

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y VARIABLES DASOMÉTRICAS
RELEVANTES PARA *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* Y *Eucalyptus smithii* EN
CERRO LARGO

por

Ana Belén FUSCO LORIENTE
Faustino Andrés RODRÍGUEZ BRUNO
María Virginia RODRÍGUEZ RAFFO

TESIS presentada como uno
de los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Tesis aprobada por:

Director:

.....
Ing. Agr. MSc. Valentina Benítez González

.....
Ing. Agr. MSc. Juan Pedro Posse

.....
Ing. Agr. (PhD.) Pablo González Barrios

.....
Ing. Agr. Mariana Pintos Torres

Fecha: 2 de marzo de 2022

Autores:

.....
Ana Belén Fusco Lorient

.....
Faustino Andrés Rodríguez Bruno

.....
María Virginia Rodríguez Raffo

AGRADECIMIENTOS

A nuestros tutores, Ing. Agr. MSc. Valentina Benítez e Ing. Agr. MSc. Juan Pedro Posse, por guiarnos en este proceso.

A la empresa Lumin S.A., por el tiempo y recursos brindados para el desarrollo de este trabajo.

A los colaboradores de la empresa Juliana Ivanchenko y Gerardo Osorio, quienes nos ayudaron en las tareas prácticas de campo.

Al Ing. Agr. PhD. Pablo González Barrios, por su disposición y asesoramiento en el área estadística.

Al personal de la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt, por su amable atención y colaboración durante nuestra estadía en la estación.

A nuestras familias y amigos, por su apoyo incondicional e incentivo a lo largo de toda la carrera.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 <u>OBJETIVOS</u>	1
1.1.1 <u>Objetivo general</u>	1
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1 <u>CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES</u>	2
2.1.1 <u><i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden</u>	2
2.1.2 <u><i>Eucalyptus smithii</i> R. T. Baker</u>	4
2.1.3 <u><i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden</u>	7
2.2 <u>ANTECEDENTES DE USO DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO EUCALYPTUS EN URUGUAY</u>	9
2.3 <u>SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES EN URUGUAY</u>	11
2.4 <u>INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN</u>	11
2.4.1 <u>Diámetro</u>	12
2.4.1.1 <u>Cinta diamétrica</u>	12
2.4.1.2 <u>Forcípula</u>	13
2.4.2 <u>Altura</u>	14
2.4.2.1 <u>Blume-Leiss</u>	16
2.4.2.2 <u>Suunto</u>	17
2.4.2.3 <u>Haga</u>	18
2.4.2.4 <u>Relascopio de Bitterlich</u>	19
2.4.2.5 <u>Hipsómetro digital Vertex</u>	20
2.4.3 <u>Corteza</u>	21
2.5 <u>FUENTES DE ERROR Y AJUSTES DE MEDICIÓN</u>	21
2.5.1 <u>Errores instrumentales</u>	21
2.5.2 <u>Errores de medición</u>	21
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1 <u>CARACTERIZACIÓN DEL SITIO</u>	23
3.1.1 <u>Ubicación del ensayo</u>	23
3.1.2 <u>Suelo</u>	24
3.1.2.1 <u>Unidad de suelo</u>	24
3.1.2.2 <u>Grupo CONEAT</u>	24
3.1.3 <u>Clima</u>	25

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL ENSAYO.....	25
3.3 MATERIALES.....	27
3.3.1 <u>Instrumentos utilizados</u>	27
3.3.2 <u>Planillas de campo</u>	27
3.4 METODOLOGÍA.....	28
3.4.1 <u>Trabajo de campo</u>	28
3.4.1.1 Etapa 1: identificación de árboles en terreno y medición de diámetro.....	29
3.4.1.2 Etapa 2: medición de alturas y cubicación de árboles seleccionados.....	30
3.4.2 <u>Análisis preliminar</u>	33
3.4.3 <u>Trabajo de gabinete</u>	34
3.4.3.1 Factores de forma.....	34
3.4.3.2 Procesamiento de datos de altura.....	37
3.4.3.3 Procesamiento de datos de corteza.....	37
3.4.3.4 Volúmenes.....	38
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	41
4.1 FACTORES DE FORMA AJUSTADOS.....	41
4.2 COMPARACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MENSURA.....	45
4.3 PROPORCIÓN DE CORTEZA SEGÚN ESPECIE.....	51
4.4 COMPARACIÓN DE VOLÚMENES ENTRE ESPECIES.....	62
5. <u>CONCLUSIONES</u>	71
6. <u>RESUMEN</u>	73
7. <u>SUMMARY</u>	74
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	75
9. <u>ANEXOS</u>	79

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resumen de variables climáticas para el departamento de Cerro Largo.....	25
2. Cantidad de árboles apeados por clase diamétrica y especie.....	34
3. Factores de forma obtenidos y utilidad de cada uno (elementos que descuentan).....	36
4. Análisis de varianza para la variable de respuesta factor de forma total con corteza.....	42
5. Análisis de varianza para la variable de respuesta factor de forma comercial sin corteza.....	42
6. Medias ajustadas por especie para las variables factor de forma total con corteza y comercial sin corteza.....	44
7. Factores de forma con y sin corteza para diferentes tamaños de árbol de la especie <i>Eucalyptus grandis</i> en Uganda.....	45
8. Análisis de varianza para la variable de respuesta altura (m) según instrumentos de mensura.....	47
9. Análisis de varianza para la variable de respuesta altura (m) según la especie	49
10. Análisis de varianza para la variable de respuesta porcentaje de corteza según especie.....	56
11. Comparación de medias mediante test de Tukey.....	57
12. Análisis de varianza para la variable de respuesta % de corteza para los diferentes tercios del árbol según especie.....	57
13. Comparación de medias mediante test de Tukey.....	58
14. Porcentaje de corteza en volumen para <i>Eucalyptus grandis</i> en India.....	58
15. Resumen de las diferentes variables promedio para cada especie.....	63
16. Análisis de varianza para la variable de respuesta volumen total con corteza (m ³ /individuo).....	64
17. Comparación de medias mediante test de Tukey.....	64
18. Análisis de varianza para la variable de respuesta volumen comercial sin corteza (m ³ /individuo).....	65
19. Comparación de medias mediante test de Tukey.....	66
20. Análisis de varianza para la variable de respuesta.....	68
21. Comparación de medias mediante test de Tukey.....	68
Figura No.	
1. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de <i>Eucalyptus grandis</i>	3
2. Ilustración de yemas florales y frutos de <i>Eucalyptus grandis</i>	3
3. Distribución natural de <i>Eucalyptus grandis</i>	4
4. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de <i>Eucalyptus smithii</i>	5
5. Ilustración de yemas florales y frutos de <i>Eucalyptus smithii</i>	6

6. Distribución natural de <i>Eucalyptus smithii</i>	7
7. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de <i>Eucalyptus dunnii</i>	8
8. Ilustración de yemas florales y frutos de <i>Eucalyptus dunnii</i>	8
9. Distribución natural de <i>Eucalyptus dunnii</i>	9
10. Medición del diámetro utilizando cinta diamétrica.....	12
11. Forcípula de brazos paralelos.....	13
12. Medición del diámetro utilizando forcípula.....	14
13. Principio de medición de instrumentos tradicionales.....	15
14. Obtención de la altura del árbol, restando las lecturas realizadas.....	16
15. Hipsómetro de Blume-Leiss.....	17
16. Hipsómetro de Suunto.....	18
17. Hipsómetro Haga.....	18
18. Relascopio de Bitterlich.....	19
19. Visual a través del Relascopio de Bitterlich.....	20
20. Ubicación del ensayo.....	23
21. Ubicación del ensayo.....	24
22. Esquema del ensayo con las parcelas identificadas y su correspondiente especie.....	26
23. Muestra de la planilla utilizada a campo para el relevamiento de los diámetros a la altura del pecho de la totalidad de los árboles en la primera etapa de campo.....	28
24. Muestra de la planilla utilizada a campo para el relevamiento de los diámetros con y sin corteza de las trozas obtenidas en la segunda etapa de campo.....	28
25. Primera etapa de campo.....	29
26. Diagrama de árbol apeado, sitios de corte y sectores de mensura.....	30
27. Segunda etapa de campo.....	31
28. Proceso de cubicación de árboles apeados.....	32
29. Histogramas de frecuencia para la población total y las especies en particular.....	33
30. Observaciones de DAP a los 172 meses de plantación para la totalidad de los individuos según especie y procedencia.....	34
31. Esquema de parcelas mostrando la posición de los árboles y el marco de plantación.....	39
32. Factores de forma obtenidos para las distintas clases diamétricas dentro de cada especie.....	41
33. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable factor de forma total con corteza.....	42
34. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable factor de forma total con corteza.....	43

35. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable factor de forma comercial sin corteza.....	43
36. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable factor de forma comercial sin corteza.....	44
37. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para <i>Eucalyptus grandis</i>	46
38. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para <i>Eucalyptus dunnii</i>	46
39. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para <i>Eucalyptus smithii</i>	47
40. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable altura según instrumentos de mensura.....	48
41. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable altura medida según los diferentes instrumentos.....	48
42. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable altura según especie.	49
43. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable altura según especie.....	49
44. Correlación entre la altura en metros medida con Vertex vs. la medida con cinta, a nivel general y por especie.....	50
45. Porcentaje de corteza total de los árboles apeados para cada especie.....	51
46. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie <i>Eucalyptus grandis</i>	52
47. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie <i>Eucalyptus dunnii</i>	53
48. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie <i>Eucalyptus smithii</i>	53
49. Porcentaje de corteza promedio de cada tercio de los árboles apeados, para cada especie analizada.....	54
50. Porcentaje de corteza a lo largo del árbol.....	55
51. Porcentaje de corteza promedio a lo largo de los árboles apeados para cada especie.....	55
52. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable porcentaje de corteza según especie.....	56
53. Qq-plot perteneciente al análisis de residuos de la variable porcentaje de corteza según especie.....	57

54. Volumen de corteza en función del diámetro a la altura del pecho para las diferentes especies estudiadas.....	60
55. Porcentaje de corteza en función del diámetro a la altura del pecho.....	61
56. Volumen comercial sin corteza expresado en metros cúbicos por individuo, según la especie.....	62
57. Residuales vs. predichos, histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable volumen total con corteza.....	65
58. Residuales vs. predichos, histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable volumen comercial sin corteza...	66
59. Residuales vs. predichos correspondientes al análisis de la variable diámetro a la altura del pecho.....	68
60. Histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable diámetro a la altura del pecho.....	69
61. Volumen total con corteza (m^3 /individuo) en función del DAP (cm).....	69

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en la caracterización de una población de árboles del género *Eucalyptus* compuesta por tres especies (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus smithii*), de 14 años de edad, ubicada en el departamento de Cerro Largo, a través de una serie de variables dasométricas, entre ellas: diámetro a la altura del pecho, altura, proporción de corteza y volumen (ésta última mediante el ajuste del factor de forma total y comercial para cada especie).

Una motivación especial para el abordaje de esta temática por parte del grupo consistió en la carencia de instancias prácticas ocurrida a raíz de la pandemia de covid-19, por lo cual, la realización de esta tesis no sólo aportará conocimientos teóricos, sino que también prácticos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la variabilidad volumétrica y caracterizar variables dasométricas de interés de diferentes procedencias de *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus smithii*, en el departamento de Cerro Largo.

1.1.2 Objetivos específicos

- i. Ajustar los factores de forma total y comercial, a través de la fórmula de Smalian, para las diferentes especies bajo estudio.
- ii. Calcular el error en la medición de alturas mediante la comparación de los instrumentos utilizados para la mensura de los árboles en pie y apeados.
- iii. Comparar diferencias en proporción de corteza para las especies en estudio.
- iv. Estimar y comparar el volumen total con corteza y volumen comercial sin corteza, a nivel de árbol individual y poblacional para las distintas especies.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

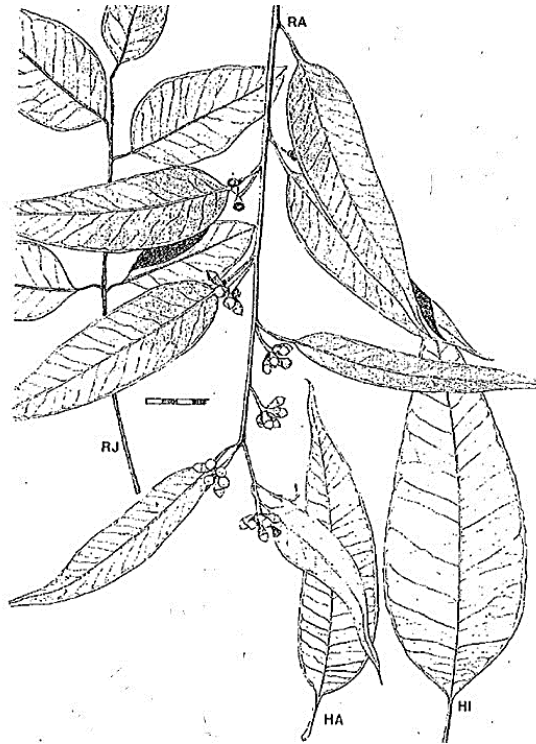
2.1 CARACTERIZACIÓN DE ESPECIES

Con el objetivo de permitir una correcta identificación de las especies analizadas en este trabajo, se presenta a continuación el desarrollo de sus principales características (descripción botánica). Además, se desarrolla una breve descripción de las condiciones de sitio donde se distribuyen naturalmente.

2.1.1 *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Nombre común: “eucalipto”, “rose gum”, “flooded gum”.

Brussa (1994), realiza una descripción clara y breve de esta especie, consiste en un árbol de gran porte, tronco recto y excelente desrame natural, con un follaje de textura media a gruesa y corteza caduca en fajas largas, persistente en la porción basal (1 – 3 m de altura) la cual es escamosa, y ritidoma color gris verdoso a gris blanquecino. En cuanto a las hojas, las juveniles presentan una filotaxia alterna, son pecioladas (1 – 2 cm), de forma oval, ápice agudo, acuminado y base redondeada, verde oscuras en el haz, muy discoloras, con dimensiones que van de 6 – 12 por 5 – 9 cm; en cuanto a las adultas, las mismas son pecioladas (2 – 2,8 cm), de forma lanceolada, ápice agudo, acuminado y base cuneada, verde oscuras y discoloras, presentando nervaduras secundarias transversales, con dimensiones que van de 10 – 18 por 2 – 3,5 cm (Figura No. 1). Presenta de 7 a 11 flores agrupadas en inflorescencias simples, axilares, sobre pedúnculos achatados de 0,8 a 1,5 cm. Los botones florales son ovoides o globosos, de 0,5 – 0,8 por 0,5 a 0,6 cm, en general glaucos y de pedicelos angulosos, opérculo cónico o rostrado, menor que el hipantio (Figura No. 2). La floración ocurre a fines de verano – comienzos de otoño, con una segunda floración de menor magnitud a comienzos de primavera. Los frutos son de forma piriforme, con dimensiones que van de 0,5 – 1,1 por 0,4 – 0,9 cm, con pedicelos cortos, disco plano incluso muy poco visible, 4 – 6 valvas levemente exsertas, curvas, con ápices convergentes (aún en la madurez). En lo que respecta a la madera, de acuerdo con Boland et al. (2006), presenta una albura de color rosado pálido, duramen rosado a levemente rojo, de grano recto, moderadamente fuerte y durable, con una densidad (secada al aire) de 545 a 955 Kg.m⁻³; sus usos generales van desde la construcción, carpintería, madera contrachapada, paneles, pisos, pero el mayor empleo de las plantaciones establecidas fuera del área de distribución natural consiste en la producción de pulpa de celulosa y papel.



HA: hoja adulta. HI=hoja intermedia. RJ=rama juvenil. RA=rama adulta.

Figura No. 1. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de *Eucalyptus grandis*

Fuente: adaptado de Brussa (1994).



Figura No. 2. Ilustración de yemas florales y frutos de *Eucalyptus grandis*

Fuente: adaptado de Jacob (1981).

Se distribuye naturalmente sobre la costa Este del continente australiano, 16 – 33° Latitud Sur (Figura No. 3), en altitudes desde 0 a 1100 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado hacia el Sur hasta tropical en el Norte, con un promedio de temperaturas máximas de 24 – 30°C y mínimas de 3 – 8°C, las heladas son escasas en localizaciones alejadas de la costa y altitudes elevadas, mientras que las precipitaciones medias anuales van desde los 1000 a 3500 mm, siendo máximas en el período estival (Hall et al., FAO, Boland et al., citados por Brussa 1994, Boland et al. 2006). Esta especie prefiere suelos con buena capacidad de retención de agua, profundos, de texturas limosas

y bien drenados (Kelly et al., Boland et al., Golfari, citados por Brussa, 1994), viéndose sensiblemente disminuida la velocidad de crecimiento en aquellos suelos poco desarrollados y/o con drenaje imperfecto (Brussa, 1994).

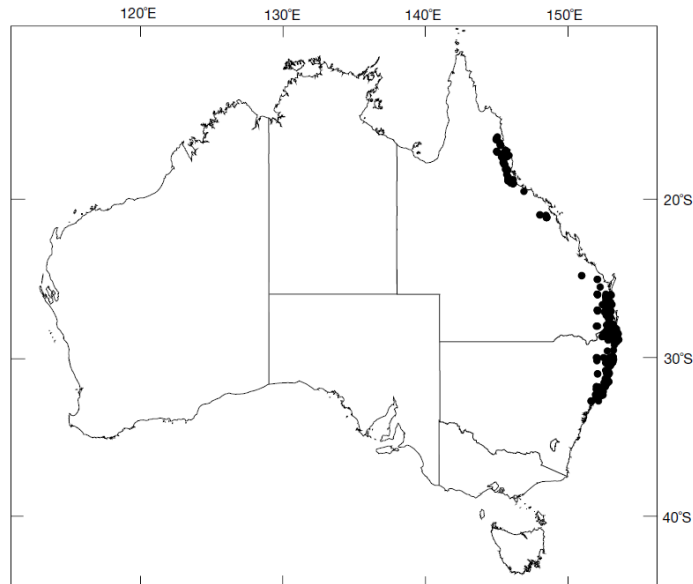


Figura No. 3. Distribución natural de *Eucalyptus grandis*

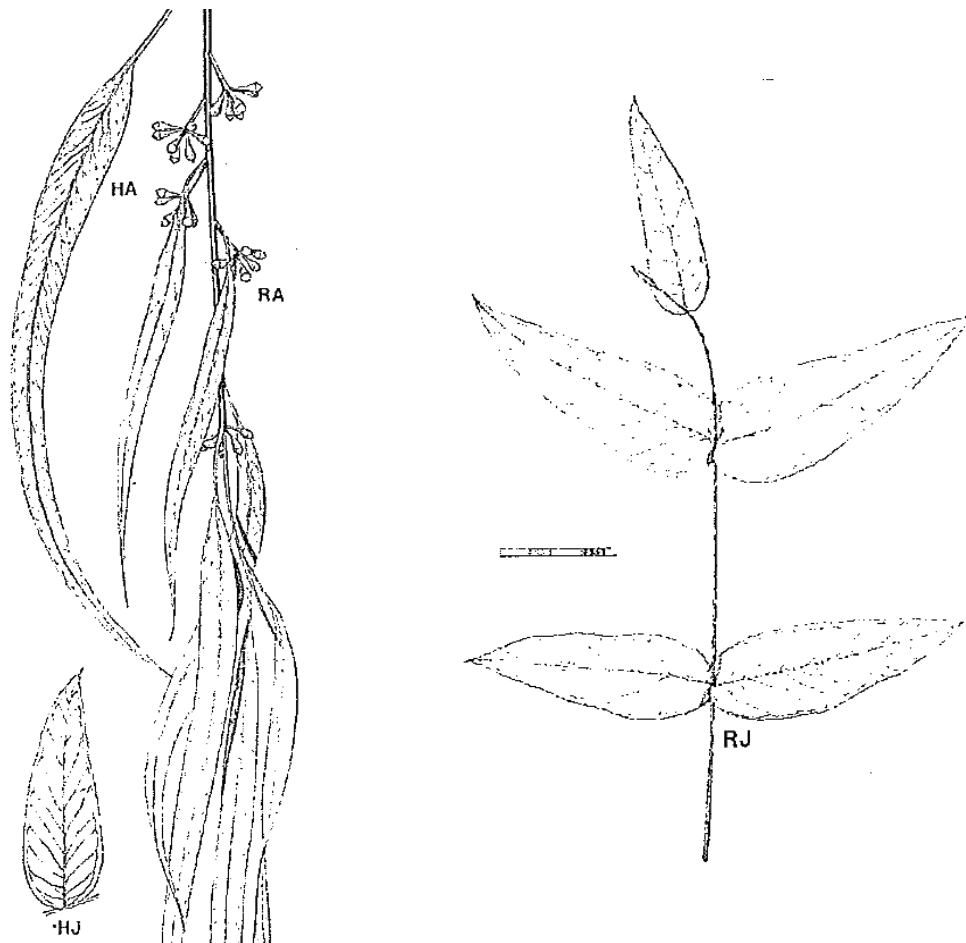
Fuente: tomado de Boland et al. (2006).

2.1.2 *Eucalyptus smithii* R. T. Baker

Nombre común: “eucalipto”, “gully gum”.

Brussa (1994), lo describe como un árbol de gran porte, con las partes superiores de su tronco presentando restos de corteza colgante y un follaje de textura media. Su corteza es persistente hasta la emergencia de las ramas primarias, dura y rugosa, de color castaño oscuro característico, mientras que en las ramas la misma es caduca en fajas largas. Su ritidoma es blanquecino o crema. Continuando con las hojas, las juveniles son opuestas, sésiles lanceoladas o ampliamente lanceoladas, de 3,5 – 6 por 1 – 1,8 cm, ápice agudo acuminado y base redondeada o auriculada leve, de color verde, discoloras, mientras que las intermedias presentan filotaxia subopuesta, son pecioladas (0,5 – 1 cm), ampliamente lanceoladas o lanceoladas, de 6 – 11 por 1,8 – 2,2 cm, presentando ápice agudo, acuminado, base cuneada, siendo verdes y levemente discoloras. Por su parte, las adultas son alternas, pecioladas (1 – 2 cm), de forma lanceolada a angostamente lanceolada, con dimensiones de 10 – 20 cm por 0,8 – 2,2 cm, ápice agudo acuminado y base cuneada, siendo de color verde, concoloras y presentando nervaduras secundarias oblicuas (Figura No. 4). En lo que respecta a las flores, el autor señala que presenta siete

flores dispuestas en inflorescencias simples, axilares, sobre pedúnculos achatados o angulosos de 0,5 a 1,2 cm; los botones florales son obovoides o clavados de 0,5 – 0,7 por 0,3 - 0,4 cm (pequeños), con pedicelos cilíndricos, opérculo hemisférico – apiculado o rostrado, más corto que el hipantio (Figura No. 5). La floración ocurre de manera profusa a comienzos de la primavera. Continuando con los frutos, éstos son de forma subglobosa a globosa, de 0,6 – 0,7 por 0,5 – 0,6 cm, pedicelados, con disco notorio, convexo, exserto, presentando 3 o 4 valvas a nivel o algo salientes y anchas. En cuanto a la madera, presenta un duramen castaño claro, de durabilidad moderada; la misma es apta para la construcción en general y como combustible (Brussa, 1994) presentando, además, potencial como madera pulpable (Boland et al., 2006).



HA: hoja adulta. HJ=hoja juvenil. RA=rama adulta. RJ=rama juvenil.

Figura No. 4. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de *Eucalyptus smithii*

Fuente: adaptado de Brussa (1994).



Figura No. 5. Ilustración de yemas florales y frutos de *Eucalyptus smithii*

Fuente: adaptado de Jacob (1981).

Esta especie se distribuye naturalmente en el Sureste australiano (34 – 37° Latitud Sur), tanto en áreas costeras como continentales, en altitudes que van desde el nivel del mar hasta 1100 m de altitud (Jacob 1981, Boland et al., citados por Brussa 1994), ocurriendo en los bordes orientales del extremo Sur de las mesetas centrales y del Sur, y en las escarpas adyacentes y tierras bajas del Sudeste de Nueva Gales del Sur, además de Victoria oriental. Se desarrolla en las pendientes más bajas de las colinas y alrededor de los bordes de pantanos en mesetas onduladas y montañosas, también en llanuras y pendientes bajas cercanas a arroyos de la zona costera. En algunas localidades ocurre de manera notable en escarpas, bases de acantilados y en las pendientes superiores de crestas secas y expuestas de areniscas (Boland et al., 2006). El clima predominante es templado a templado – frío, caracterizado por un promedio de temperaturas máximas entre los 22 – 28°C y mínimas entre -2 – 6°C, mientras que la precipitación media anual se encuentra en el rango de 750 – 1700 mm, presentando una distribución mayoritariamente uniforme (Jacob 1981, Boland et al., citados por Brussa 1994) a máximas en verano (Boland et al., 1987). En cuanto a la incidencia de heladas, Jacob (1981), Boland et al., citados por Brussa (1994), señalan la ocurrencia de hasta 60 heladas por año, mientras que Boland et al. (2006) señalan la ocurrencia de hasta 100 heladas anuales en altitudes elevadas. En lo que respecta a los suelos, Boland et al., citados por Brussa (1994), indican que esta especie crece en suelos franco arcillosos a franco limosos originados sobre basalto, mientras que Boland et al. (2006) señalan que la especie crece en un amplio rango de suelos derivados de rocas sedimentarias y volcánicas, mientras que éstos sean moderadamente fértiles.

