,2	44	1,76	2,55	0,44
Mediana	30	3,5	49	1,56	2,5	1,6
Mediana	31	3,8	46	1,85	2,48	1,4
Mediana	32	4,1	48	2,06	2,73	1,5
Mediana	33	4,7	52	3,07	3,72	2,87
Mediana	34	3,6	42	1,5	2,26	2,05
Mediana	35	3,8	47	1,57	2,29	1,25
Mediana	36	4,7	49	2,56	4,32	3,97
Mediana	37	3,8	48	1,97	2,97	1,24
Mediana	38	3,2	46	2,59	2,76	1,4
Mediana	39	4,7	56	2,88	3,18	1,71
Mediana	40	3,6	52	2,05	2,69	1,48
grande	41	4,1	60	2,82	3,11	1,63
grande	42	4,4	59	3,26	4,29	2,31
grande	43	4,6	59	3,43	4,7	2,97
grande	44	4,4	61	3,61	3,29	3,13
grande	45	3,9	55	2,69	3,26	4,22
grande	46	4,1	57	2,64	2,28	1,69
grande	47	5,2	49	3,65	4,27	2,2
grande	48	4,3	60	2,73	2,95	1,83
grande	49	3,8	69	3,05	2,22	1,3
grande	50	4,9	60	2,85	3,18	1,62
grande	51	3,9	56	2,59	3,39	1,64
grande	52	3,9	55	2,22	2,66	1,57
grande	53	4,9	53	3,12	3,95	3,01
grande	54	4,5	53	2,76	4,51	2,65
grande	55	4,9	54	2,98	3,81	2,85
grande	56	4,6	64	3,58	3,15	2,24
grande	57	4,9	57	3,15	3,5	2,51
grande	58	3,7	57	2,13	2,27	1,17
grande	59	4,9	59	3,09	3,51	3,26
grande	60	4,2	57	2,5	2,32	1,7

Anexo 3. Datos granulométricos del sustrato seco

Tipo de plantas	Muestra	Peso total (gr)	8mm	6,3mm	4mm	2mm	1mm	Fino
Plantas Chicas	1	100	0,5	2,1	13,5	30,2	32,0	20,9
Plantas Chicas	2	100	0,1	2,3	12,1	27,3	30,0	27,1
Plantas Chicas	3	100	0,0	2,4	5,0	13,4	29,0	48,0
Plantas Medias	1	100	0,6	1,6	11,7	25,1	30,0	29,8
Plantas Medias	2	100	1,0	3,6	11,0	24,2	24,0	33,8
Plantas Medias	3	100	0,5	2,0	7,0	23,0	24,0	41,4
Plantas Grandes	1	100	0,3	1,3	13,1	23,4	26,0	35,0
Plantas Grandes	2	100	0,3	2,5	8,9	19,7	23,8	44,0
Plantas Grandes	3	100	0,1	3,0	11,0	23,0	23,0	37,9

Anexo 4. Fotografía de plantas en laboratorio de suelos



Anexo 5. Fotografía de plantas separadas por componentes



Anexo 6. Categorización de plantas según DAC y Altura total

Categoría de tamaño	DAC (mm)	HT (cm)
chicas	2,3 - 3,1	29,5 - 38,6
medianas	3,1 - 3,9	38,6 - 47,7
grandes	3,9 - 5,0	47,7 - 69

Anexo 7. Significancia modelos de gráficos de dispersión

Modelo	Intercepto	Error Est. Intercepto	Coef. log(X)	Error Est. Coef.	Valor t (log X)	Valor p (log X)	Valor p (F)
HT - log(DAC)	-9736	9601	42472	7067	6010	1.31e-07	1.31e-07
Biomasa total - log(DAC)	-10993	1547	12869	1141	11274	3.86e-16	3.86e-16
Biomasa aérea -log(DAC)	-8224	1206	9521	0.890	10701	2.97e-15	2.97e-15
Biomasa raíz - log(DAC)	-2768	0.688	3348	0.507	6598	1.48e-08	1.48e-08
Biomasa total - log(HT)	-21989	3523	7378	0.916	8056	5.54e-11	5.54e-11
Biomasa aérea -log(HT)	-18787	2323	6091	0.604	10087	2.74e-14	2.74e-14