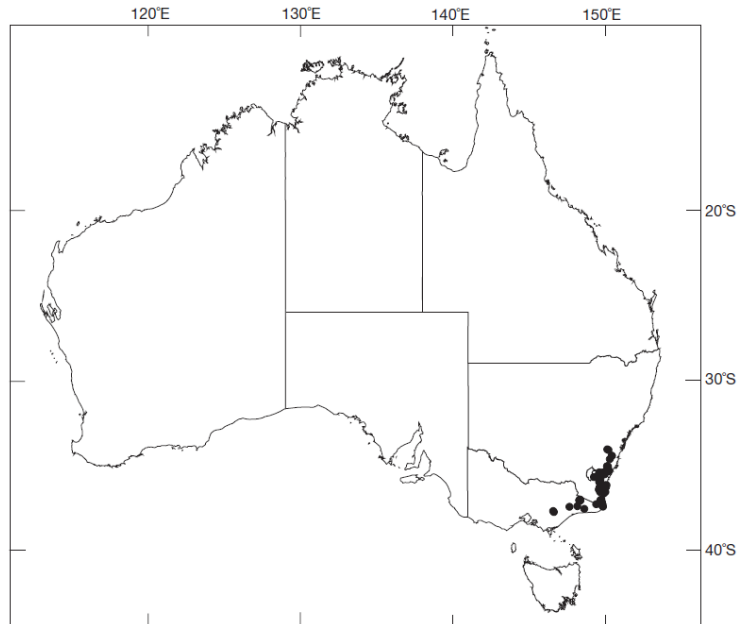


Figura No. 6. Distribución natural de *Eucalyptus smithii*

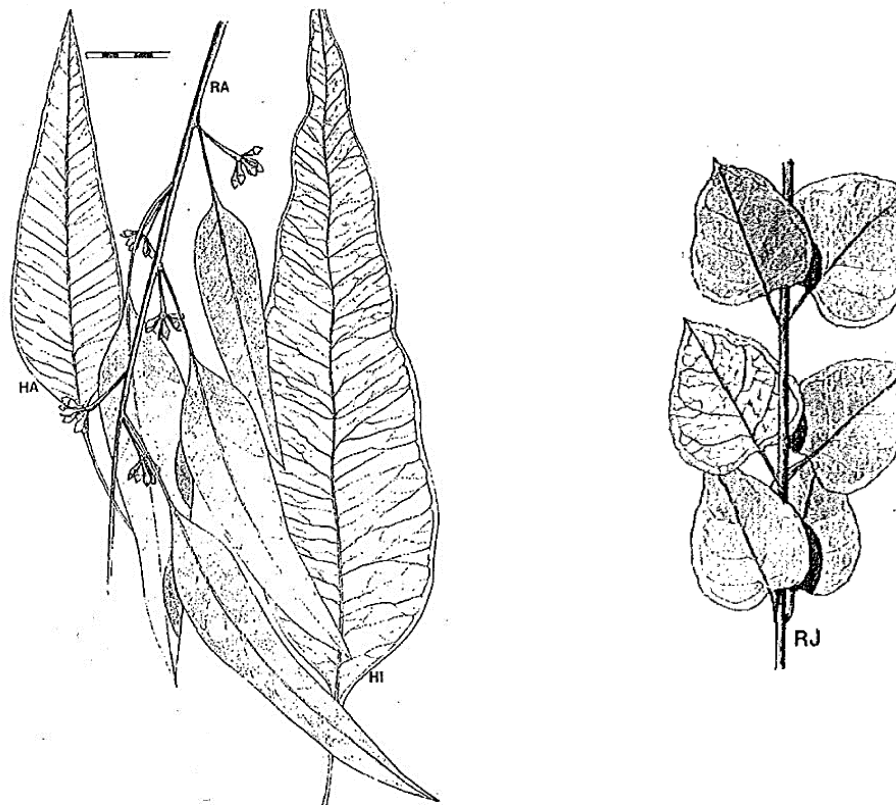
Fuente: tomado de Boland et al. (2006).

2.1.3 *Eucalyptus dunnii* Maiden

Nombre común: “eucalipto blanco”, “Dunn’s white gum”.

De acuerdo con Brussa (1994), esta especie consta de árboles de fuste recto y follaje verde, péndulo, con una porción persistente de corteza en la base del tronco, de textura escamosa y color castaño – grisáceo, mientras que en el resto del tronco la misma es caduca en fajas largas, presentando un ritidoma de color grisáceo a crema. Presenta hojas juveniles opuestas o subopuestas, pecioladas (0,5 – 1,5 cm), de forma oval a elíptica, de dimensiones 4 – 10 por 3 – 7 cm, con ápice agudo, mucronado y base cordada o redondeada, de color verde y netamente discoloras. Las intermedias son alternas, pecioladas (2,5 – 3,5 cm), de forma oval – lanceoladas o ampliamente lanceoladas, de 12 – 30 por 4 – 6, cm, ápice agudo acuminado y base redondeada a ampliamente cuneada, color verde levemente discoloras. Las adultas son también alternas, pecioladas (2 – 3 cm), lanceoladas, de 10 – 20 por 2 – 4 cm, presentando ápice agudo, acuminado y base cuneada, siendo levemente discoloras a concoloras, observándose nervaduras secundarias oblicuas (Figura No. 7). Presenta 7 flores dispuestas en inflorescencias simples, axilares, sobre pedúnculos achatados de 1,5 a 2 cm; los botones florales son de forma ovoide, de 0,7 por 0,3 cm, con pedicelos angulosos, opérculo levemente rostrado, más largo que el hipantio (Figura No. 8). La floración ocurre en fines de primavera y en verano. Los frutos son de forma hemisférica, de 0,6 por 0,6 cm, disco convexo, notorio y exserto, presentando 3 a 4 valvas salientes, anchas y fuertes. En lo que respecta a su madera, presenta un duramen

amarillento, de baja o poca durabilidad y una densidad (seco al aire) de 800 Kg.m^{-3} , la cual es empleada fundamentalmente en construcciones livianas (Boland et al., citados por Brussa, 1994). Según Boland et al. (2006), la madera de esta especie es similar a la de *Eucalyptus globulus*.



HA: hoja adulta. HI=hoja intermedia. RA=rama adulta. RJ=rama juvenil.

Figura No. 7. Ilustración de ramas y hojas jóvenes y adultas de *Eucalyptus dunnii*

Fuente: adaptado de Brussa (1994).



Figura No. 8. Ilustración de yemas florales y frutos de *Eucalyptus dunnii*

Fuente: adaptado de Jacob (1981).

Esta especie tiene un área de distribución natural restringida en cuanto a su extensión, y dividida en dos partes separadas espacialmente, ubicadas en el Noreste de Nueva Gales del Sur y en el Sureste de Queensland, entre los 28 y 30° Latitud Sur. La misma es mayoritariamente hallada en valles y en pendientes bajas de colinas, pero también crece sobre suelos basálticos alrededor de los límites de bosques lluviosos (Boland et al., 2006). El rango de altitud en el cual ocurre abarca de 220 a 860 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado, con un promedio de temperaturas máximas de 24 – 29°C, y un promedio de mínimas de 2 – 5°C, con una incidencia de heladas moderada (de 20 a 60 heladas por año durante el invierno), presentando precipitaciones estivales en un rango de 1000 – 1600 mm anuales (Boland et al., 2006). En lo que respecta a los suelos, el *E. dunnii* prefiere suelos húmedos, altamente fértiles, particularmente originados de roca basáltica, pero también crece sobre aquellos derivados de roca sedimentaria (Boland et al., 2006), mientras que Boland et al., citados por Brussa (1994), señalan que requiere suelos con buena capacidad de retención de agua y buena aireación, siendo sensible al mal drenaje.

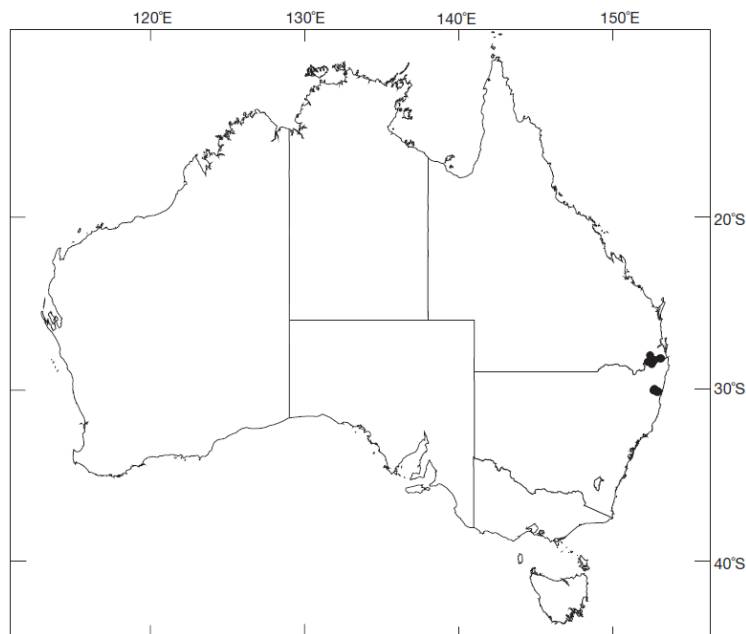


Figura No. 9. Distribución natural de *Eucalyptus dunnii*

Fuente: tomado de Boland et al. (2006).

2.2 ANTECEDENTES DE USO DE LAS ESPECIES DEL GÉNERO EUCALYPTUS EN URUGUAY

En Uruguay, las plantaciones de *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (principal especie pulpable utilizada en los inicios de la actividad forestal en Uruguay) han

presentado serios problemas de sanidad debido fundamentalmente a la mancha foliar causada por *Teratosphaeria nubilosa*, que, sumado a tasas de crecimiento desiguales en las distintas regiones del país, han incentivado la búsqueda de otras especies y materiales genéticos que permitieran sortear dichas dificultades y presentaran características adecuadas a los estándares requeridos para abastecer a la industria pulpería. Para lo cual, entonces, se han buscado propiedades papeleras de las pulpas blanqueadas de especies alternativas, tales como *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus maidennii* (Doldán et al., 2008) y en los últimos años se han comenzado estudios en *Eucalyptus smithii*.

En lo que respecta a *Eucalyptus grandis*, Brussa (1994), señala que su cultivo en Uruguay se difunde en la década del '60, luego que la especie fuera introducida en 1963 a partir de huertos semilleros en Sudáfrica. También indica que se trata de uno de los cultivos más empleados en forestaciones comerciales dada su conformación y velocidad de crecimiento.

Esta especie ha sido utilizada debido a sus características ecológicas, como gran plasticidad frente al frío, aridez, sequía y al calor. Presenta variabilidad genética moderada, sin embargo, puede cruzarse fácilmente con otras especies de *Eucalyptus*. No presenta lignotubérculos (estructura subterránea de protección del tallo que permite la emisión de nuevos brotes en caso de que la parte aérea haya sido destruida) (de la Rama 1976, Jacob 1981).

Tanto el *Eucalyptus grandis* como *Eucalyptus urophylla* han sido usados extensivamente por la industria de papel y celulosa en Brasil, China, República Democrática del Congo y Sudáfrica, debido principalmente a su elevado crecimiento y resistencia al cancro (FAO, 2007). También se puede emplear en tableros contrachapados, postes, pilotes, entre otros. Una de las razones de su uso tanto para pulpa de celulosa como biomasa, entre otros, es que presenta tasas de crecimiento elevadas y que éstas son sostenidas, alcanzando en Brasil crecimientos entre 25 a 55 m³ por hectárea y por año. A su vez, presenta buenos brotes de cepa (de la Rama, 1976).

En cuanto a *Eucalyptus dunnii*, Golfari, citado por Brussa (1994), señala que esta especie presenta más resistencia al frío en comparación con *Eucalyptus grandis*.

De acuerdo con un estudio realizado por Doldán et al. (2008), se señala que el *Eucalyptus grandis* presenta una densidad aparente básica menor a las demás especies evaluadas en ese ensayo, con promedios de 0,423 g/cm³, mientras que *Eucalyptus dunnii* presenta un promedio de 0,499 g/cm³ (ver Anexo No. 3). Tanto *Eucalyptus dunnii* como *Eucalyptus grandis* han presentado rendimientos brutos a Kappa 20 (indicador de la lignina residual en la pulpa) con una media de 51,1 y 51,7 %, respectivamente.

Al momento de comparar el consumo de madera y productividad, se realiza la combinación de densidad aparente básica de la madera y el rendimiento de pulpa en cocción, empleando el consumo de la materia prima utilizada para generar una tonelada de pulpa seca al aire. Los resultados obtenidos muestran a *Eucalyptus grandis* con consumos cercanos a 4 m³/ton, mientras que *Eucalyptus dunnii* junto a otras especies dieron un promedio cercano a 3,2 m³/ton (Doldán et al., 2008).

Por su parte, la especie *Eucalyptus smithii*, según Brussa (1994), fue introducida por A. Lussich, a comienzos del actual siglo, difundiéndose su cultivo a pequeña escala. Krall, citado por Brussa (1994), menciona que, en ensayos realizados en la EEBR (Estación Experimental Bernardo Rosengurt), la especie demostró una resistencia superior a heladas respecto al resto de los eucaliptos.

2.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES EN URUGUAY

En la actualidad, la superficie forestada de plantaciones mayores a 3 años en Uruguay es de 1.048.228 hectáreas efectivas y de 38.881 hectáreas efectivas cosechadas, totalizando 1.087.109 hectáreas efectivas destinadas al uso forestal (MGAP. DGF, 2021).

En lo que respecta a las especies de interés para este trabajo, la superficie efectiva en hectáreas para *Eucalyptus grandis* es de 250.964 correspondiendo al 23,1% de la superficie efectiva destinada al uso forestal. Por su parte, *Eucalyptus dunnii* ocupa una superficie total de 216.581 hectáreas, lo que equivale al 19,9% de la superficie efectiva destinada a la forestación. En cuanto a *Eucalyptus smithii*, no se cuenta con un dato único de superficie plantada con la especie, sino que está considerado dentro de la categoría “otros *Eucalyptus*” la cual ocupa 23.356 hectáreas, siendo equivalente al 2,1% del total destinado a la forestación (MGAP. DGF, 2021).

Con respecto a las plantaciones menores a 3 años, se registra un total de 242.079 hectáreas efectivas, las cuales no fue posible determinar las especies, sin embargo, es posible inferir en base a las encuestas de vivero que para el periodo 2018-2021 la superficie quedaría dividida de la siguiente manera: 49% *Eucalyptus dunnii*, 36% *Eucalyptus grandis*, 11% de otros *Eucalyptus* y 4% de *Pinus* (MGAP. DGF, 2021).

2.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

A continuación, se presenta una breve revisión de los posibles instrumentos a ser utilizados en la realización de la parte práctica de este trabajo, la cual incluye una descripción de cada instrumento junto con las ventajas y desventajas que éstos presentan.

2.4.1 Diámetro

La medición del diámetro es la operación más común y sencilla de mensura; en árboles en pie, el diámetro representativo del árbol se encuentra a una altura de 1,3 metros desde el nivel del suelo, por lo que se lo denomina “Diámetro a la Altura del Pecho” (DAP), pero existen, además, otros puntos de interés en la medición del diámetro en árboles en pie, como a la altura del tocón, a la mitad del fuste, a la altura del comienzo de la copa, cualquier punto sobre el fuste, diámetros límites comerciales (Prodan et al., 1997).

Existe una variedad de instrumentos disponibles para la medición directa o indirecta de los diámetros mencionados en árboles en pie o de trozas.

2.4.1.1 Cinta diamétrica

Consiste en una cinta hecha de metal o plástico (esta última es más flexible y menos frágil que la anterior, pero puede presentar problemas debido a un estiramiento excesivo de la misma, ver Figura No. 10), la cual está graduada para indicar el diámetro en base al perímetro de la sección, basándose en el supuesto de que la sección del tronco a medir es circular (graduada en unidades de π ; a partir de la fórmula de perímetro de la circunferencia $c = \pi * d$, se lee directamente el diámetro: $d = c / \pi$). Existe una gran diversidad de cintas, por lo cual, la selección de sus dimensiones debe estar basada en las características propias de los árboles a ser medidos. Presenta como principales ventajas, practicidad debida a la facilidad en su transporte y exactitud en la realización de las lecturas, dado que, por lo general, la precisión es en milímetros (Sistema Internacional). Además, se requiere únicamente la realización de una lectura. Sin embargo, presenta la desventaja de que cuando se está frente a diámetros grandes, la cinta puede tender a doblarse y no mantener la perpendicularidad con el eje axial del árbol, lo que causaría errores de medición, y la sobreestimación sistemática del diámetro cuando la situación es de árboles de sección no circular (Prodan et al. 1997, Vallejos y Morás 2013).



Figura No. 10. Medición del diámetro utilizando cinta diamétrica

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

Una variante más económica de esta clase de instrumento consiste en un elemento cotidiano, la “cinta costurera”; en el caso de que se opte por utilizar dicho instrumento, se deberá aplicar la fórmula descrita anteriormente en este apartado (el perímetro de la circunferencia “c” es igual a π por el diámetro, por lo cual, se despeja el diámetro dividiendo el perímetro de la circunferencia medido con la cinta entre π) para obtener el diámetro.

2.4.1.2 Forcípula

Este instrumento consiste en una regla graduada en centímetros y milímetros de diámetro, o en clases diamétricas (forcípula compensada), con dos brazos paralelos entre sí y perpendiculares a la regla, uno fijo en ésta y el otro móvil, el cual se desliza por la regla (Figuras No. 11 y No. 12). Al igual que ocurre con la cinta diamétrica, existen diversos tamaños de forcípula, por lo que el mismo debe ser seleccionado de acuerdo a las características de los árboles que serán medidos. En comparación con la cinta diamétrica, este instrumento es más frágil (en cuanto a su susceptibilidad a la ruptura y pérdida de las dimensiones que deben ser mantenidas), por lo que su traslado debe ser más cuidadoso, siendo preferible una forcípula metálica a una hecha de madera (por cuestiones de facilidad de limpieza y estabilidad frente a las condiciones climáticas). Más allá de esto, el principal problema en el empleo de este instrumento se presenta cuando los brazos pierden perpendicularidad respecto a la regla y/o no se encuentran en un mismo plano horizontal (se pierde el paralelismo entre los brazos), lo cual puede ocasionar sobre o subestimaciones del diámetro (Rondeux 2010, Vallejos y Morás 2013). En este último caso, donde el brazo móvil suelto pierde paralelismo con el brazo fijo, el error de medición es de carácter sistemático y de signo negativo, o sea, de subestimación. Además, es necesario que el aparato sea mantenido en un plano lo más perpendicular posible al eje axial/longitudinal del árbol; los errores en este caso son de signo positivo, o sea, de sobreestimación (Prodan et al., 1997). También es necesario mencionar que con este instrumento son necesarias dos lecturas del diámetro de forma perpendicular entre sí, para posteriormente utilizar el promedio de ambas medidas.

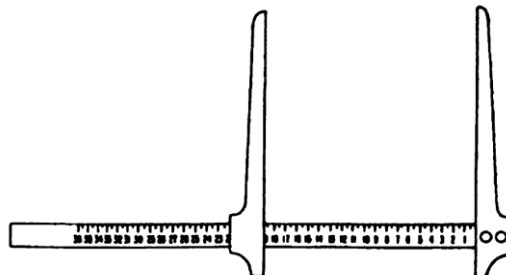


Figura No. 11. Forcípula de brazos paralelos

Fuente: tomado de Prodan et al. (1997).



Figura No. 12. Medición del diámetro utilizando forcípula

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

2.4.2 Altura

Después del diámetro de un árbol, la altura es la característica más importante a determinar en árboles en pie, con el fin de calcular posteriormente el volumen o diversos parámetros de forma de un árbol o masa boscosa (Rondeux, 2010).

La altura total de un árbol corresponde a la longitud del segmento de recta que une la base del árbol con su yema terminal (Pardé y Bouchon, citados por Vallejos y Morás, 2013). La medición de este parámetro presenta dificultades para emplear instrumentos de contacto o medición directa cuando las alturas sobrepasan los 8 – 10 metros, por lo cual se usan instrumentos de tipo óptico basados en principios geométricos y trigonométricos (Müller, Tischendorf, citados por Prodan et al., 1997).

Por otro lado, la altura comercial consiste en la distancia entre un punto en la parte inferior del tronco y un diámetro comercial (Soares et al., citados por Oñate, 2018). Para este trabajo, se considerará como altura comercial, la distancia entre la base del tronco a nivel del suelo y un diámetro en punta fina de 8 cm.

En lo que respecta a la medición de longitud de árboles apeados o de trozas, la misma es efectuada normalmente utilizando cintas, siendo despreciables los errores de medición en estos casos (Rondeux, 2010).

Por su parte, para la medición de árboles en pie, se utilizan aparatos denominados “hipsómetros”, los cuales se basan, como se mencionó anteriormente, en principios tanto geométricos (apoyándose en las relaciones que existen entre los triángulos semejantes), como trigonométricos (basados en medidas de ángulos). El primer grupo incluye los hipsómetros de Merrit y Christen, mientras que en el segundo grupo se hallan los hipsómetros de Blume-Leiss, Suunto, Haga y el relascopio de Bitterlich (Rondeux, 2010), además de los instrumentos de última generación.

Los instrumentos basados en principios geométricos presentan el inconveniente de que pierden precisión cuando la altura de los árboles se vuelve mayor a 20 metros aproximadamente, lo que genera errores considerables, por lo cual no serán desarrollados en esta sección. Por su parte, los instrumentos basados en principios trigonométricos presentan una precisión mayor en comparación a los primeros, pudiéndose, además, realizar la corrección o eliminación del efecto de inclinación del terreno (Imaña, 2011).

Los instrumentos tradicionales basados en principios trigonométricos se sustentan en la medición del ángulo de elevación (α) y de deflexión (β), y la aplicación de expresiones trigonométricas (Figura No. 13, Vallejos y Morás, 2013), por lo cual, es necesario la realización de dos mediciones u observaciones en cada caso (Prodan et al., 1997).

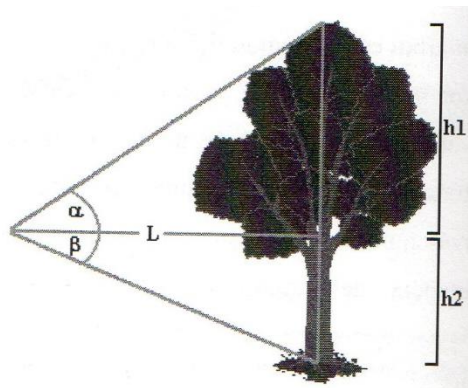


Figura No. 13. Principio de medición de instrumentos tradicionales

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

A continuación, se detallan las expresiones trigonométricas utilizadas:

$$h1 = \tan(\alpha) * L$$

$$h2 = \tan(\beta) * L$$

Donde,

h1 = altura por sobre el nivel de la visual

h2 = altura por debajo del nivel de la visual

h = altura total del árbol

tan = función trigonométrica “tangente” del ángulo respectivo

α = ángulo de elevación

β = ángulo de deflexión

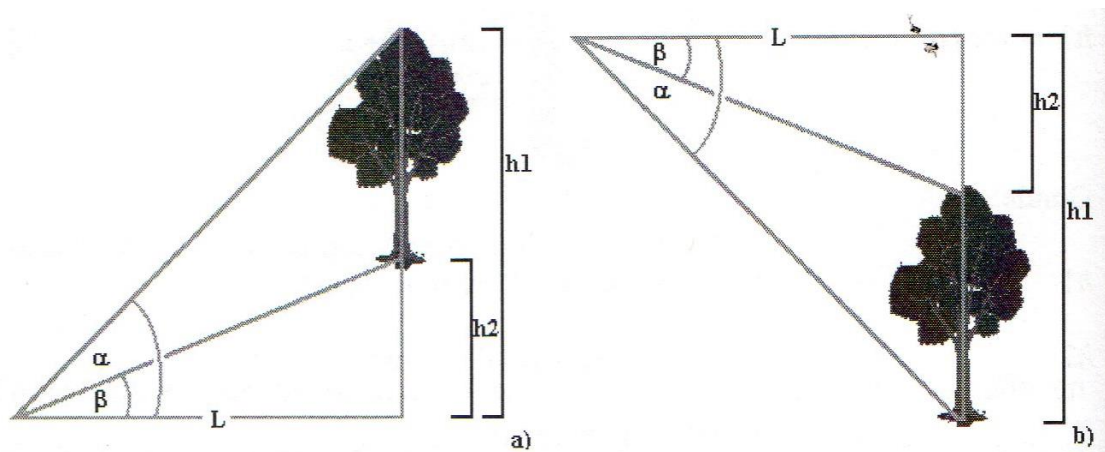
L = distancia entre el observador y el árbol

La altura del árbol resulta de:

1. La adición de los dos componentes de la siguiente expresión (en valor absoluto), si el nivel de la visual se encuentra entre la base del árbol y su ápice (Figura No. 13).

$$h = h1 \pm h2 = L (\text{Tan}(\alpha) \pm \text{Tan}(\beta))$$

2. La resta de las expresiones trigonométricas (a la lectura de mayor valor se le resta la de menor valor, en valor absoluto), si el nivel de la visual está debajo de la base o por sobre el ápice del árbol (Figura No. 14, Vallejos y Morás, 2013).



a) Observador por debajo de la base del árbol. b) Observador por encima del ápice del árbol.

Figura No. 14. Obtención de la altura del árbol, restando las lecturas realizadas

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

2.4.2.1 Blume-Leiss

Se trata de un instrumento muy práctico, de pequeño tamaño (Figura No. 15), que incluye un clisímetro graduado en tangentes del ángulo de visión multiplicadas por las distancias de alejamiento (esto quiere decir que la lectura que arroja el instrumento es la altura de cada observación en metros, para el caso de que se utilice el Sistema Internacional), provisto de un péndulo que se bloquea de forma manual cuando se divide el objetivo a medir en el visor (ápice o base del árbol). Presenta cinco escalas visibles al mismo tiempo, de las cuales cuatro sirven para la medición de alturas a diferentes distancias de posición del observador respecto al árbol (15, 20, 30 y 40 metros) y una escala en grados, destinada a la medición de ángulos cuando se trabaja en una situación de pendiente.

Las principales ventajas que presenta este instrumento consisten en su gran precisión, su sencillez de manejo y la posibilidad de efectuar rápidamente correcciones de pendiente, mientras que las principales desventajas consisten en que presenta gran sensibilidad a la humedad y dificultad para apreciar el bloqueo del péndulo (Rondeux, 2010).



Figura No. 15. Hipsómetro de Blume-Leiss

Fuente: tomado de Rondeux (2010).

2.4.2.2 Suunto

Consiste en un hipsómetro de metal, de pequeñas dimensiones (7 cm de largo, 5 cm de ancho y 1,5 cm de espesor), con una ventana circular transparente en una de sus caras laterales que ilumina el interior del aparato (Figura No. 16). A diferencia del hipsómetro de Blume-Leiss, este instrumento incluye únicamente dos escalas de lectura, para posicionarse a 15 y 20 metros de distancia del árbol y una escala de pendiente (en algunos modelos), expresadas en grados o en porcentajes. Como ventajas presenta su facilidad de uso y una precisión muy similar al Blume-Leiss (Rondeux, 2010). Como inconveniente principal se destaca el hecho de que, para realizar la medición, mientras un ojo hace puntería hacia la base o el ápice del árbol, el otro ojo observa la escala interna del clinómetro, no pudiéndose fijar la lectura en la escala.

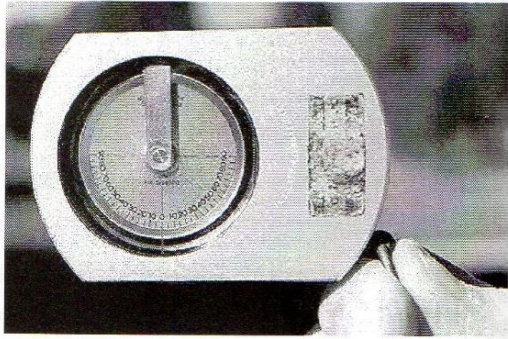


Figura No. 16. Hipsómetro de Suunto

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

2.4.2.3 Haga

Este instrumento (Figura No. 17) posee un péndulo interno, el cual oscila por efecto gravitacional, señalando la medición en alguna de las cuatro escalas que posee para la medición de altura (15, 20, 25 y 30 metros). Este instrumento arroja directamente la altura en metros hacia donde fue realizada la visual, de modo que solo es necesario sumar o restar las lecturas obtenidas (según sea el caso) para obtener la altura total. En comparación con el Blume-Leiss, este instrumento solo muestra una escala a la vez, lo que evita posibles confusiones en la realización de las lecturas (Vallejos y Morás, 2013).



Figura No. 17. Hipsómetro Haga

Fuente: tomado de Vallejos y Morás (2013).

2.4.2.4 Relascopio de Bitterlich

Consiste en un instrumento pequeño (14 x 4 x 7 cm), fácil de usar y de transportar, que sirve para la medición de diferentes parámetros del árbol individual, tales como altura y diámetro a cualquier altura. Exteriormente posee tres ventanas circulares, dos laterales y una frontal, las cuales permiten el pasaje de la luz necesaria para la visualización en el interior del aparato y la lectura de las visuales lanzadas. En la parte superior posee un visor opuesto a la ventana circular frontal mediante el cual se realiza el lanzamiento de las visuales. En la ventana frontal va colocada una visera móvil cuyo objetivo es evitar el encandilamiento del operario, mediante la reducción de la iluminación que ingresa. Este instrumento (Figura No. 18) cuenta con un pulsador que permite fijar o liberar un péndulo situado en el interior, el cual lleva las escalas y bandas utilizadas para realizar las mediciones y que oscila alrededor de un eje horizontal (Obon et al., Diéguez et al., citados por Orrillo, 2019).



Figura No. 18. Relascopio de Bitterlich

Fuente: adaptado de Silvanus (2021).

Si se mira a través del visor, lo que se observa es un campo de visión circular, dividido en dos mitades por una franja horizontal (Figura No. 19); en el semicírculo superior se visualizan los objetos que están delante del observador, mientras que en el semicírculo inferior se encuentran las escalas graduadas y las bandas del instrumento, alternadas en blanco y negro (o sea, en la mitad superior se ve hacia el exterior y en la inferior se ve hacia el interior del instrumento). Las lecturas de las bandas y escalas son realizadas sobre la línea que separa los dos semicírculos (Diéguez et al., citados por Orrillo, 2019).



Figura No. 19. Visual a través del Relascope de Bitterlich

Fuente: adaptado de Silvanus (2021).

El método operativo consiste en la liberación y movimiento del péndulo por gravedad, cuando se presiona el botón, y con él, el movimiento de las escalas y bandas (las mismas están trazadas sobre este péndulo que gira en torno al eje horizontal). Posteriormente se fijan las escalas y se realiza la lectura (Diéguez et al., citados por Orrillo, 2019).

2.4.2.5 Hipsómetro digital Vertex

Corresponde a un instrumento que utiliza impulsos ultrasónicos para medir y está compuesto por dos unidades, un emisor y un receptor. El mismo puede ser utilizado a una distancia de 0 a 50 metros del árbol, permitiendo medir alturas de 0 a 100 metros, presentando gran resolución (0,01) si la medición es realizada a menos de 20 metros de distancia. Su método operativo consiste en apuntar el emisor hacia el receptor colocado a 1,30 metros de altura desde el suelo, hasta que en la pantalla se visualiza la distancia real y horizontal, y el ángulo. Luego se apunta a la copa, se oprime un botón y se lee la altura. Este instrumento permite registrar hasta 3 alturas en una misma medición (Prodan et al. 1997, Rondeux 2010).

Al ser un instrumento que utiliza señales ultrasónicas, implica que uno de los errores de medición posibles de cometer consista en la interferencia de dichas señales por parte de cualquier factor que se interponga; entre dichos factores se encuentra la humedad ambiente, presión del aire, ruidos ambientales y temperatura, razón por la cual se debe calibrar el instrumento regularmente, considerando el tiempo necesario para que éste se estabilice a la temperatura ambiental. A su vez, para disminuir eventuales errores, siempre se debe sostener el instrumento lo más recto posible (Haglöf, 2014).

2.4.3 Corteza

La importancia de esta característica radica en el hecho de que influye en el volumen del tronco y del árbol, lo que afecta, a su vez, su valor económico (Imaña, 2011).

El parámetro espesor de corteza puede ser medido con diferentes instrumentos, por ejemplo, el calibre de corteza y el calador de Pressler (Rondeux, 2010).

Por otro lado, es posible calcular el volumen de corteza mediante la diferencia entre el volumen con corteza y el volumen sin corteza, lo que permite finalmente calcular el porcentaje o proporción de corteza. En este caso, una posible forma de llegar al valor de dicho parámetro es mediante la cubicación del árbol aplicando la fórmula de Smalian, para lo cual es necesario contar con los datos de diámetro con y sin corteza de las trozas para el cálculo de volumen con y sin corteza, respectivamente, siendo éstos obtenidos a través del empleo de cinta diamétrica.

2.5 FUENTES DE ERROR Y AJUSTES DE MEDICIÓN

2.5.1 Errores instrumentales

Para el caso de los hipsómetros basados en principios trigonométricos, pueden mencionarse errores derivados de defectos de fabricación, errores asociados a un mal mantenimiento y/o a la ausencia de controles regulares (Rondeux, 2010), lo que influye en la precisión de los instrumentos.

2.5.2 Errores de medición

Rondeux (2010), señala que lo más frecuente para eliminar o disminuir errores en la medición de alturas es comparar los resultados de mediciones efectuadas mediante el empleo de diferentes hipsómetros, contra valores reales a través del apeo de dichos árboles, o el estudio de las diferencias observadas entre los hipsómetros.

Rondeux (2010) menciona, además, que hay que tener en cuenta errores aleatorios relativos a la configuración de los árboles medidos, errores debidos al operario y errores de distancia del operador respecto al árbol.

En lo que respecta a los errores relativos a la configuración de los árboles medidos, se debe tener presente que la altura total de un árbol puede determinarse únicamente de forma correcta en el caso de que la base y el ápice de dicho árbol sean identificables (ausencia de errores de enfoque), condición más difícil de cumplir por parte de especies frondosas en comparación a las coníferas. Por otra parte, el aspecto general de la masa boscosa (densidad, disposición de los árboles), puede incomodar el posicionamiento del operario, de modo que no se logre la distancia adecuada para efectuar

la medición. La inclinación de los árboles también constituye o implica un error (Rondeux, 2010).

En cuanto a los errores debidos al operario, los mismos frecuentemente se deben a una mala observación, así como a errores en la manipulación del instrumento o de lectura, lo cual puede agravarse debido a la subjetividad en la realización de las mismas, fundamentalmente en el caso de frondosas, donde es posible que el ápice no se visualice correctamente; en realidad, la dificultad para determinar la posición exacta del ápice del árbol consiste en la fuente más importante de sesgo en la medición de la altura (Rondeux, 2010).

Por su parte, los errores debidos al posicionamiento del operario ocurren cuando se está utilizando un instrumento graduado para distintas distancias hacia el árbol a medir, como, por ejemplo, el hipsómetro de Blume-Leiss y el Relascopio de Bitterlich (Rondeux, 2010). Este error es capaz de ser corregido mediante la realización de una simple cuenta.

$$H = h * \frac{D}{d}$$

Donde,

H= altura real del árbol

h= altura aparente (obtenida mediante la suma o substracción de lecturas).

D= distancia real a la cual se situó el operador y desde la cual fueron realizadas las lecturas.

d= distancia correspondiente a la escala utilizada según el instrumento (distancia a la cual se debería haber situado el operador).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

En este apartado se presenta una descripción general del área de estudio en cuanto a su ubicación y características de suelo y clima del lugar.

3.1.1 Ubicación del ensayo

El ensayo se encuentra en un predio perteneciente a la empresa Lumin S.A. Esta empresa se destaca por la producción de paneles contrachapados, así como también por la producción de trozas de pino y eucalipto de alta calidad. Además, posee un área destinada al mejoramiento genético e investigación, marco en el cual se encuentra el predio utilizado en este informe. El predio está ubicado a 22 km de la ciudad de Melo, en el departamento de Cerro Largo, sobre la ruta 44 ($32^{\circ}17'50.20''S$, $54^{\circ}22'02.49''O$; Figuras No. 20 y No. 21).



Figura No. 20. Ubicación del ensayo

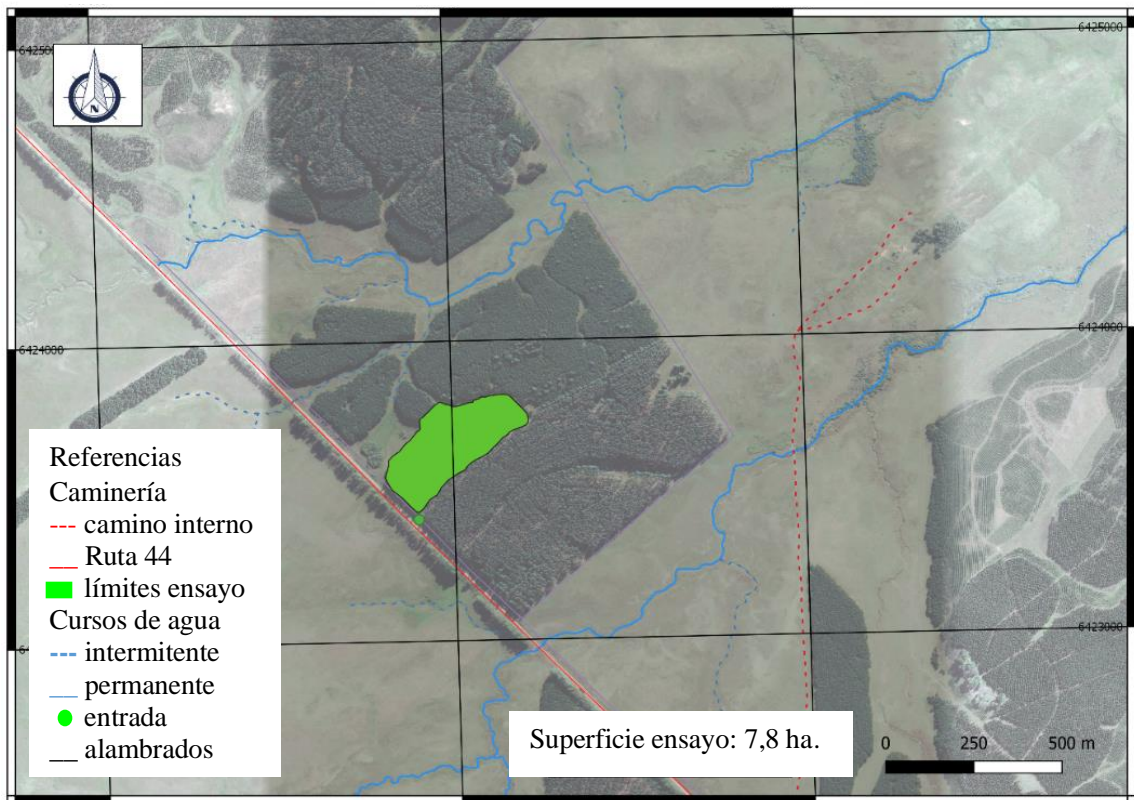


Figura No. 21. Ubicación del ensayo

3.1.2 Suelo

3.1.2.1 Unidad de suelo

Las parcelas que constituyen el ensayo se ubican sobre la Unidad de suelo Zapallar (MAP. DSF, 1979). La unidad posee como suelos predominantes a los luvisoles melánicos álbicos Ar, posiciones topográficas de loma alta convexa y pendientes de 6%. El material generador corresponde a Areniscas de la Formación Yaguarí y su uso puede ser forestal, pastoril y campo natural (ver Anexos No. 1 y No. 2).

3.1.2.2 Grupo CONEAT

El ensayo está inserto sobre una superficie correspondiente al grupo CONEAT 8.5 (ver Anexo No. 1), el cual está integrado por dos asociaciones de suelo, de las cuales para este trabajo interesa la segunda, localizada ente los arroyos Zapallar y Sarandí, en el departamento de Cerro Largo. El material geológico está constituido por areniscas rojas de la formación Yaguarí, o areniscas redepositadas sobre ésta. El relieve es de colinas sedimentarias no rocosas y lomadas fuertes con pendientes de 5 – 10%. Por su parte, los

suelos dominantes son luvisoles melánicos álbicos (praderas arenosas), moderadamente profundos, de color pardo oscuro y textura franco arenosa, imperfectamente drenados y fertilidad muy baja. Asociados a éstos se encuentran luvisoles úmbricos álbicos (praderas arenosas), muy profundos, de color pardo oscuro y textura franco arenosa, imperfectamente drenados y fertilidad extremadamente baja. En cuanto a la vegetación, la misma consiste en praderas estivales. El índice de productividad es de 105 (ver Anexo No. 2).

3.1.3 Clima

A continuación, se presenta una breve caracterización de las variables climáticas más importantes, para el departamento de Cerro Largo (Cuadro No. 1). Los datos fueron obtenidos a través de la página web del Instituto Nacional de Meteorología (INUMET), el cual presenta las estadísticas climáticas del período 1961 – 1990 para 12 estaciones meteorológicas en el país, de las cuales se tomaron los datos de la estación ubicada en Melo (coordenadas: -32.3669; -54.193).

Cuadro No. 1. Resumen de variables climáticas para el departamento de Cerro Largo

Variable	Anual	Enero	Julio
Temperatura media (°C)	17	23,2	11,5
Temp. máxima media (°C)	23,4	30,5	17,1
Temp. mínima media (°C)	11,8	17	7
Precipitación acumulada (mm)	1238	105	129
Humedad relativa (%)	74	64	83

Fuente: adaptado de INUMET (2021).

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

El diseño experimental utilizado en este ensayo consiste en un diseño completamente al azar (DCA). Este tipo de diseño es útil cuando las parcelas o unidades experimentales son homogéneas o la variación entre ellas es tan pequeña que agruparlas en bloques no aumentaría significativamente la precisión de la prueba. Por otra parte, se considera que los efectos ambientales no son fuentes de variación dentro del ensayo. Por lo tanto, este tipo de diseño se aplica en zonas homogéneas donde el suelo no se considera fuente de variación (Ipinza et al. 1998, Camani 2017). Los tratamientos en este ensayo corresponden a las procedencias de las diferentes especies (9 procedencias para *Eucalyptus grandis*, 5 para *Eucalyptus dunnii* y 3 para *Eucalyptus smithii*), instaladas en las unidades experimentales (parcelas compuestas por 49 árboles dispuestos en un arreglo de 7 x 7, con 4 m de entrefila y 2,5 m en la fila) y distribuidas aleatoriamente en la superficie total ocupada, con cuatro repeticiones por tratamiento, lo que completa un total de 68 parcelas (Figura No. 22).

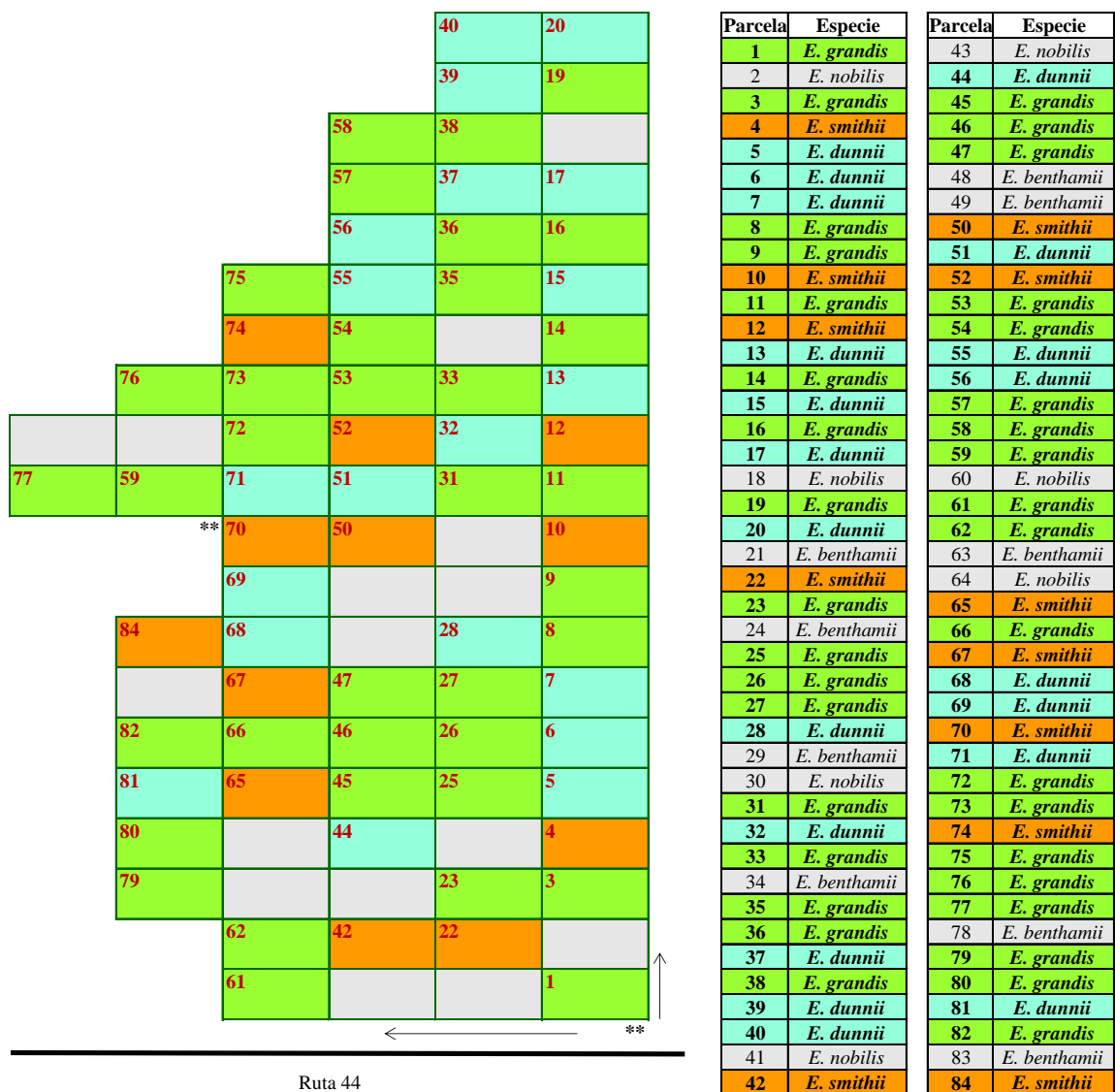


Figura No. 22. Esquema del ensayo con las parcelas identificadas y su correspondiente especie

Este diseño presenta como principales ventajas, por un lado, el hecho de ser fácil de instalar, y por otro, simplicidad en el análisis estadístico. Además, posee flexibilidad, lo que permite cualquier combinación de tratamientos y repeticiones. Por el contrario, como desventaja se menciona que requiere de sitios altamente uniformes y se pueden evaluar pocos tratamientos sin aumentar el error experimental (Ipinza et al. 1998, Camani 2017).

Es importante mencionar que este trabajo se desarrolla sobre un ensayo previo, el cual tenía por objetivo la evaluación de diferentes procedencias de 5 especies del género

Eucalyptus (además de las estudiadas en esta tesis, se incluían *Eucalyptus benthamii* y *Eucalyptus nobilis*), por lo cual se cuenta con datos de mediciones previas (como se verá en la siguiente sección), las cuales ayudaron en la ubicación e identificación de las parcelas y de los árboles que las conforman.

3.3 MATERIALES

3.3.1 Instrumentos utilizados

Para medir el diámetro de los árboles a 1,30 m de altura se empleó una cinta diamétrica debido a la practicidad que presenta el instrumento al momento de desplazarse por las parcelas y, a su vez, realizar las mediciones propiamente dichas, ya que arroja el valor del diámetro en centímetros con una apreciación de 1 milímetro. Lo anterior permite una disminución en el tiempo necesario para efectuar cada medición al mismo tiempo que disminuye el riesgo de cometer errores operativos a raíz de la fatiga experimentada por el operario.

En una segunda etapa de campo, se hizo uso de una serie de instrumentos para realizar diferentes actividades; en primer lugar, para la medición de alturas se empleó el hipsómetro digital Vertex. Posteriormente a la medición de alturas de los árboles en pie, se utilizó motosierra para el apeo y trozado del 1.4% de la totalidad de los árboles. Una vez apeados, se hizo uso de cinta métrica para la medición de altura total y comercial (hasta 8 cm de diámetro en punta fina con corteza). Por último, para medir diámetros de troza con y sin corteza se empleó nuevamente la cinta diamétrica. El descortezado de trozas fue manual, mediante el uso de hachas.

3.3.2 Planilla de campo

Como se puede apreciar en la Figura No. 23, la planilla construida para la primera instancia práctica incluía información sobre la parcela (número de ésta), el tratamiento, la especie, ubicación de los árboles dentro de la parcela (F: fila, C=columna) y altura a los 51 meses de la plantación (dato que otorgaba información acerca de si el árbol estaba presente en esa primera medición realizada para el ensayo original).

Esta figura es simplemente una muestra para ilustrar la importancia de esta herramienta utilizada a campo; en ella se muestran los datos de los primeros 10 individuos de la parcela. Además, cabe mencionar que cada parcela tenía su propia planilla, de modo de facilitar el registro de los datos.

Parcela	Trat.	Rep.	Especie	Procedencia	F	C	DAP 51	Altura 51	DAP 172	Observaciones
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	1	10,1	980	30,6	
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	2				
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	3	15,2	1230	41,8	
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	4	13,9	1320	30,1	
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	5	13,6	1210		No está
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	6	14,0	1200	41,4	
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	1	7				
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	2	7	11,6	1090		No está
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	2	6	9,9	990		No está
1	6	1	<i>E. grandis</i>	36-4	2	5				

Trat.: tratamiento. Rep.=repetición. F=fila. C=columna. DAP 51=diámetro a la altura del pecho a los 51 meses en centímetros. Altura 51=altura a los 51 meses en centímetros. DAP 172= diámetro a la altura del pecho a los 172 meses en centímetros.

Figura No. 23. Muestra de la planilla utilizada a campo para el relevamiento de los diámetros a la altura del pecho de la totalidad de los árboles en la primera etapa de campo

Para la segunda etapa de campo se empleó la siguiente planilla para registrar los datos recabados a partir del apeo de los árboles seleccionados (Figura No. 24). Como en el caso anterior, esta también es una muestra de la planilla original, la cual comprende una mayor cantidad de espacios.

Parcela:	Fila:			Columna:			H total:		H comercial:		Comentarios
Trozas de 1 m	troza 1	troza 2	troza 3	troza 4	troza 5	troza 6	troza 7	troza 8	troza 9	H total en pie:	
Dcc (cm):											
Dsc (cm):											
	troza 10	troza 11	troza 12	troza 13	troza 14	troza 15	troza 16	troza 17	troza 18		
Dcc (cm):											
Dsc (cm):											

Dcc: diámetro con corteza. Dsc=diámetro sin corteza. H=altura.

Figura No. 24. Muestra de la planilla utilizada a campo para el relevamiento de los diámetros con y sin corteza de las trozas obtenidas en la segunda etapa de campo

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo se dividió en dos etapas; en una primera instancia se procedió por identificar los árboles en el espacio y medir el diámetro a la altura del pecho de la totalidad de los individuos en pie, mientras que en una segunda visita al ensayo se llevó a cabo la medición de alturas y la cubicación de individuos seleccionados.

3.4.1.1 Etapa 1: identificación de árboles en terreno y medición de diámetro

Si bien se consideró oportuno presentar una descripción de las características de las especies de eucalipto analizadas en la revisión bibliográfica, no todas ellas fueron utilizadas para la identificación de los individuos pertenecientes a cada parcela en la etapa de campo, dado que las principales estructuras empleadas en dicha actividad suelen ser las reproductivas, tanto los botones florales previo a antesis como los frutos, así como también las inherentes al follaje u hojas, y éstas se encontraban no disponibles, a una altura fuera del alcance humano. Es por esta razón que el grupo se basó en las características de la corteza y del ritidoma de los árboles para la identificación de las diferentes parcelas y la orientación dentro del ensayo.

En una primera etapa de campo se procedió a identificar las parcelas y medir la totalidad de los diámetros a 1,30 m de altura de los árboles de cada parcela (Figura No. 25). Para ello, un paso anterior consistió en la localización e identificación de las parcelas a través de los árboles que las componen, haciendo uso del esquema del ensayo proporcionado por la empresa (Figura No. 22).

Los datos fueron recabados en un patrón de zig-zag, comenzando por la posición F1;C1 (fila 1, columna 1).



a: Identificación de parcelas. b=medición del diámetro a la altura del pecho mediante cinta diamétrica.

Figura No. 25. Primera etapa de campo

3.4.1.2 Etapa 2: medición de alturas y cubicación de árboles seleccionados

En esta segunda etapa, el primer paso consistió en la identificación de los árboles previamente seleccionados en gabinete en base a las clases diamétricas construidas con los datos recabados en la primera etapa. El segundo paso fue medir las alturas en pie de los árboles a ser apeados mediante el hipsómetro digital Vertex. A su vez, se seleccionaron los 10 árboles más vigorosos de cada parcela para medir su altura en pie utilizando el mismo instrumento. Posteriormente, los árboles seleccionados (1,4% del total de árboles de las especies estudiadas = 28 individuos) fueron apeados con motosierra y trozados cada 1 metro, hasta un límite establecido correspondiente a 8 cm de diámetro en punta fina con corteza (Figuras No. 26 y No. 27). Además, previo al trozado, se midió la altura total y comercial con cinta métrica. Luego, se procedió por medir los diámetros de las trozas con corteza, descortezar dichas trozas y medir nuevamente los diámetros con cinta diamétrica (Figura No. 28).

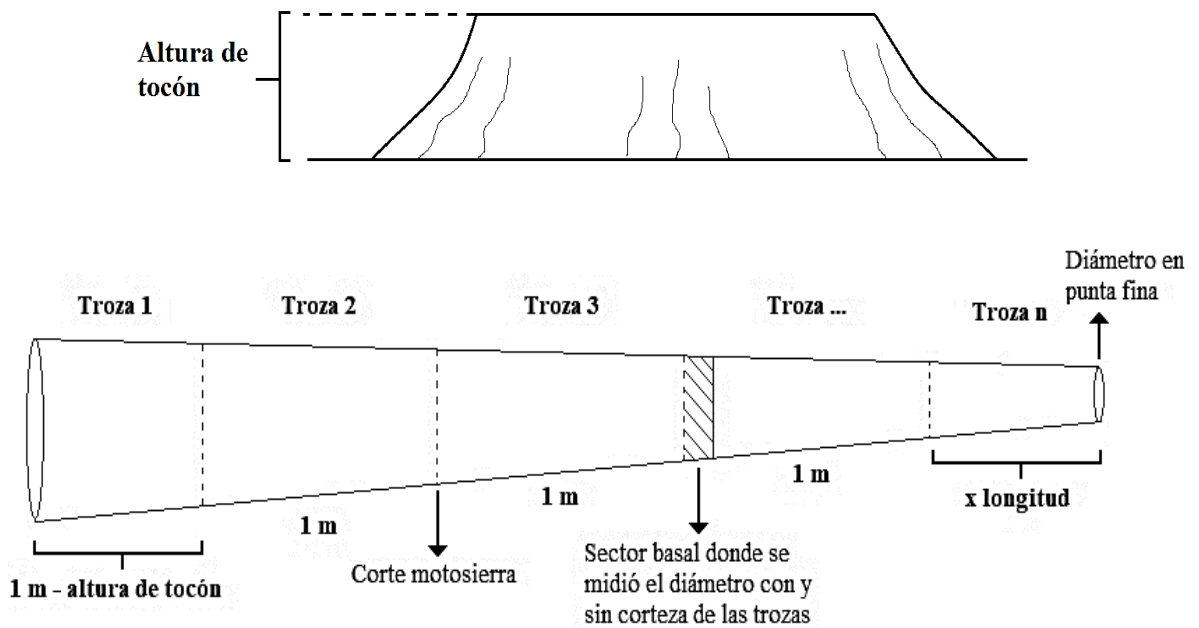
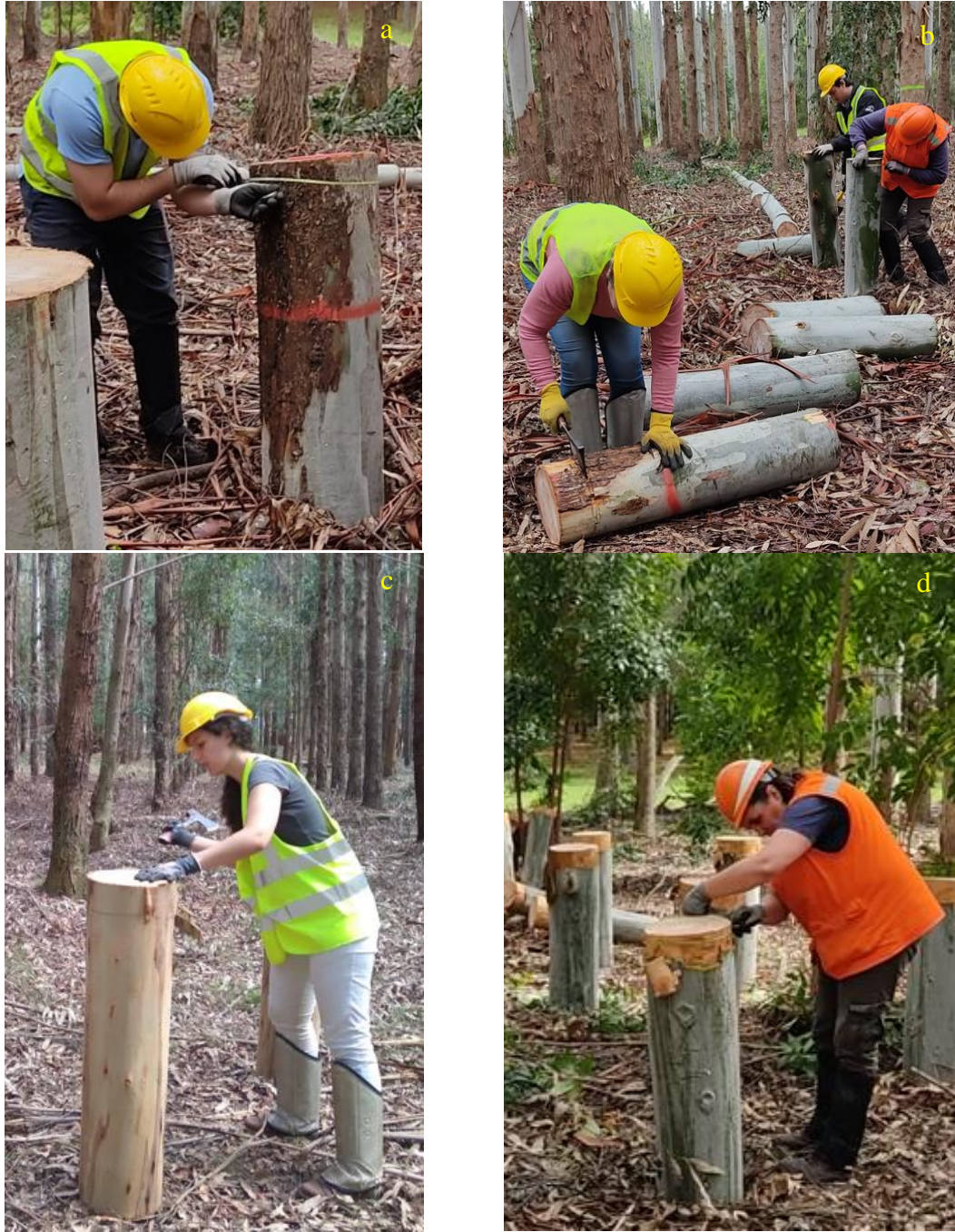


Figura No. 26. Diagrama de árbol apeado, sitios de corte y sectores de mensura



a: medición de altura total y comercial del árbol apeado con cinta métrica. b=trozado del árbol en secciones de 1 m de longitud (la primera troza es más corta porque contempla la altura del tocón).

Figura No. 27. Segunda etapa de campo



a: medición del diámetro de trozas con corteza. b y c=descortezado de extremo inferior de las trozas. d=medición del diámetro de trozas sin corteza.

Figura No. 28. Proceso de cubicación de árboles apeados

3.4.2 Análisis preliminar

Luego de la primera etapa de campo, se analizaron los datos recabados y en base a esto se seleccionaron los árboles a ser apeados para su cubicación y cálculo de factor de forma.

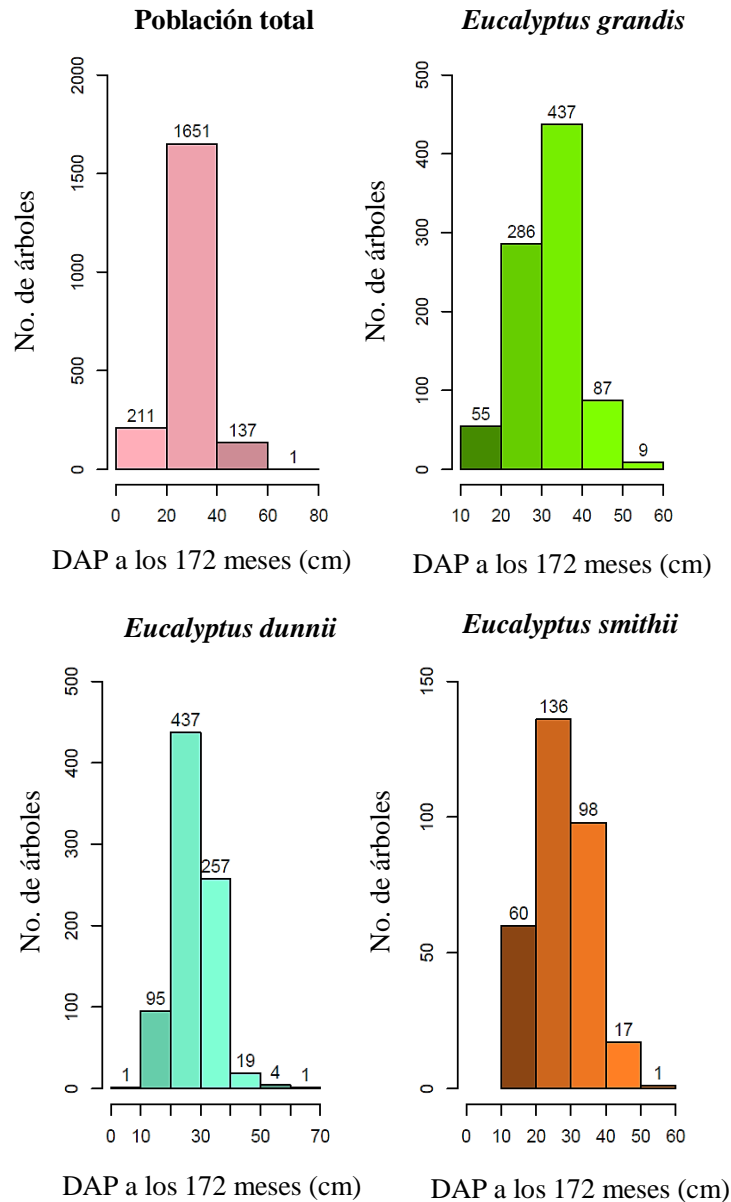


Figura No. 29. Histogramas de frecuencia para la población total y las especies en particular

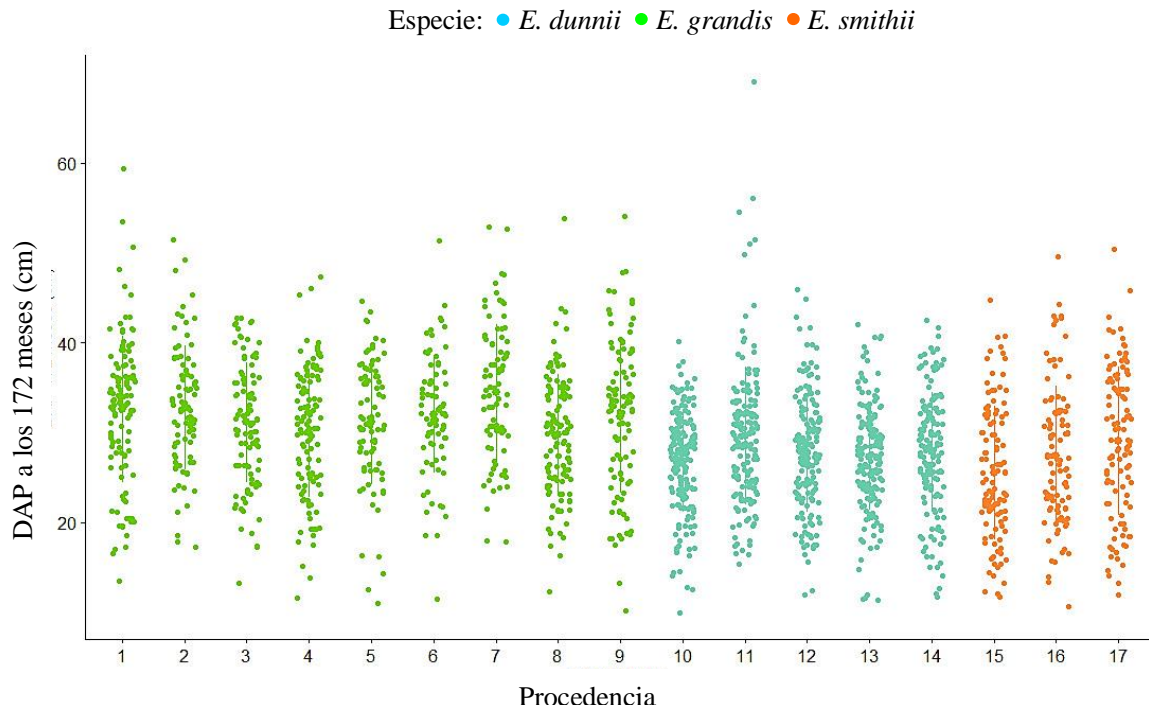


Figura No. 30. Observaciones de DAP a los 172 meses de plantación para la totalidad de los individuos según especie y procedencia

La distribución de los árboles apeados según especie y clase diamétrica fue la siguiente (se indica el número de individuos apeado para cada especie y clase diamétrica).

Cuadro No. 2. Cantidad de árboles apeados por clase diamétrica y especie

Especie	Clase diamétrica (cm)				Total
	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	
<i>E. grandis</i>	2	3	5	1	11
<i>E. dunnii</i>	2	5	3	0	10
<i>E. smithii</i>	2	3	2	0	7

3.4.3 Trabajo de gabinete

3.4.3.1 Factores de forma

Previo al desarrollo de la metodología empleada en el cálculo de los factores de forma, es necesario aclarar una serie de conceptos que se mencionarán constantemente. El volumen real de un árbol es el volumen obtenido mediante la cubicación de éste, a través de su apeo y aplicación de fórmulas tales como Smalian, Huber, Newton, entre otras. Por

otra parte, el volumen aparente es volumen estimado asumiendo que el árbol posee una forma cilíndrica cuya base está representada por el área del círculo que se encuentra a la altura de 1,3 m desde el suelo y su altura es la altura comercial o total del árbol. La altura total, como ya fue desarrollado en la revisión bibliográfica, corresponde a la altura medida desde el suelo hasta el ápice del árbol (es decir, hasta donde alcanzan las hojas de la punta de la copa). Por su parte, la altura comercial es la altura que va hasta un límite fijado según determinado criterio de comercialización, por ejemplo, hasta 8 cm de diámetro en punta fina. Finalmente, según Vallejos y Morás (2013), el factor de forma es un cociente entre volúmenes, donde el numerador consiste en el volumen real del árbol y el denominador en el volumen aparente (volumen de un sólido geométrico de igual diámetro y altura que el árbol en estudio).

Se comenzó por calcular el volumen real comercial, con corteza. Partiendo de los datos recabados a campo de diámetro con corteza de las diferentes trozas hasta la altura comercial (se asume que corresponde a 8 cm de diámetro en punta fina), se realizó el cálculo de volumen real comercial con corteza empleando la fórmula de Smalian.

$$V_s = \frac{\pi}{8} * (D_0^2 + D_n^2 + 2 * \sum D_i^2) * L$$

Donde,

- D₀= diámetro en la base del fuste (diámetro en la base de la primera troza).
- D_n= diámetro en el tope del fuste (diámetro en la base de la última troza).
- D_i= diámetros sucesivos de cada troza a lo largo del fuste.
- L= longitud de troza.

En el caso del diámetro en el tope del fuste (D_n), dado que las últimas trozas de algunos árboles midieron menos de 1 metro de longitud, lo cual dificultaba el cálculo de volumen ya que se sobreestimaba el mismo, se optó por tomar los diámetros registrados para las últimas trozas de 1 m de longitud de los árboles de cada especie y realizar un promedio para luego utilizarlo como único dato de diámetro en punta fina, para cada especie.

Luego se pasó a calcular el volumen real comercial, sin corteza. Para el cálculo de este volumen se realizó el mismo procedimiento que para el cálculo de volumen real comercial con corteza, pero utilizando los datos de diámetro sin corteza de las trozas. El criterio de utilización de D_n también es el mismo que en el caso anterior.

Continuando con el cálculo de volumen real total, con corteza, para obtener este dato, es necesario calcular el volumen del trozo que quedó sin cubicar (la punta del árbol) cuando se realizó el cálculo de volumen real comercial con corteza y adicionarlo a dicho valor. Primero se requiere el valor del diámetro de ese trozo, por lo que se procedió por tomar el diámetro de la última troza que fue incluida en el cálculo del volumen real

comercial y hallar el promedio de dicho valor y 2,5 cm (se asumió que el diámetro en punta fina era de 2.5 cm con corteza); por ejemplo, en el caso del árbol apeado perteneciente a la parcela no. 1, sería: $(10.3 - 2.5) / 2 = 6.4$ cm. Este valor es convertido desde centímetros a metros dividiendo entre cien y se utiliza para calcular el área del círculo que tiene dicho diámetro, $AB = (\pi/4) * (DAP^2)$. Una vez calculada el área basal, se la multiplica por la longitud que quedó sin cubicar, que en el caso de este árbol es igual a 6.2 m (este dato proviene de restarle a la altura total medida con cinta, es decir, del árbol apeado, la longitud del árbol que ya fue cubicada, por lo que el cálculo en este caso es $33.2 - 27 = 6.2$ m). De esta forma, se obtuvo el volumen en m^3 del trozo restante y, sumándolo al volumen real comercial con corteza, se obtiene el volumen real total con corteza.

Por último, se calculó el volumen real total, sin corteza. Ya que previamente se contaba con el dato de volumen real comercial sin corteza, lo que resta calcular para obtener el volumen real total sin corteza es el volumen sin corteza de ese trozo apical de árbol que había quedado sin calcular. Teniendo en cuenta que dicho volumen fue calculado, pero con corteza y contando con el dato de porcentaje de corteza, se procedió por quitar el volumen de corteza de ese tramo haciendo uso de este dato. Una vez obtenido el volumen sin corteza de este tramo, se lo suma al dato de volumen real comercial sin corteza para obtener finalmente el volumen real total sin corteza.

Finalmente, para obtener los distintos factores de forma, se dividieron los volúmenes reales previamente calculados entre el volumen aparente total, dato que fue calculado utilizando el valor de diámetro a la altura del pecho para el cálculo de área basal ($AB = (\pi/4) * (DAP^2)$) y posterior multiplicación con el dato de altura total del árbol apeado.

$$V \text{ aparente total} = \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) * (DAP^2) \right] * H \text{ total}$$

$$FF = \frac{V \text{ real}}{V \text{ aparente total}}$$

Cuadro No. 3. Factores de forma obtenidos y utilidad de cada uno (elementos que descuentan)

Factor de forma	Descuenta
Total con corteza	Conicidad
Total sin corteza	Conicidad + corteza
Comercial con corteza	Conicidad + trozo apical no comercial
Comercial sin corteza	Conicidad + corteza + trozo apical no comercial

Como se muestra en el Cuadro No. 2, se establecieron clases diamétricas en cada especie, obteniéndose así los factores de forma correspondientes a cada una. De esta manera, los factores de forma total con corteza y comercial sin corteza, fueron empleados para el cálculo de volumen total con corteza y comercial sin corteza, respectivamente, multiplicándolos por el volumen aparente total de los árboles.

$$V = \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) * (DAP^2) \right] * Htotal * FF$$

3.4.3.2 Procesamiento de los datos de altura

Se procedió por comparar los datos de altura medidos con el instrumento Vertex sobre los árboles en pie y la cinta métrica sobre los árboles ya apeados, a través del cálculo de la diferencia entre dichos valores, para finalmente obtener el porcentaje de error en la medición para cada árbol mensurado.

$$Error (\%) = \left(\frac{y - \hat{y}}{y} \right) * 100$$

Donde:

- y = altura medida con cinta (árbol apeado).
- \hat{y} = altura medida con Vertex (árbol en pie).

3.4.3.3 Procesamiento de los datos de corteza

En primera instancia, se calculó el volumen de corteza y el porcentaje de corteza de los 28 árboles apeados. El dato de volumen de corteza resulta de la diferencia entre el volumen real con corteza y el volumen real sin corteza. A su vez, el porcentaje de corteza resulta de calcular qué proporción del volumen real corresponde a corteza, de la siguiente forma.

$$\% C = \left(\frac{Volumen\ de\ corteza}{Volumen\ real\ con\ corteza} \right) * 100$$

En un siguiente paso, se determinó el porcentaje de corteza por sectores dentro del árbol. Para determinar si el porcentaje de corteza se mantenía constante a lo largo del árbol, se prosiguió por dividir el mismo en secciones de igual longitud, utilizando la altura comercial y dividiéndola entre tres. Si al realizar esta operación se obtenía un número decimal, las secciones basales contarían con una troza más que la sección superior, para que cada una tuviera un número entero de trozas de un metro, por ejemplo, si la altura comercial fuera de 31 metros, al dividir entre tres se obtiene un valor de 10.3 m. En este caso, la sección basal comprendería 11 trozas (11 m) y las dos siguientes secciones 10 m

cada una. El porcentaje de corteza en cada sección se determinó mediante un promedio de los porcentajes de corteza de las trozas incluidas dentro de la misma. El porcentaje de corteza para cada troza se calculó de la siguiente manera.

$$\% C \text{ troza} = \left(\frac{\text{Diámetro con corteza} - \text{Diámetro sin corteza}}{\text{Diámetro con corteza}} \right) * 100$$

3.4.3.4 Volúmenes

En primer lugar, se realizó el cálculo de los volúmenes individuales, expresados en m³/árbol. Como se mencionó en la sección “3.4.2.1 Factores de forma”, se optó por utilizar dos de los cuatro factores de forma calculados (FF total con corteza y FF comercial sin corteza), con el objetivo de obtener el dato de volumen total con corteza y volumen comercial sin corteza de cada individuo (mediante la multiplicación de los factores de forma y el volumen aparente total) y así poder comparar la estimación del volumen total de madera en pie en el monte, contra el volumen del producto madera (descontando corteza y el extremo apical sin destino comercial).

Dado que no se midió la altura de la totalidad de los individuos en pie, se procedió por calcular una altura promedio correspondiente a cada clase diamétrica para cada especie. Este dato fue posteriormente utilizado para calcular el volumen aparente con corteza de los individuos a los cuales no se les había medido altura (ya que sí se contaba con el dato de diámetro a la altura del pecho de todos árboles).

Posteriormente, fue necesario expresar los datos de volumen en m³/ha, motivo por el cual se emplearon las parcelas establecidas en el ensayo, como parcelas de inventario.

Las parcelas son de forma rectangular y miden 28 m de largo por 17.5 m de ancho, ya que cada una contiene 49 árboles (7 x 7) y el marco de plantación es de 4 x 2.5 m, por lo que se asume que cada parcela va desde el centro de la entrefila contigua (agregando 2 m de cada lado) y el centro del espacio entre plantas con la parcela de adelante y atrás (agregando 1.25 m en cada lado).

2 m		4 m		4 m		4 m		4 m		4 m		4 m		2 m	2 m
1,25 m														=	
	x		x		x		x		x		x		x		x
2,5 m															
	x		x		x		x		x		x		x		x
2,5 m															
	x		x		x		x		x		x		x		x
2,5 m															
	x		x		x		x		x		x		x		x
2,5 m															
	x		x		x		x		x		x		x		x
2,5 m															
	x		x		x		x		x		x		x		x
1,25 m															
1,25 m	=	2,5 m													
	x		x		x		x		x		x		x		x

X: posición de los árboles.

Figura No. 31. Esquema de parcelas mostrando la posición de los árboles y el marco de plantación

Una vez calculado el volumen de cada individuo, se procedió a sumarlos dentro de cada parcela, obteniendo el volumen total de madera de los individuos en pie de cada una. Con este dato, se obtiene el volumen en metros cúbicos por hectárea, a través de la utilización del factor de expansión.

$$FE = \frac{10.000 \text{ m}^2}{\text{superficie parcela m}^2}$$

En este caso, la superficie de la parcela era de 490 m², por lo que el factor de expansión presentó un valor de 20,41.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de las diferentes hipótesis planteadas fue realizado mediante el software estadístico R, en su interfase RStudio.

En todos los casos, se procedió por ajustar un modelo adecuado al análisis planteado, efectuar un análisis de varianza y verificar los supuestos del modelo (distribución de los residuales estandarizados, normalidad en la distribución de los residuos y homocedasticidad de varianzas entre residuos).

Con el objetivo de responder las preguntas planteadas en el abordaje de los objetivos 1, 2 y 3, en cada caso se utilizó un modelo lineal a través de la función `lm` del paquete `stats`, para posteriormente efectuar un análisis de varianza mediante la función `anova` perteneciente mismo paquete.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Por su parte, en el caso del cuarto objetivo, dada la naturaleza de la base de datos con la cual se trabajó, se utilizó un modelo mixto, el cual incorpora el dato de número de árboles ausentes como covariable para llevar a una misma densidad a todas las parcelas, eliminando esta fuente de error. En este caso se utilizó la función `lme`, la cual pertenece al paquete `nlme`. Por otro lado, el resto del análisis fue común al de los puntos anteriores.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \gamma_{j(i)} + X_l + \varepsilon_{ijk}$$

A lo largo de todo el análisis se trabajó con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$).

En todos los análisis realizados, los residuales del modelo ajustado fueron evaluados mediante el análisis gráfico de residuales versus predichos, qq-plot, histograma de residuales y por los test de normalidad y homogeneidad de varianzas.

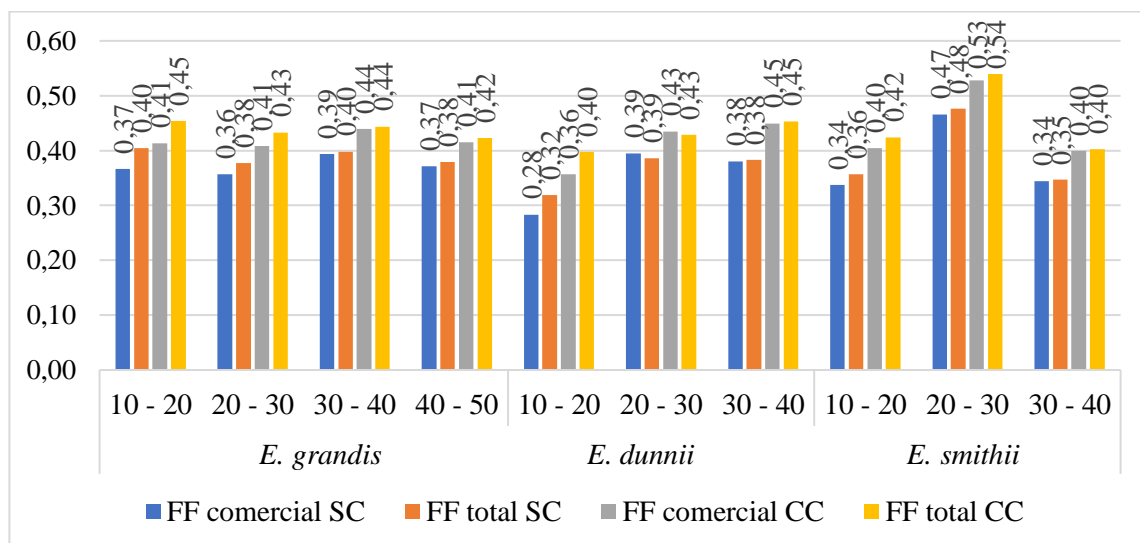
En los casos en los cuales el análisis de varianza demostraba que las diferencias entre los elementos evaluados eran significativas, se procedió por realizar una prueba de comparación múltiple de medias mediante test de Tukey.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 FACTORES DE FORMA AJUSTADOS

A continuación, se presentan los factores de forma obtenidos para cada clase diamétrica dentro de las especies analizadas.

En la Figura No. 32 se puede observar que el factor de forma más bajo, es decir, el que descuenta un mayor volumen, corresponde al comercial sin corteza, ya que, como se presenta en el Cuadro No. 3, el mismo descuenta la conicidad, la corteza y el desperdicio apical. Por otro lado, el de mayor valor corresponde al total con corteza, ya que éste únicamente descuenta la conicidad del árbol. Con valores intermedios se presentan el factor total sin corteza y el comercial con corteza.



FF: factor de forma. SC=sin corteza. CC=con corteza.

Figura No. 32. Factores de forma calculados para las distintas clases diamétricas dentro de cada especie

En el análisis estadístico de este punto, se plantearon las siguientes interrogantes: ¿existen diferencias en el factor de forma total con corteza obtenido para las distintas especies estudiadas? ¿Existen diferencias en el factor de forma comercial sin corteza obtenido para las distintas especies estudiadas?

Como se puede observar en el Cuadro No. 4, el p-valor es mayor al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), es decir, las diferencias observadas en esta variable entre las distintas especies no son significativas. Lo mismo sucede en el caso de la variable factor de forma comercial sin corteza (Cuadro No. 5).

Cuadro No. 4. Análisis de varianza para la variable de respuesta factor de forma total con corteza

F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	0,0012841	0,00064203	0,3471	0,7182
Repetición	7	0,0129476	0,00184966		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

Cuadro No. 5. Análisis de varianza para la variable de respuesta factor de forma comercial sin corteza

F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	0,0014187	0,00070936	0,2679	0,7725
Repetición	7	0,0185343	0,00264776		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

Se puede observar en la Figura No. 33, que los valores predichos se encuentran incluidos dentro del rango de valores observados para la variable analizada y que, además, la mayoría se encuentran en torno al cero. En cuanto al histograma, el mismo muestra que los residuales presentan una distribución normal centrada en cero.

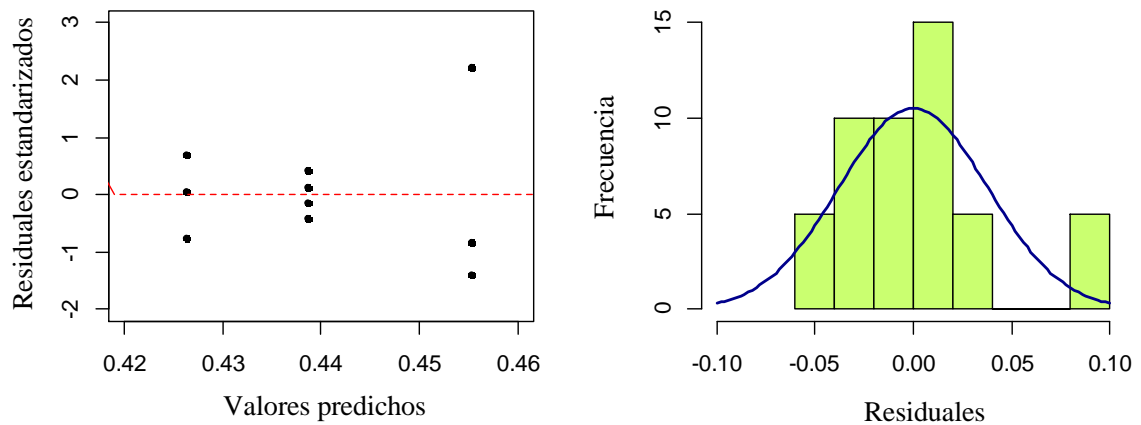


Figura No. 33. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable factor de forma total con corteza

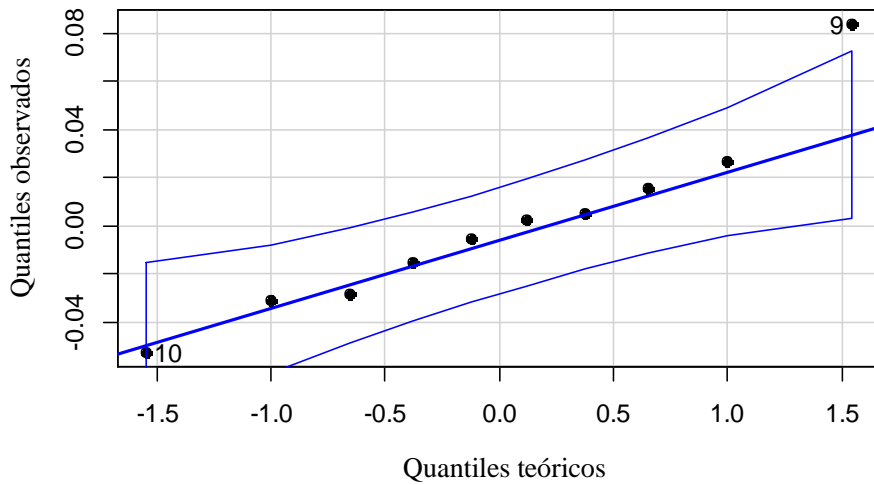


Figura No. 34. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable factor de forma total con corteza

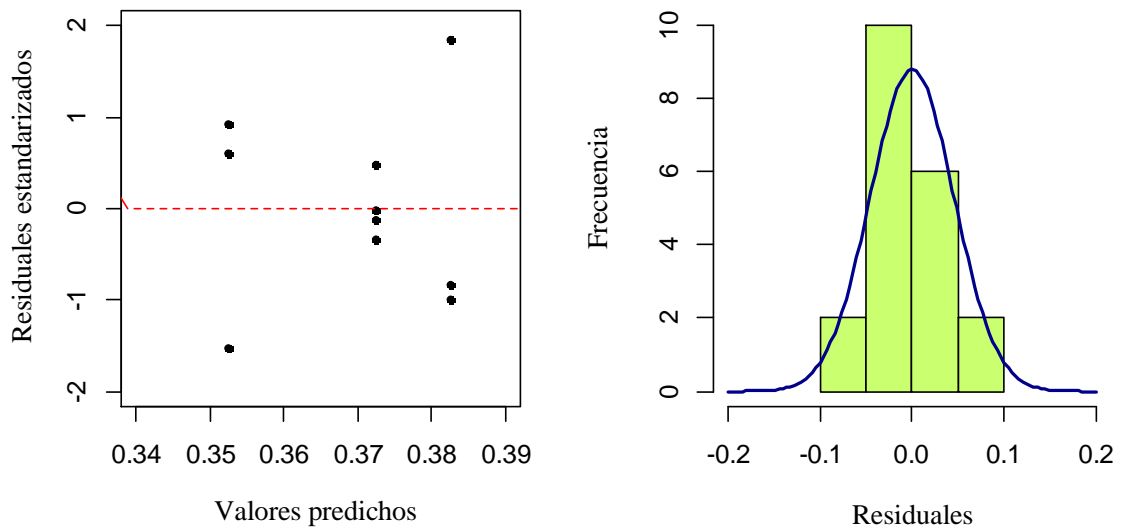


Figura No. 35. Gráfico de residuos estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuos para el análisis de la variable factor de forma comercial sin corteza

Una vez más, los valores predichos se encuentran incluidos dentro del rango de valores observados para la variable analizada y, además, la mayoría se centra en cero. En el histograma es posible observar una distribución normal de los residuos centrada en cero (Figura No. 35).

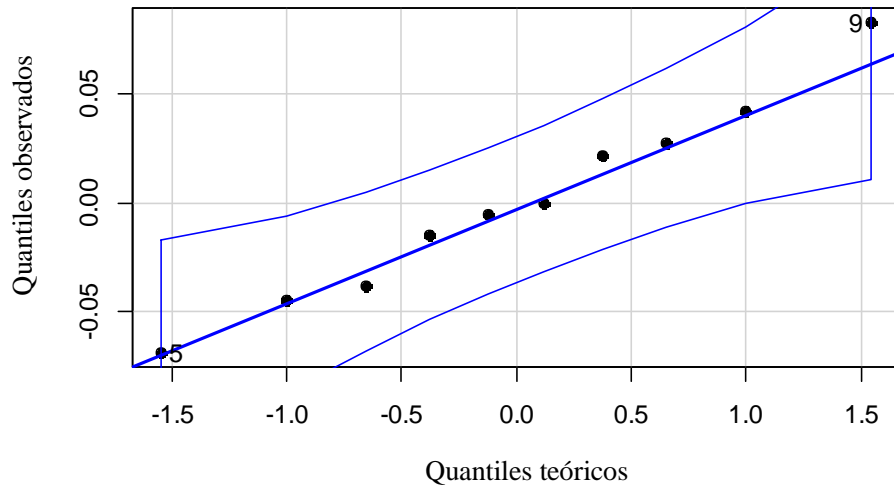


Figura No. 36. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable factor de forma comercial sin corteza

Por último, se presenta el Cuadro No. 6, el cual muestra las medias ajustadas de los factores de forma analizados para las diferentes especies.

Cuadro No. 6. Medias ajustadas por especie para las variables factor de forma total con corteza y comercial sin corteza

Especie	Media ajustada FF total CC	Media ajustada FF comercial SC
<i>E. dunnii</i>	0,426	0,353
<i>E. grandis</i>	0,439	0,373
<i>E. smithii</i>	0,455	0,383

*Nivel de confianza utilizado: 95%. FF= factor de forma. CC=con corteza. SC=sin corteza.

Según Cozzo, citado por Daniluk (1992), el factor de forma para *Eucalyptus grandis* en plantaciones de seis años y medio, corresponde a 0.49. Si se compara este dato con el factor de forma total con corteza promedio obtenido para *Eucalyptus grandis* (0.44), se podría concluir que ambos se asemejan, a pesar de encontrarse este último un poco por debajo; hay que tener en cuenta la diferencia de edades a las que fueron relevados dichos valores, 6.5 vs. 14 años.

Según datos presentados por Jacob (1981), el factor de forma para *Eucalyptus grandis* en plantaciones de 14 años de edad en India, es de 0.444 para árboles de 15 m de altura y 15 cm de diámetro, 0.449 en el caso de árboles de 20 m de altura y 20 cm de diámetro y 0.435 para 30 m de altura y 30 cm de diámetro. En la misma publicación se presentan valores de factores de forma total con y sin corteza para la misma especie en Uganda (Cuadro No. 7).

Cuadro No. 7. Factores de forma con y sin corteza para diferentes tamaños de árbol de la especie *Eucalyptus grandis* en Uganda

	Tamaño del árbol			
	a = 10 d = 10	a = 15 d = 15	a = 20 d = 20	a = 30 d = 30
Ff cc	0,418	0,406	0,400	0,392
Ff sc	0,367	0,350	0,346	0,339

Ff: factor de forma. cc=con corteza. sc=sin corteza. a=altura (m). d=diámetro (cm).

Fuente: elaborado en base a Jacob (1981).

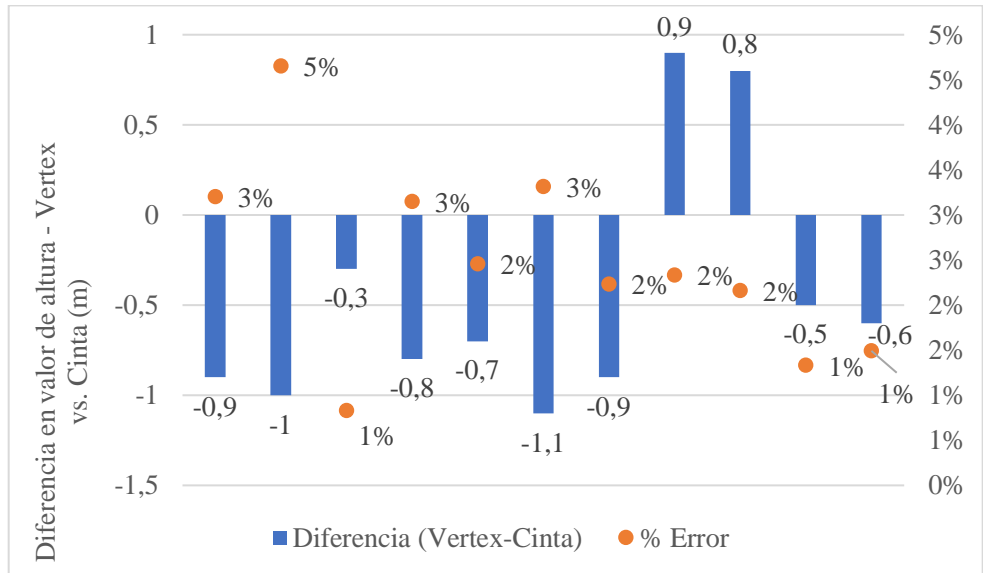
Finalmente, en un estudio realizado por Hernández et al. (2017) en *Eucalyptus urophylla* en Tabasco, México, se obtuvieron valores de factor de forma de 0.34 y 0.45 para diferentes poblaciones de árboles, siendo éstos significativamente diferentes entre sí. Estos valores son similares al rango de valores obtenidos para las distintas especies del mismo género, estudiadas en el presente trabajo.

Los valores de las medias ajustadas en este trabajo son muy similares a los hallados en los diversos estudios citados, principalmente en el caso de *Eucalyptus grandis* y los datos presentados por Jacob (1981).

4.2 COMPARACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MENSURA

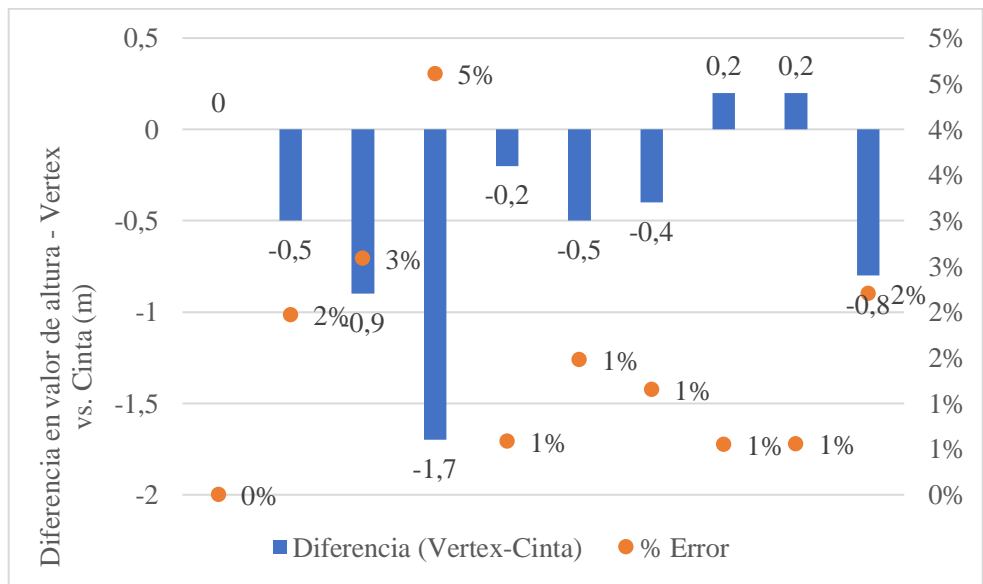
En esta sección, se presentan los resultados obtenidos respecto al segundo objetivo planteado, el cual apunta al cálculo del error en la medición de alturas mediante la comparación de los instrumentos utilizados para la mensura de los árboles en pie y apeados.

A continuación, se presenta una serie de gráficos (Figuras No. 37, No. 38 y No. 39) que representan la diferencia entre la medición efectuada con el instrumento Vertex sobre los árboles en pie y la realizada empleando cinta métrica sobre los mismos árboles apeados, para cada especie.



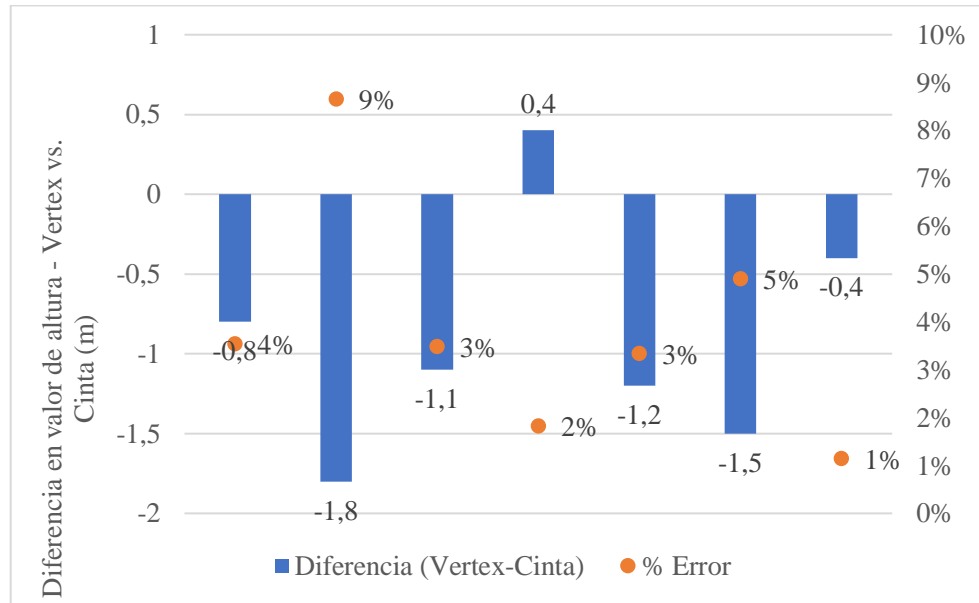
Diferencia (Vertex-Cinta): valor de altura en metros obtenido mediante utilización de instrumento Vertex, menos el valor de altura real en metros obtenido a través del empleo de cinta métrica.

Figura No. 37. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para *Eucalyptus grandis*



Diferencia (Vertex-Cinta): valor de altura en metros obtenido mediante utilización de instrumento Vertex, menos el valor de altura real en metros obtenido a través del empleo de cinta métrica.

Figura No. 38. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para *Eucalyptus dunnii*



Diferencia (Vertex-Cinta): valor de altura en metros obtenido mediante utilización de instrumento Vertex, menos el valor de altura real en metros obtenido a través del empleo de cinta métrica.

Figura No. 39. Diferencia en la estimación de altura para los instrumentos utilizados (Vertex - cinta) en metros y porcentaje de error para *Eucalyptus smithii*

En general, se observa que el instrumento Vertex tiende a subestimar la altura de los árboles y que el error es igual o menor al 5% (a excepción del individuo número dos de la especie *Eucalyptus smithii*, el cual presentó un error del 9%).

Los resultados obtenidos podrían explicarse mayoritariamente por la naturaleza del instrumento empleado y por la habilidad del operario en la realización de la tarea. Cabe destacar que son resultados muy precisos en comparación a los que se podrían obtener mediante la utilización de otro tipo de instrumento.

Continuando con los resultados del análisis estadístico, en este segundo objetivo los cuestionamientos planteados fueron los siguientes: ¿existen diferencias en la altura en metros medida según los instrumentos empleados? ¿Existen diferencias en la altura en metros (medida con cinta sobre los árboles apeados) para las distintas especies estudiadas?

Cuadro No. 8. Análisis de varianza para la variable de respuesta altura (m) según instrumentos de mensura

F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Instrumento	1	4,63	4,629	0,1284	0,7215
Repetición	54	1946,58	36,048		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

Tal como se observa en el Cuadro No. 8, no se encontraron diferencias significativas en la altura medida con los diferentes instrumentos empleados, por lo que se puede afirmar que la precisión del instrumento Vertex es muy buena y que el operario encargado de realizar dichas mediciones sobre los árboles en pie posee una excelente habilidad para esta tarea.

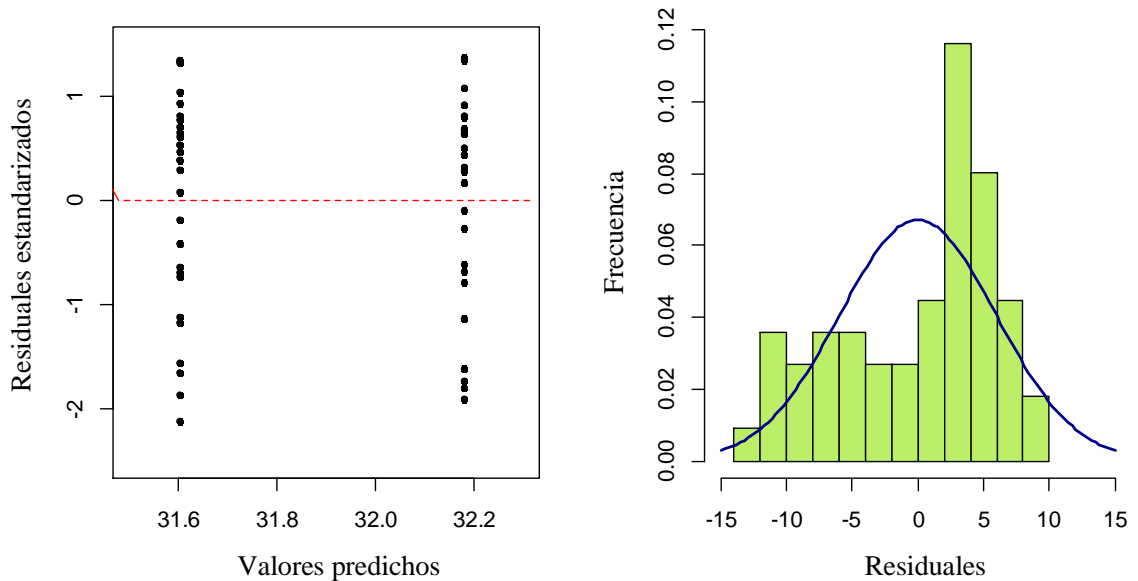


Figura No. 40. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable altura según instrumentos de mensura

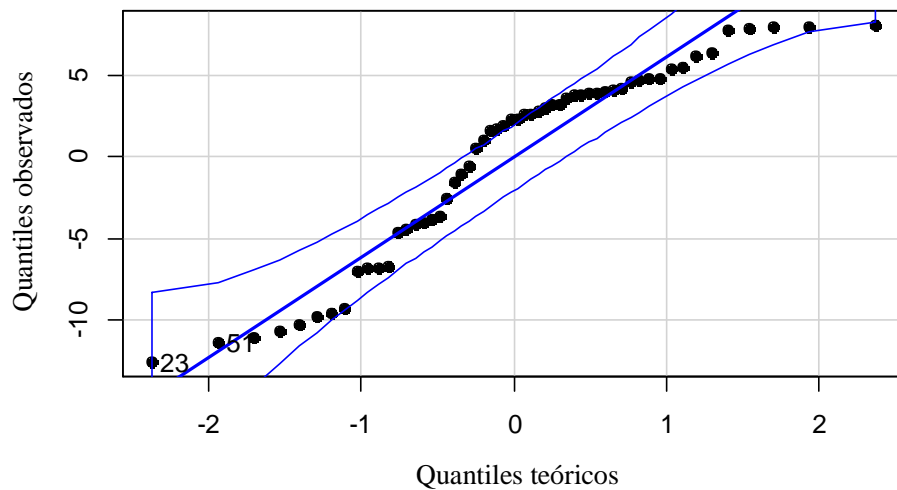


Figura No. 41. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable altura medida según los diferentes instrumentos

Cuadro No. 9. Análisis de varianza para la variable de respuesta altura (m) según la especie

F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	134,63	67,313	2,084	0,1455
Repetición	25	807,50	32,300		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

No se encontraron diferencias significativas en la altura medida con cinta sobre los árboles apeados entre las diferentes especies analizadas (Cuadro No. 9).

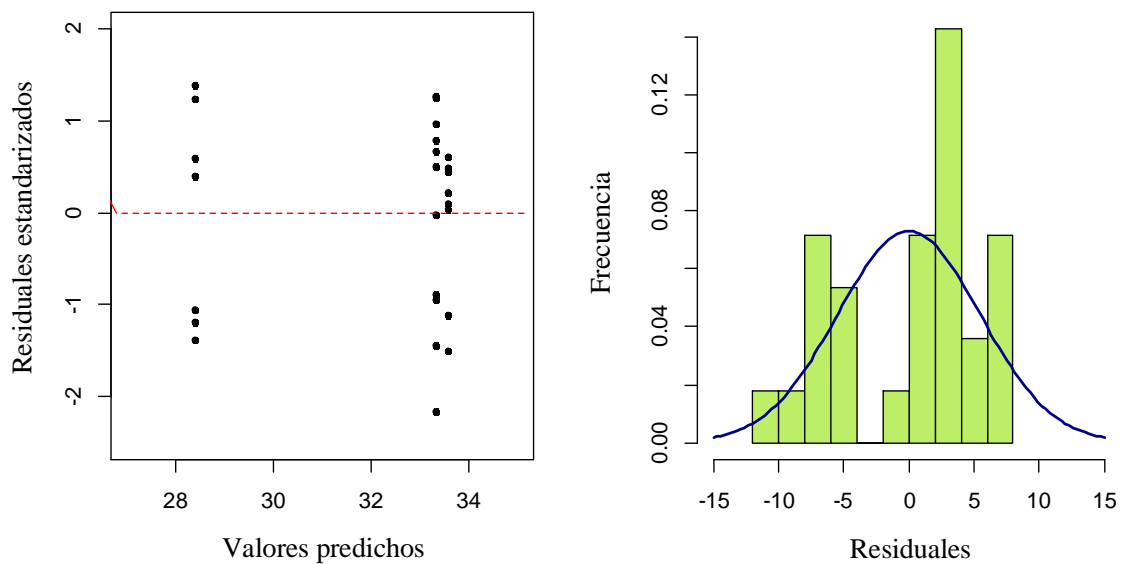


Figura No. 42. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable altura según especie

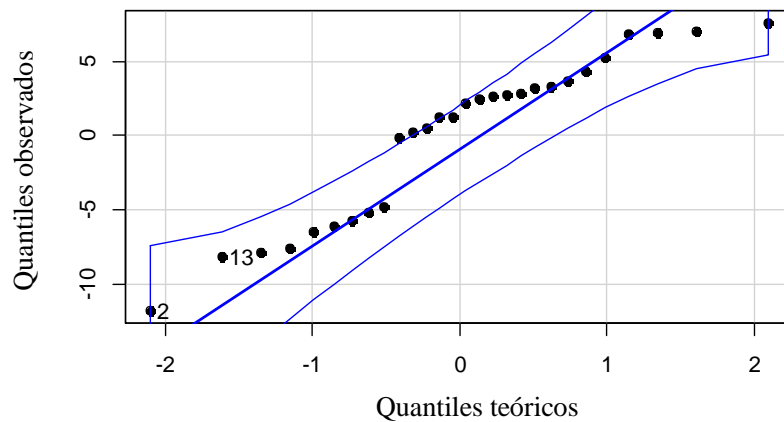


Figura No. 43. Qq-plot correspondiente al análisis de residuos de la variable altura según especie

Adicionalmente, se estudió la correlación entre la altura medida con Vertex y la medida con cinta, a nivel general y específicamente dentro de cada especie.

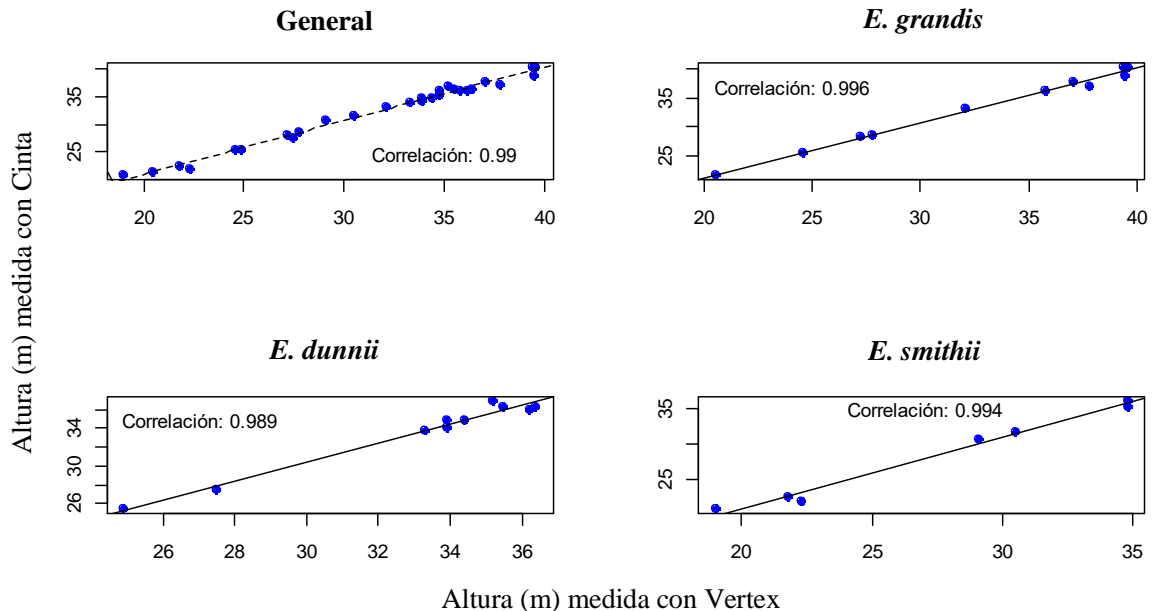


Figura No. 44. Correlación entre la altura en metros medida con Vertex versus la medida con cinta, a nivel general y por especie

Nuevamente se puede afirmar, dado el elevado valor de correlación entre las alturas medidas según los instrumentos empleados, que la precisión en la estimación de esta variable fue muy buena.

Fernandes et al. (2012), compararon métodos de medición de altura total de árboles en floras nativas de Brasil, contrastando las alturas totales medidas con el hipsómetro Vertex y las obtenidas mediante la escalada de los árboles. En este estudio, los autores llegaron a concluir que el aumento en la altura de los árboles compromete el desempeño en la estimación de la variable altura en términos de la precisión del método empleado. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en la altura medida mediante el hipsómetro Vertex versus la obtenida a través de la escalada de los árboles, al igual que ocurrió en este trabajo.

En un trabajo más reciente, Feliciano et al. (2016), buscaron evaluar la precisión de diferentes hipsómetros (Blume Leiss, Suunto, Relascopio de Bitterlich, Vertex, Haga y TruPulse) para la medición de alturas. Los resultados del estudio mostraron que los hipsómetros Vertex, Haga y Blume Leiss presentaron los mejores resultados y que éstos se asemejan mucho a la altura real, por lo que los autores los recomiendan como los mejores instrumentos para medir altura. Además, destacan que también presentan mayor

precisión en relación al resto de los instrumentos estudiados y que, dado que su manejo es más rápido, se logra una disminución en los costos de inventario.

Por otra parte, un estudio enfocado en la eficiencia operativa de los instrumentos de medición de altura, mostró que hubo diferencias significativas en los tiempos requeridos para la medición de la variable altura entre Vertex, Blume Leiss, Relascopio de Bitterlich. De esta forma, el menor tiempo requerido lo presentó Vertex, dado que integra dos pasos en uno, determina la distancia al árbol y lee la altura casi simultáneamente. Además, este instrumento resultó ser el más preciso y exacto, en comparación a los demás instrumentos evaluados (Božić et al., 2005).

4.3 PROPORCIÓN DE CORTEZA SEGÚN ESPECIE

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos respecto al tercer objetivo planteado, el cual apunta a la comparación de diferencias en la proporción de corteza para las distintas especies bajo estudio.

En primera instancia, se hace una comparación del contenido de corteza total para los árboles apeados, discriminando según las especies.

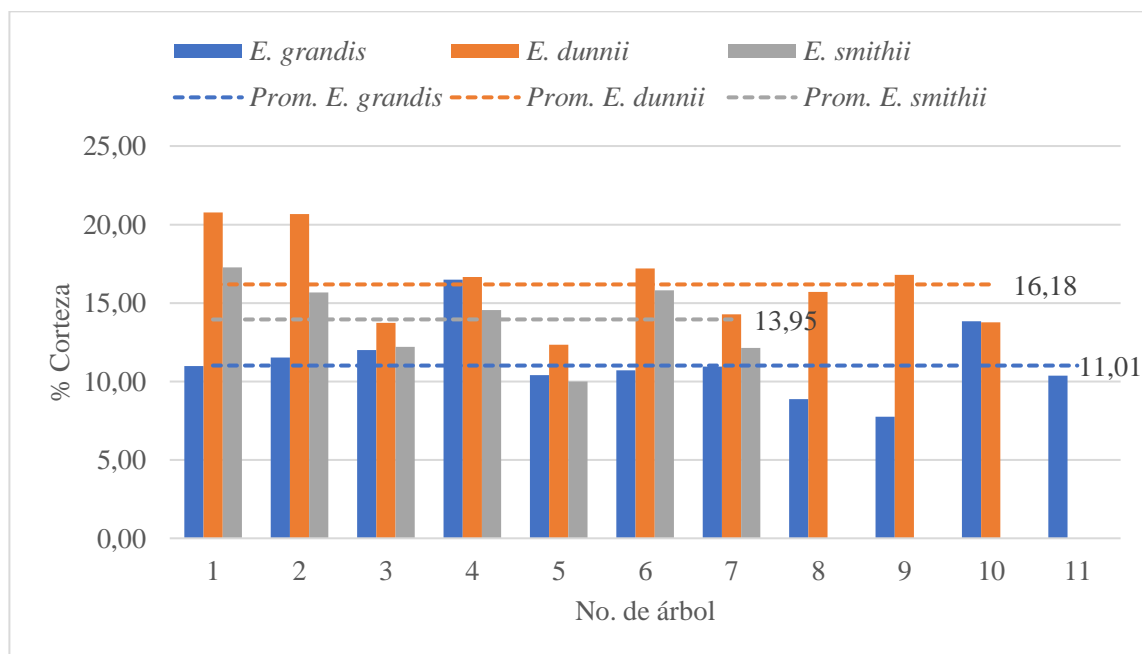


Figura No. 45. Porcentaje de corteza total de los árboles apeados para cada especie

En la Figura No. 45, se muestra el porcentaje de corteza total de cada árbol apeado, según la especie y el porcentaje de corteza promedio calculado para cada especie.

Eucalyptus dunnii fue la especie cuyo porcentaje de corteza siempre se mantuvo por encima que el resto de las especies, con un promedio de 16.18%, a excepción de los árboles número 4 y 10, los cuales comparten un valor muy similar con los mismos individuos de la especie *Eucalyptus grandis*.

Por su parte, *Eucalyptus grandis* fue la especie que registró un menor porcentaje de corteza a lo largo de todos los individuos analizados, a excepción de los ya mencionados árboles número 4 y 10 y arrojó un promedio de 11%, mientras que *Eucalyptus smithii*, se mantuvo en una posición intermedia entre las ya mencionadas especies, presentando un promedio de 13.95%.

Continuando con los resultados, se pasa a un nivel de mayor especificidad, presentando los resultados particulares de cada especie.

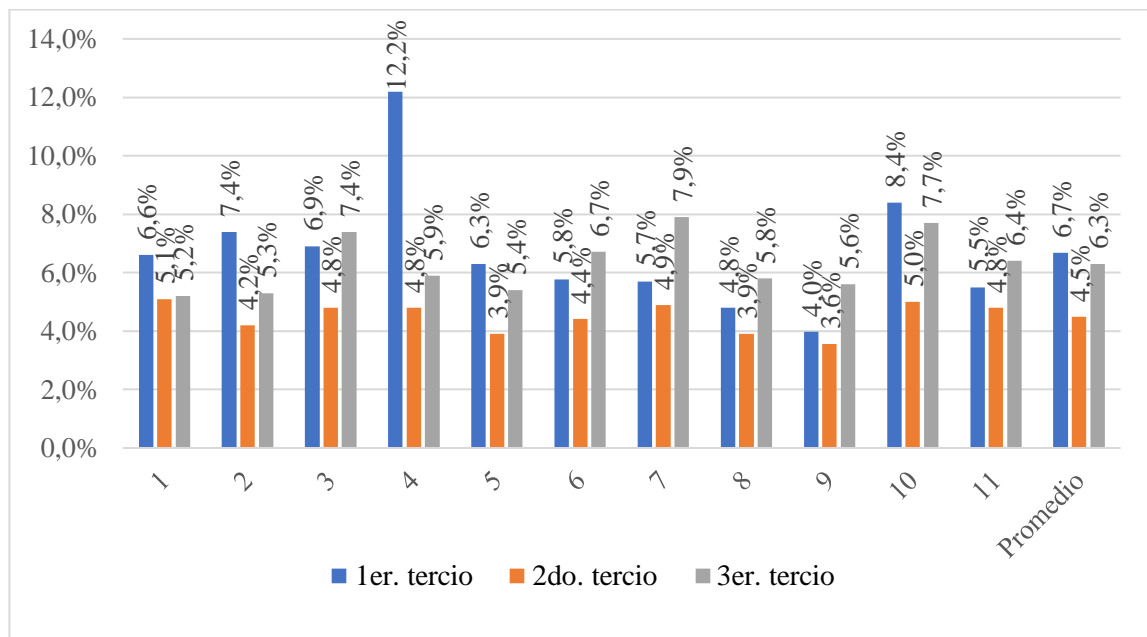


Figura No. 46. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie *Eucalyptus grandis*

Como se puede observar en la Figura No. 46, el segundo tercio presenta un valor inferior de porcentaje de corteza respecto a los tercios inferior y superior, para todos los árboles analizados. El porcentaje de corteza presenta un valor determinado en la parte basal del árbol, el cual disminuye hacia la porción central y finalmente aumenta hacia la porción apical. Además, se incluyen los valores promedio de cada tercio.

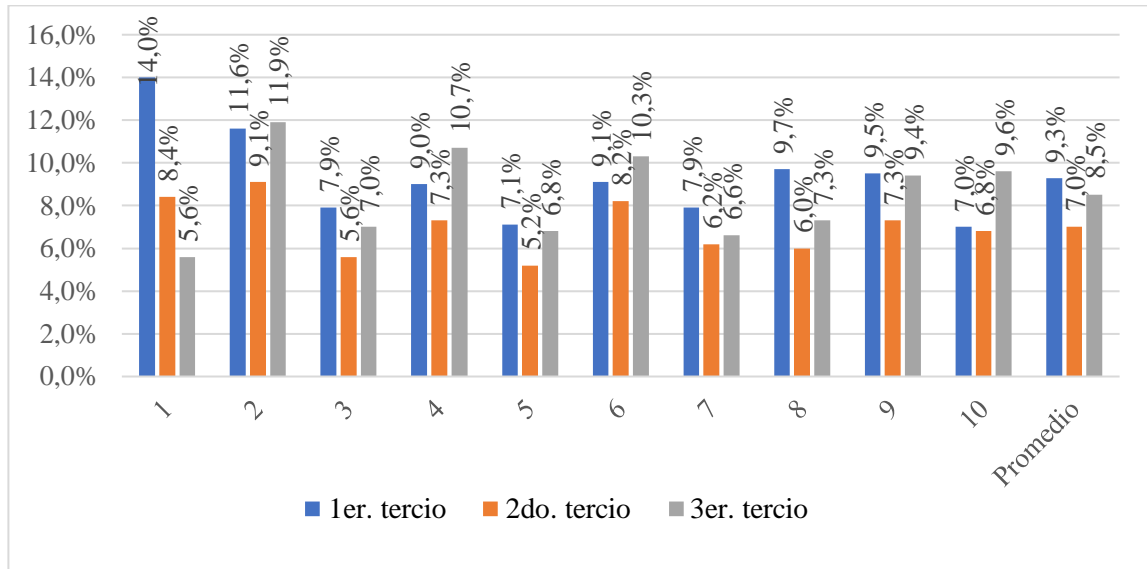


Figura No. 47. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie *Eucalyptus dunnii*

En este otro gráfico, construido para la especie *Eucalyptus dunnii* (Figura No. 47), se observa el mismo comportamiento, a excepción del individuo número uno, el cual puede ser explicado por la metodología empleada en su cálculo.

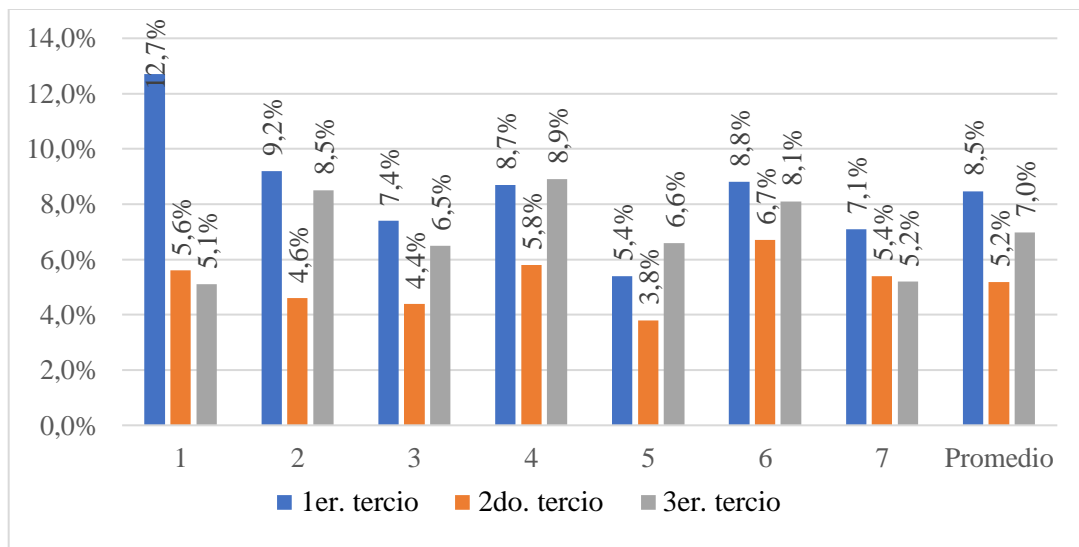


Figura No. 48. Porcentaje de corteza para cada tercio de los árboles apeados de la especie *Eucalyptus smithii*

En este caso (Figura No. 48), el comportamiento es similar al de *Eucalyptus dunnii*.

Por otro lado, es posible analizar y comparar lo que sucede dentro de cada especie con cada tercio de los árboles apeados.

A partir del gráfico (Figura No. 49) se puede afirmar nuevamente que *Eucalyptus dunnii* es la especie que presenta el mayor porcentaje de corteza, mientras que *Eucalyptus grandis* es la que tiene menor cantidad y *Eucalyptus smithii* se encuentra en un nivel intermedio.

Por otra parte, se mantiene la tendencia en la variable porcentaje de corteza, ya que se observa mayor contenido en el primer tercio, disminuye hacia la porción central y aumenta hacia el ápice del árbol.

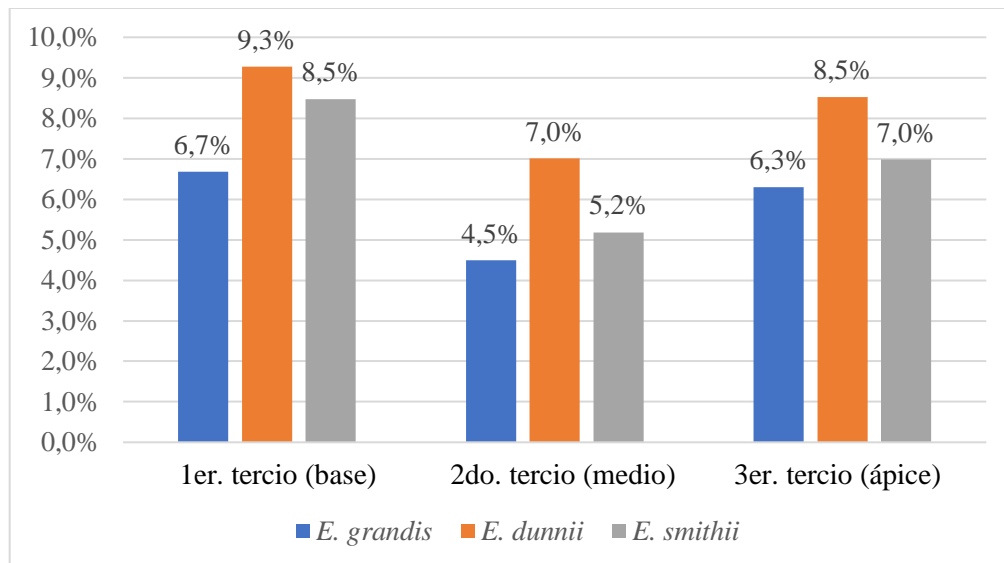


Figura No. 49. Porcentaje de corteza promedio de cada tercio de los árboles apeados, para cada especie analizada

Según Sorrentino (1997), el porcentaje de corteza presenta un valor más elevado en la base, disminuyendo y haciéndose constante en la mayor parte del fuste utilizable del árbol, para finalmente volver a aumentar en el tramo final hasta el tope, ya que, en esta última porción, el espesor de la corteza permanece constante, pero el diámetro continúa disminuyendo (Figura No. 50).

Los resultados obtenidos en esta sección del trabajo, coinciden con lo expresado anteriormente por la autora citada (Figura No. 51).

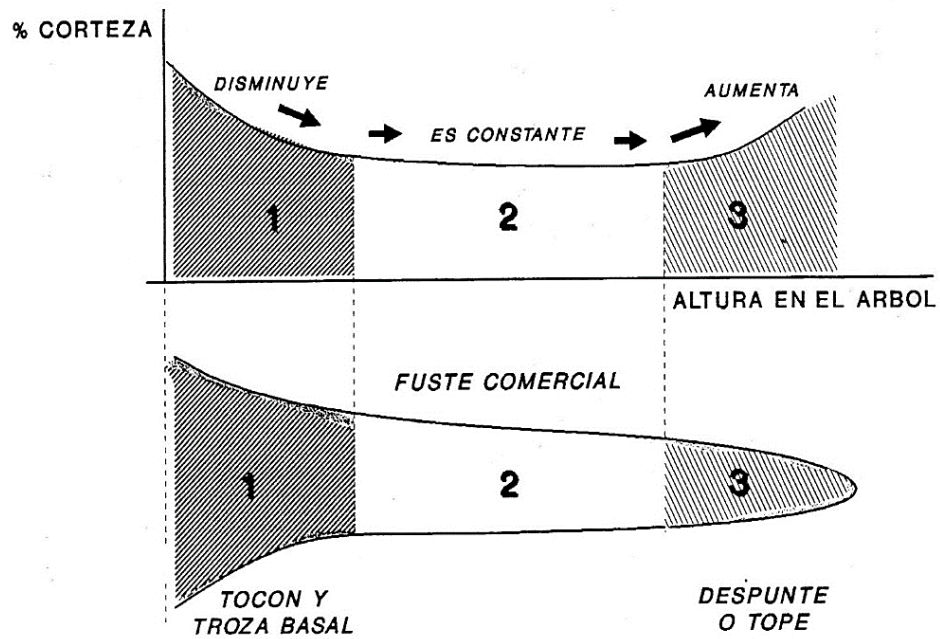


Figura No. 50. Porcentaje de corteza a lo largo del árbol

Fuente: adaptado de Sorrentino (1997).

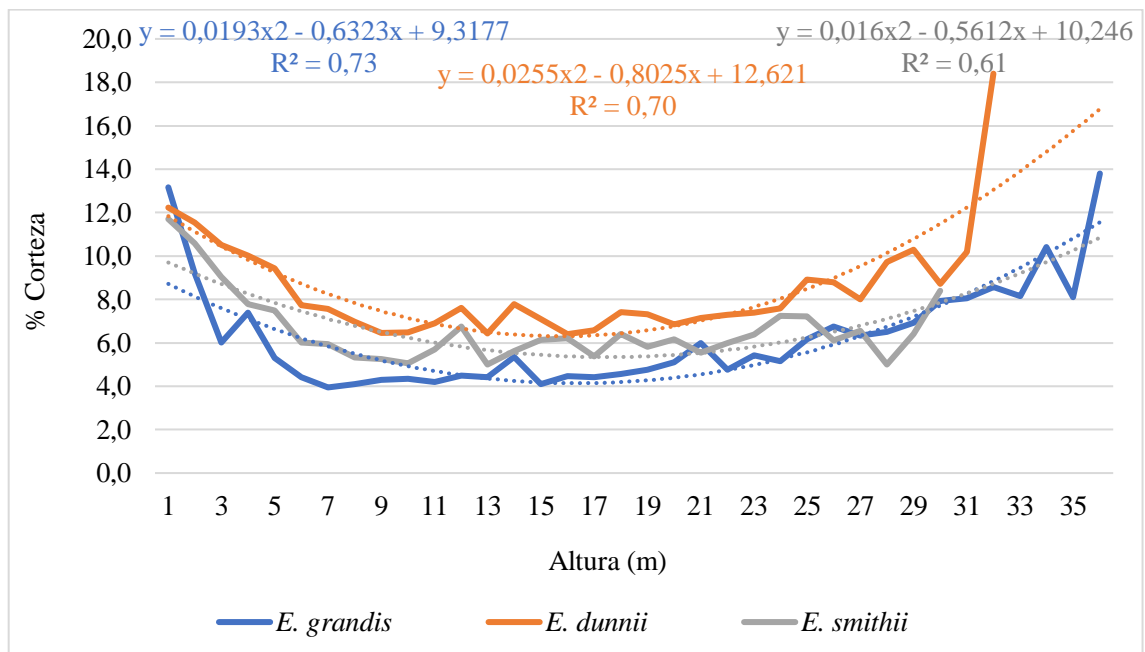


Figura No. 51. Porcentaje de corteza promedio a lo largo de los árboles apeados para cada especie

En este punto se pretendió responder las siguientes preguntas: ¿existen diferencias en el porcentaje de corteza entre las diferentes especies bajo análisis? ¿Existen diferencias en el porcentaje de corteza dentro de cada tercio de los árboles apeados entre las distintas especies estudiadas?

Cuadro No. 10. Análisis de varianza para la variable de respuesta porcentaje de corteza según especie

F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	127,57	63,785	9,5263	0,000841***
Repetición	25	167,39	6,696		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

El análisis de varianza (Cuadro No. 10) arroja que al menos una especie es diferente del resto en lo que refiere a su porcentaje de corteza.

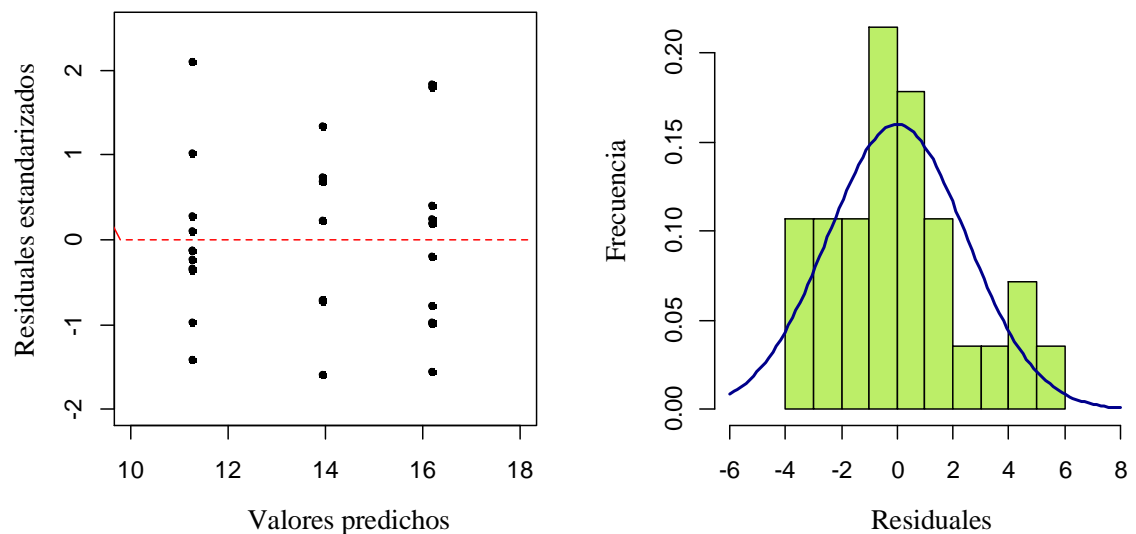


Figura No. 52. Gráfico de residuales estandarizados vs. valores predichos por el modelo e histograma de residuales para el análisis de la variable porcentaje de corteza según especie

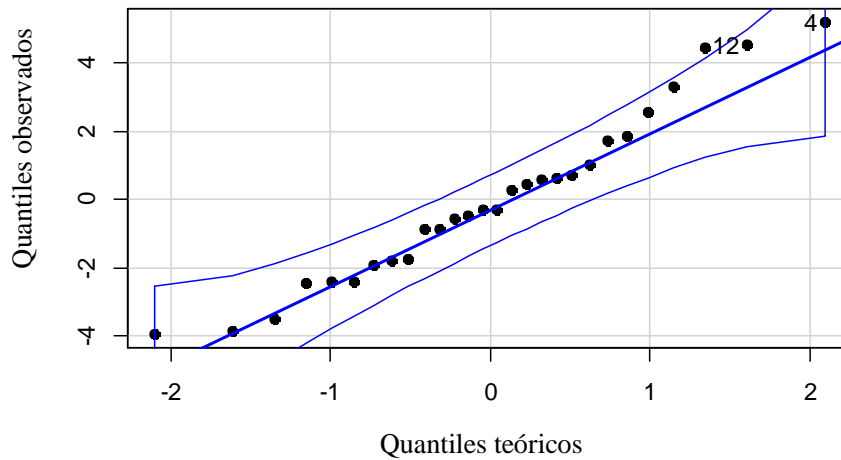


Figura No. 53. Qq-plot perteneciente al análisis de residuos de la variable porcentaje de corteza según especie

Cuadro No. 11. Comparación de medias mediante test de Tukey

Especie	% Corteza	Grupos
<i>E. dunnii</i>	16,18	a
<i>E. smithii</i>	13,95	ab
<i>E. grandis</i>	11,26	b

De acuerdo con el test de Tukey (Cuadro No. 11), las especies que presentan diferencias significativas en su porcentaje de corteza son *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*, las cuales presentan el mayor y menor porcentaje de corteza, respectivamente.

Cuadro No. 12. Análisis de varianza para la variable de respuesta % de corteza para los diferentes tercios del árbol, según especie

Base					
F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	36,818	18,4089	3,8055	0,03608*
Repetición	25	120,937	4,8375		
Medio					
F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	34,613	17,307	18,509	1,169e ^{-05***}
Repetición	25	23,376	0,935		
Ápice					
F de V	gl	SC	CM	F	p-valor
Especie	2	26,497	13,2484	5,1412	0,01348*
Repetición	25	64,423	2,5769		

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. SC=suma de cuadrados. CM=cuadrado medio. F=valor observado, cociente de varianzas. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

De acuerdo con el análisis de varianza que compara las diferentes especies en cada tercio de la longitud de los árboles apeados, en el primer tercio del árbol, es decir, en la base, al menos una especie presenta diferencias respecto a las demás, al igual que sucede en el caso del tercio medio y en el ápice (Cuadro No. 12). El análisis de residuos de esta sección se presenta en el Anexo No. 4.

Cuadro No. 13. Comparación de medias mediante test de Tukey

Especie	Base		Medio		Ápice	
	% Corteza	Grupos	% Corteza	Grupos	% Corteza	Grupos
<i>E. dunnii</i>	9,28	a	7,01	a	8,52	a
<i>E. smithii</i>	8,47	ab	5,19	b	6,99	ab
<i>E. grandis</i>	6,69	b	4,49	b	6,30	b

Como se puede observar en el cuadro de comparación de medias (Cuadro No. 13), en todos los casos las diferencias entre *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* son significativas, presentando *Eucalyptus dunnii* el mayor porcentaje de corteza en los tres tercios del árbol y *Eucalyptus grandis* el menor. Por su parte, *Eucalyptus smithii* sólo se diferencia de *Eucalyptus dunnii* en la sección media, en la cual se hace igual a *Eucalyptus grandis*.

En un trabajo realizado por Balmelli y Resquin (2000), en el cual se evaluaron diferentes especies del género *Eucalyptus* al quinto año, se encontró que la media de proporción de corteza en porcentaje de *Eucalyptus dunnii* fue de 18.5%, mientras que para *Eucalyptus grandis*, la misma fue de 13.7%, siendo éstas significativamente diferentes, lo que concuerda con lo obtenido en este trabajo, ya que *Eucalyptus dunnii* se mostró por encima de *Eucalyptus grandis* en todos los casos, siendo esta diferencia significativa.

Por otra parte, se han registrado para la especie *Eucalyptus grandis* a la edad de 14 años en India, los siguientes valores de porcentaje de corteza para diferentes diámetros y alturas.

Cuadro No. 14. Porcentaje de corteza en volumen para *E. grandis* en India

% Corteza en volumen	Tamaño del árbol			
	a = 10	a = 15	a = 20	a = 30
	d = 10	d = 15	d = 20	d = 30
	30,8	16,9	14,2	12,8

a: altura total (m). d=diámetro a 1,30 m con corteza (cm).

Fuente: elaborado en base a Jacob (1981).

Estos valores presentan una gran amplitud dado por las diferencias en las dimensiones de los árboles analizados. Los datos obtenidos en este trabajo para esta especie en particular, se asemejan más al valor correspondiente a los árboles de mayores dimensiones (a=30, d=30).

La importancia que representa conocer el dato de porcentaje de corteza de los árboles y/o de las especies, radica en la influencia que éste tiene en el volumen aprovechable de madera, dado que es un desperdicio que permanece en el campo y cuanto mayor sea su valor, menor es el volumen de producto, elemento que realmente interesa.

Adicionalmente, se estudió la correlación entre las variables diámetro a la altura del pecho (m) y volumen de corteza, y entre el DAP (m) y el porcentaje de corteza (Figura No. 54).

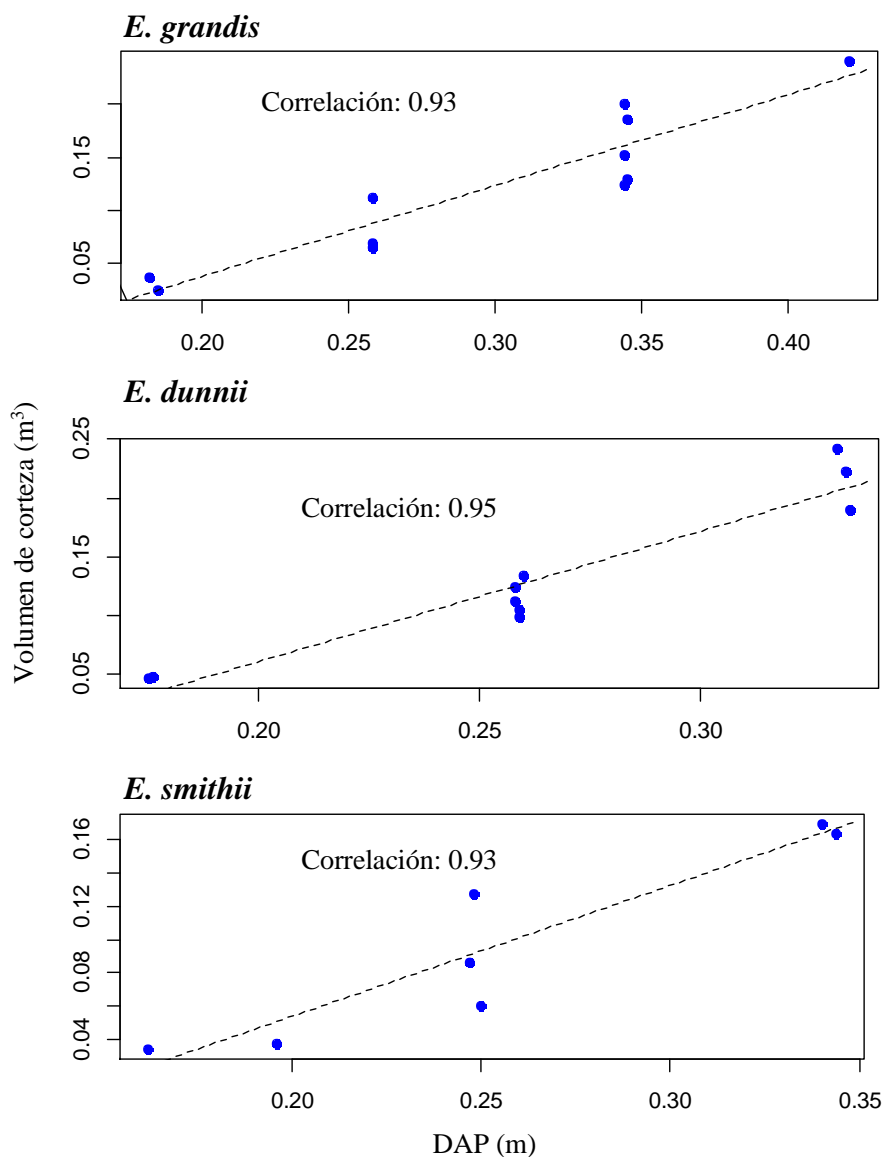


Figura No. 54. Volumen de corteza en función del diámetro a la altura del pecho para las diferentes especies estudiadas

En la figura anterior (Figura No. 54), es posible observar una correlación positiva entre ambas variables, es decir, a medida que aumenta el diámetro, también lo hace el volumen de corteza. Además, cabe destacar que dicha correlación es considerablemente elevada en todos los casos.

En lo que respecta a la correlación entre las variables DAP y porcentaje de corteza, dicha relación es negativa, dado que al aumentar el diámetro del árbol hay un

mayor volumen de madera en relación al volumen de corteza, por lo que la proporción de corteza en el árbol disminuye (a pesar de que, como se desarrolla anteriormente, el volumen de corteza aumenta junto con el DAP, pero dicho aumento resulta menor al aumento en el volumen de madera).

En todos los casos, esta correlación fue negativa pero no fue significativa, por lo que, a modo ilustrativo, se presenta el gráfico construido para la totalidad de datos registrados a partir de los árboles apeados (Figura No. 55).

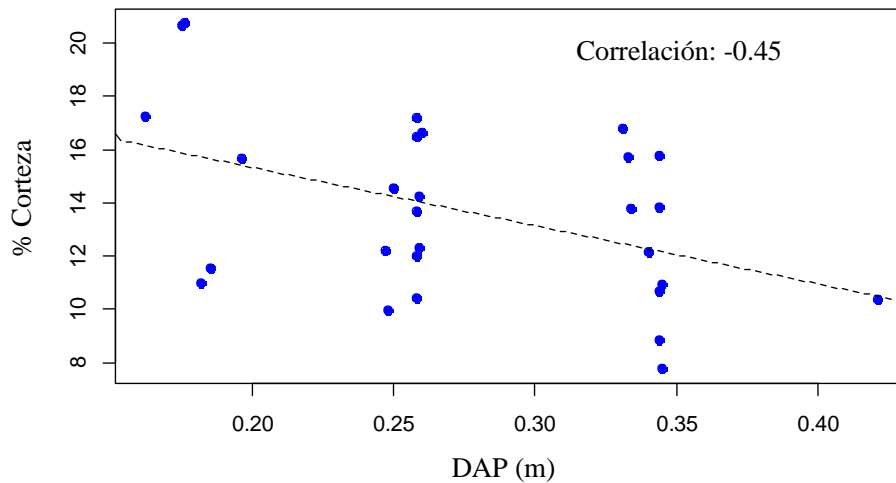


Figura No. 55. Porcentaje de corteza en función del diámetro a la altura del pecho

4.4 COMPARACIÓN DE VOLÚMENES ENTRE ESPECIES

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos durante el abordaje del cuarto objetivo.

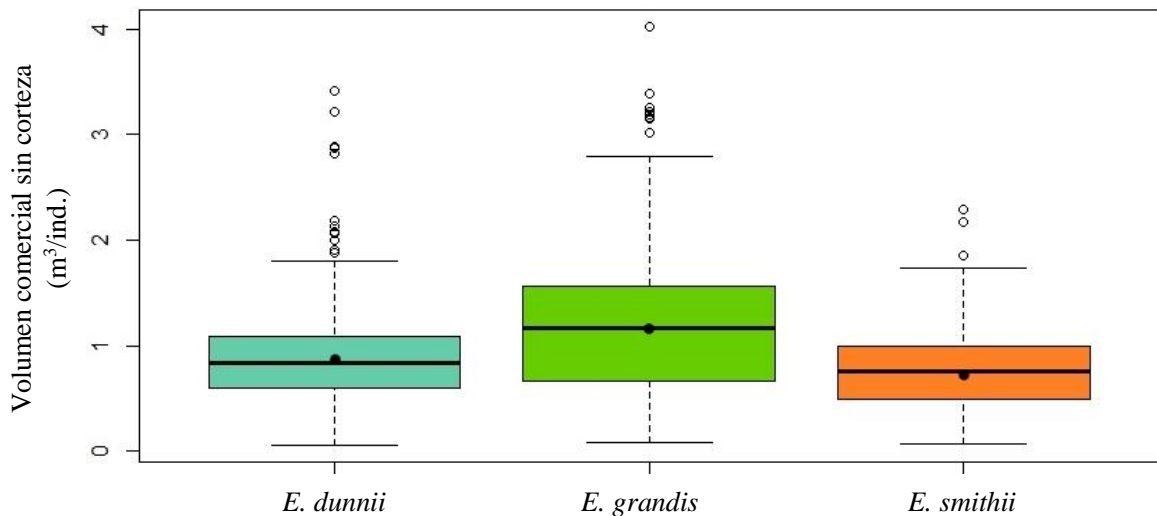


Figura No. 56. Volumen comercial sin corteza expresado en metros cúbicos por individuo, según la especie

Para la variable volumen comercial sin corteza, los valores promedios fueron de 0.86, 1.17 y 0.75 m³/individuo, para *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus smithii*, respectivamente (Figura No. 56).

Por su parte, para la variable volumen total con corteza, los volúmenes individuales promedio para cada especie fueron los siguientes: 0.99, 1.34 y 0.87 m³/individuo, para *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus smithii*, respectivamente.

Además, a modo informativo se presenta en el Cuadro No. 15, un resumen de los parámetros utilizando la hectárea como unidad (en lo que respecta a los datos de volumen).

Cuadro No. 15. Resumen de las diferentes variables promedio para cada especie

Variable	Especies		
	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. smithii</i>
Árbol/ha	496	831	532
DAP (cm)	31.7	27.8	27.3
Altura (m)	35.9	34.2	29
Vol. total CC (m ³ /ha)	666	820	464
Vol. comercial SC (m ³ /ha)	581	714	398
% Corteza	11	16	14
% Supervivencia 51 meses	61	88	59
% Supervivencia*	82	95	90

*Respecto a la densidad a los 51 meses de edad. DAP: diámetro a la altura del pecho. CC=con corteza. SC=sin corteza.

El mayor volumen obtenido por hectárea para *Eucalyptus dunnii* se puede explicar por su mayor densidad (40% mayor que *Eucalyptus grandis* y 36% mayor que *Eucalyptus smithii*), tanto para volumen total con corteza como comercial sin corteza. A pesar de esto, como se presentó anteriormente, *Eucalyptus grandis* muestra un mayor volumen individual para ambas variables. Sin embargo, *Eucalyptus smithii* presenta una mayor densidad respecto a *Eucalyptus grandis*, pero menores volúmenes por hectárea.

Por otro lado, la especie *Eucalyptus grandis* es la que presenta las mayores dimensiones para árbol individual (DAP y altura). El mayor valor de diámetro a la altura del pecho presentado por *Eucalyptus grandis* puede explicarse por una menor población por hectárea, la cual se relaciona con una pérdida de individuos debido a un evento de frío en el año no. 1 y por intervenciones selectivas posteriores en el tiempo en algunas parcelas de dicha especie.

Debido a la razón explicada anteriormente, se optó por realizar el análisis estadístico de las variables volumen total con corteza y comercial sin corteza a nivel individual (m³/individuo) y no del dato obtenido por hectárea.

Las interrogantes aquí planteadas fueron las siguientes: ¿existen diferencias en el volumen total con corteza en m³/individuo entre las especies evaluadas? ¿Existen diferencias en el volumen comercial sin corteza en m³/individuo entre las especies evaluadas?

Cuadro No. 16. Análisis de varianza para la variable volumen total con corteza (m³/individuo)

F de V	gl	F	p-valor
Especie	2	30,1571	<0,0001
Covariable	1	106,5571	<0,0001

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. F=valor observado. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

A partir del anterior análisis de varianza (Cuadro No. 16), es posible concluir que la incorporación de la covariable (número de árboles ausentes dentro de la parcela) tiene un efecto significativo, por lo cual la inclusión de ésta es acertada. A su vez, al menos una especie se diferencia del resto.

Cuadro No. 17. Comparación de medias mediante test de Tukey

Especie	V total CC (m ³ /ind.)	Grupos
<i>E. smithii</i>	0,778	a
<i>E. dunnii</i>	1,152	b
<i>E. grandis</i>	1,221	b

V total CC (m³/ind.): volumen total con corteza en metros cúbicos por individuo (medias ajustadas).

Según el test de Tukey (Cuadro No. 17), *Eucalyptus smithii* es la especie que se diferencia de las restantes, presentando el menor valor de volumen total con corteza individual, mientras que *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* no presentan diferencias entre sí.

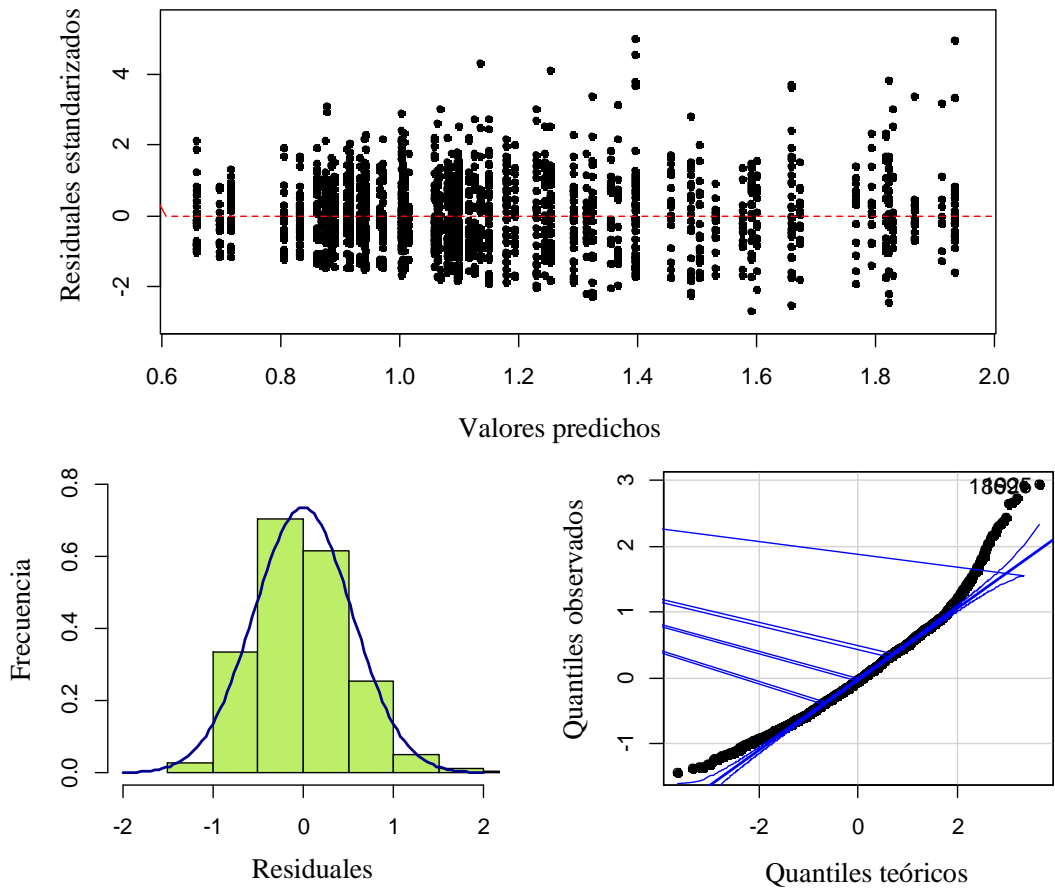


Figura No. 57. Residuales vs. predichos, histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable volumen total con corteza

Cuadro No. 18. Análisis de varianza para la variable volumen comercial sin corteza (m^3 /individuo)

F de V	gl	F	p-valor
Especie	2	31,9143	<0,0001
Covariable	1	113,1095	<0,0001

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. F=valor observado. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

Al igual que en el caso anterior, la incorporación de la covariable es significativa para el análisis y para la variable volumen comercial sin corteza, al menos una especie se diferencia del resto (Cuadro No. 18).

Cuadro No. 19. Comparación de medias mediante test de Tukey

Especie	V comercial SC (m ³ /ind.)	Grupos
<i>E. smithii</i>	0,662	a
<i>E. dunnii</i>	1,008	b
<i>E. grandis</i>	1,063	b

V total CC (m³/ind.): volumen comercial sin corteza en metros cúbicos por individuo (medias ajustadas).

Nuevamente *Eucalyptus smithii* se diferencia del resto de las especies presentando el menor valor de volumen (Cuadro No. 19).

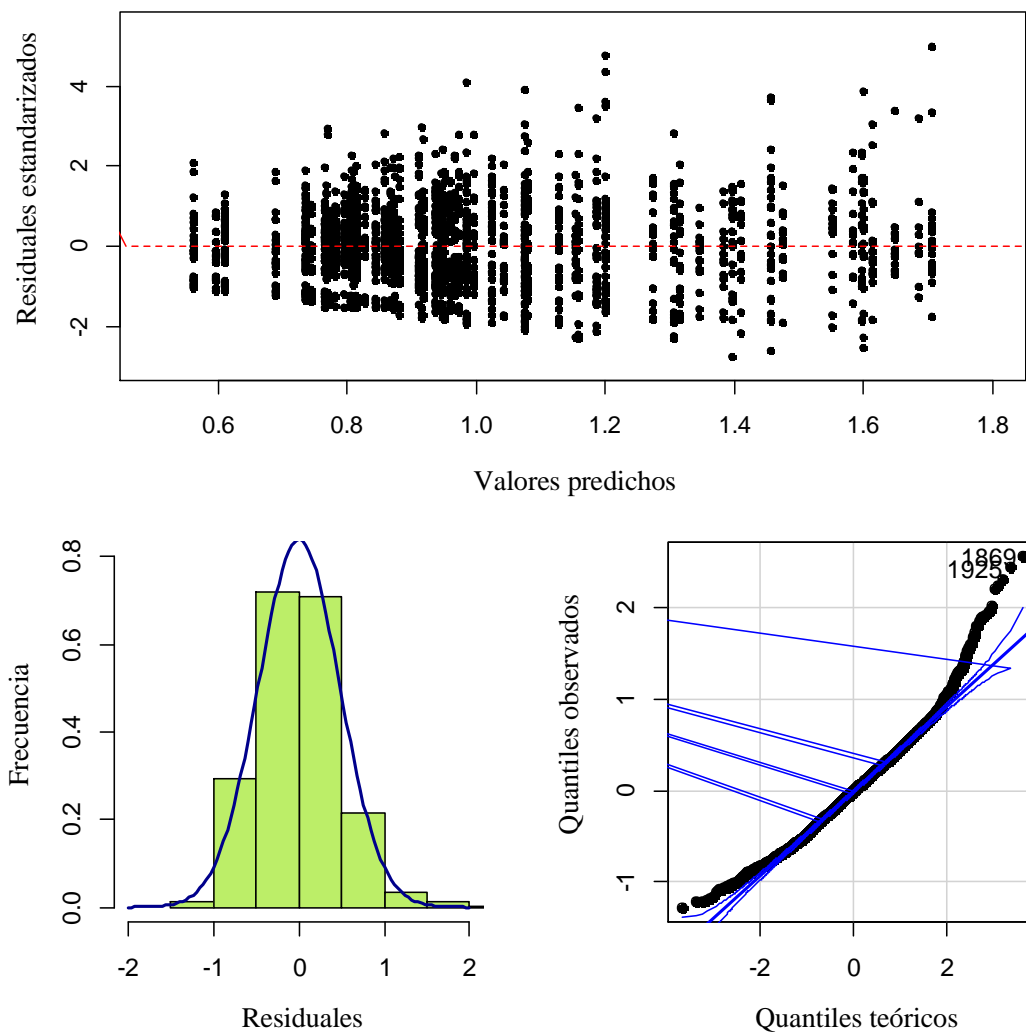


Figura No. 58. Residuales vs. predichos, histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable volumen comercial sin corteza

Los valores de volumen total con corteza individual obtenidos en este trabajo son superiores a los reportados por Balmelli y Resquin (2006) para tres ensayos instalados sobre areniscas de Tacuarembó – Rivera. En uno de estos ensayos, con una densidad de plantación de 1333 árboles/ha y una sobrevivencia del 79% para *Eucalyptus grandis*, se obtuvo un volumen total con corteza individual promedio para la misma de 0,548 m³ a los 13 años de plantación. A pesar de que ese valor represente menos de la mitad del obtenido en este trabajo (1,34 m³/árbol promedio para *Eucalyptus grandis*), se debe tener en cuenta que la densidad al momento de evaluación del ensayo era de más del doble (496 árboles/ha en este trabajo vs. 1053 árboles/ha en el ensayo citado), además de tener la plantación un año menos. En otro de los ensayos, en este caso evaluado a los 11 años de edad, se obtuvo para la especie *Eucalyptus dunnii* un volumen total con corteza individual promedio de 0,439 m³. Una vez más, hay que tener en cuenta que el valor es inferior ya que se cuenta con tres años menos de edad de la plantación y la densidad aquí también es diferente (1455 árboles/ha debido a una densidad inicial de 1818 árboles/ha y una sobrevivencia del 80% para esta especie). Por su parte, en un tercer ensayo evaluado a los 9 años, se obtuvo para *Eucalyptus smithii* un volumen individual promedio de 0,399 m³. Este último ensayo fue ubicado deliberadamente en un sitio bajo y sin pendiente (posibles condiciones de exceso de humedad en el suelo y daños por heladas) y dado que la performance de las tres especies mencionadas no presentó diferencias significativas, los autores concluyen que *Eucalyptus smithii* es una especie alternativa adecuada.

Es importante mencionar que, además de las diferencias en las edades a las cuales fueron efectuadas las evaluaciones y las diferencias en cuando a las densidades de plantación, hay una tercera razón común a todos los ensayos por la cual se podrían explicar las diferencias entre los valores obtenidos en este trabajo y los resultados citados y consiste en el tipo de suelo.

A pesar de que los valores de volumen obtenidos para la especie *Eucalyptus smithii* son los más bajos en comparación a las demás especies estudiadas, continúa siendo un volumen importante. Además, esta especie presenta propiedades tecnológicas similares a las de *Eucalyptus globulus*, con altos valores de densidad de la madera (521 – 617 Kg/m³), rendimiento pulpable entre 45 – 55% e interesantes propiedades papeleras como rendimiento en fibra, blancura, bajo índice Kappa y bajo consumo de álcali (Clarke et al., Swaim y Gardner, citados por Rachid et al., 2021), por lo que no debe descartarse su empleo en este tipo de producción.

Adicionalmente, se realizó la evaluación de la variable diámetro a la altura del pecho expresado en centímetros.

Cuadro No. 20. Análisis de varianza para la variable diámetro a la altura del pecho

F de V	gl	F	p-valor
Especie	2	23,946	<0,0001
Repetición	3	5,304	0,0026

F de V: fuente de variación. gl=grados de libertad. F=valor observado. p-valor=valor de probabilidad asociado al resultado observado.

Según el análisis de varianza (Cuadro No. 20), al menos una especie se diferencia del resto en lo que respecta a su diámetro en la altura del pecho.

Cuadro No. 21. Comparación de medias mediante test de Tukey

Especie	DAP (cm)	Grupos
<i>E. smithii</i>	27,3	a
<i>E. dunnii</i>	27,9	a
<i>E. grandis</i>	32,4	b

DAP: diámetro a la altura del pecho expresado en centímetros (medias ajustadas).

En este caso, la especie que se diferencia del resto es *Eucalyptus grandis*, la cual presenta el mayor diámetro a la altura del pecho. Por su parte, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus smithii* presentan un diámetro menor y no se diferencian entre sí (Cuadro No. 21).

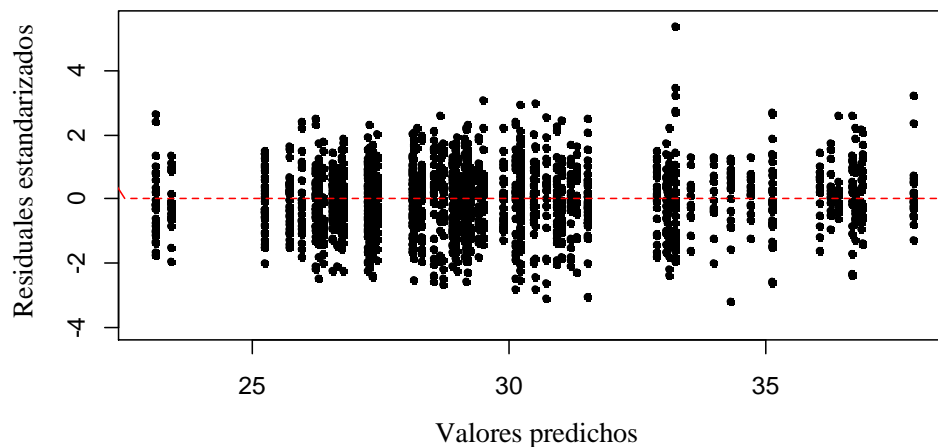


Figura No. 59. Residuales vs. predichos correspondiente al análisis de la variable diámetro a la altura del pecho

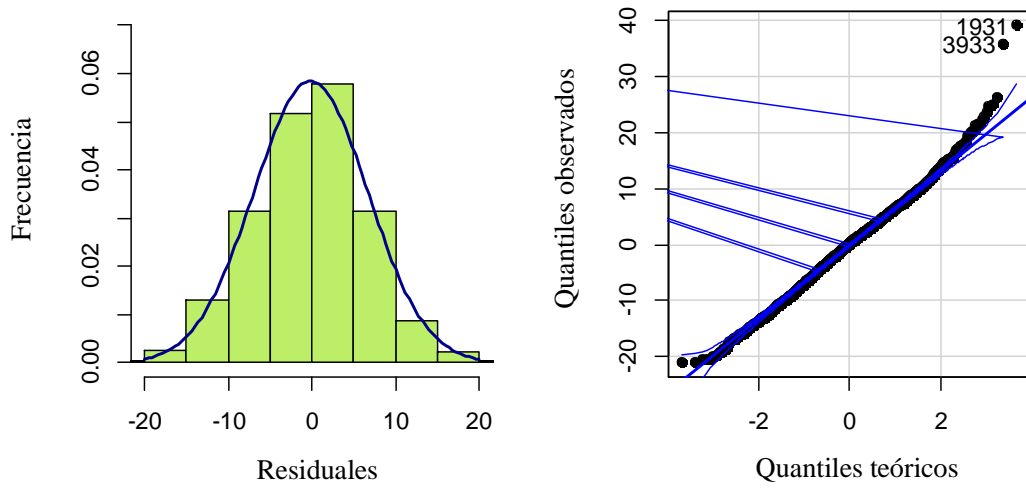


Figura No. 60. Histograma de residuales y qq-plot correspondientes al análisis de la variable diámetro a la altura del pecho

Si se realiza un análisis de correlación entre las variables volumen total con corteza ($\text{m}^3/\text{individuo}$) y diámetro a la altura del pecho (cm), se observa que a medida que aumenta el diámetro, el volumen también experimenta un incremento (Figura No. 61). Ambas variables se encuentran positiva y fuertemente correlacionadas.

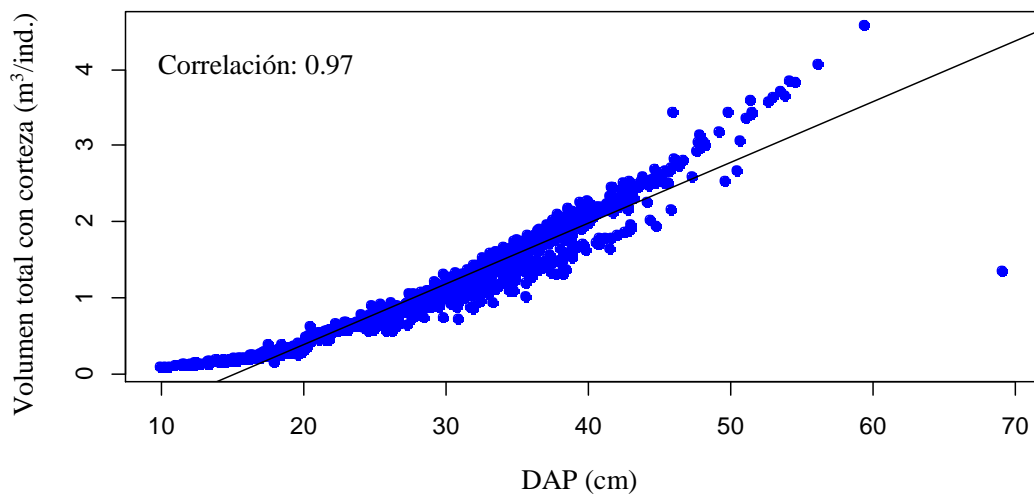


Figura No. 61. Volumen total con corteza ($\text{m}^3/\text{individuo}$) en función del DAP (cm)

En el artículo citado en la sección anterior, también se incluyen datos de diámetro a la altura del pecho para las diferentes especies bajo análisis. En este sentido, se reportan para *Eucalyptus grandis* valores promedio de 23.3 cm a los 13 años, 22.2 cm a los 11 años y 23.9 cm a los 9 años, los cuales son muy disímiles a los obtenidos en este trabajo

(nuevamente hay que tener en cuenta que las condiciones de cultivo fueron distintas en lo que refiere a densidad y sitio, además de las diferencias de edad). En el caso de *Eucalyptus dunnii* se registraron valores promedio de 20.6 cm a los 11 años y 21.7 a los 9 años, mientras que para *Eucalyptus smithii* el promedio fue de 23.2 cm a los 9 años.

5. CONCLUSIONES

El factor de forma total con corteza tomó valores comprendidos entre 0.40 – 0.54 inclusive, no encontrándose diferencias significativas entre especies.

El factor de forma comercial sin corteza se ubicó entre 0.28 – 0.47 inclusive. En este caso tampoco hubo diferencias significativas entre especies.

El valor promedio de factor de forma total con corteza obtenido (0.44) es similar a los valores reportados para *Eucalyptus grandis* en plantaciones de 14 años en India.

El instrumento Vertex tiende a subestimar la altura, sin embargo, el error es $\leq 5\%$ en general.

No se encontraron diferencias significativas en la altura medida con los distintos instrumentos empleados, lo que evidencia una gran precisión del instrumento Vertex y habilidad del operario en la realización de la tarea.

No se encontraron diferencias significativas en la altura medida con cinta sobre los árboles apeados entre las especies analizadas.

Los resultados obtenidos en este trabajo respecto a la medición de altura de los árboles coinciden con lo encontrado por otros autores, en cuanto a la precisión del instrumento Vertex.

En lo que respecta a la proporción de corteza, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* presentaron diferencias significativas entre sí, con valores de 16.18% y 11.26%, respectivamente.

Al comparar el porcentaje de corteza entre especies en cada tercio del árbol (base, medio y ápice), el resultado es el mismo en cuanto a *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis*, sin embargo, existe una diferencia en el comportamiento de *Eucalyptus smithii* en la porción central del árbol, en la cual esta especie se diferencia de *Eucalyptus dunnii* y se hace igual a *Eucalyptus grandis*.

Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con lo reportado por otros autores, en el hecho de que *Eucalyptus dunnii* presenta la mayor proporción de corteza y *Eucalyptus grandis* la menor.

Conocer el dato de proporción de corteza de las especies es de gran importancia debido a la influencia que éste tiene sobre el volumen aprovechable de madera.

Se encontraron diferencias significativas entre las especies para la variable volumen total con corteza individual, siendo *Eucalyptus smithii* la especie con menor valor (0.74 m³/individuo), diferenciándose de *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* (1.15 y 1.25 m³/individuo, respectivamente), quienes no presentaron diferencias entre sí.

En el caso de la variable volumen comercial sin corteza, los resultados obtenidos fueron los mismos; *Eucalyptus smithii* fue la especie con el menor volumen (0.627 m³/individuo) y diferente del resto, mientras que *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* no se diferenciaron entre sí (1.00 y 1.09 m³/individuo, respectivamente).

Eucalyptus grandis se destacó del resto por su diámetro a la altura del pecho, presentando el mayor valor para dicha variable (32.4 cm), significativamente diferente del resto. Por su parte, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus smithii* no presentaron diferencias entre sí.

Las variables volumen total con corteza y diámetro a la altura del pecho están positiva y fuertemente correlacionadas.

6. RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar la variabilidad volumétrica y caracterizar, a través de una serie de variables dasométricas de interés (altura, diámetro a la altura del pecho y proporción de corteza), a una población de árboles del género *Eucalyptus* de 14 años de edad, compuesta por tres especies: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus smithii*, en el departamento de Cerro Largo, Uruguay. Los datos fueron obtenidos a través de la medición a campo de la totalidad de los individuos en el caso de la variable DAP, mientras que para la altura fue medida un 30% de la población, estimándose el resto de las alturas, y en lo que respecta al volumen y corteza, se apeó y cubicó un 1.4% de la población total mediante la fórmula de Smalian, con el fin de obtener una serie de factores de forma que permitieran el cálculo de volumen individual de la totalidad de los individuos de la población. El análisis de los datos fue realizado mediante el software estadístico R, en su interfase Rstudio, a través del ajuste de modelos lineales y mixtos, análisis de varianza, comparación de medias por Tukey (cuando ameritó) y análisis de residuos. Los factores de forma ajustados no presentaron diferencias entre las especies evaluadas. Se obtuvo una excelente precisión en la medición de alturas con el instrumento Vertex. En lo que respecta a la proporción de corteza, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* presentaron el mayor y el menor valor, respectivamente, siendo significativamente diferentes entre sí. En cuanto a los volúmenes individuales, *Eucalyptus smithii* se diferenció de las demás especies al presentar los menores valores, mientras que *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus grandis* no se diferenciaron entre sí. Finalmente, *Eucalyptus grandis* se destacó por presentar el mayor valor de diámetro a la altura del pecho, significativamente diferente del resto.

Palabras clave: *Eucalyptus*; Variables dasométricas; Factor de forma; Volumen.

7. SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the volumetric variability and characterize, through a series of dasometric variables of interest (height, diameter at breast height and bark proportion), a 14-year-old population of trees of the genus *Eucalyptus*, composed of three species: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* y *Eucalyptus smithii*, in the department of Cerro Largo, Uruguay. The data were obtained through field measurement of all the individuals for DBH, while the 30% of the population was measured for height and for volume and bark, 1.4% of the total population was shot down and cubed by the Smalian method, in order to obtain a series of form factors that would allow the calculation of the individual volume of all the individuals in the population. The data analysis was done by the R software, in its Rstudio interface, through the adjustment of linear and mixed models, analysis of variance, means comparison by Tukey test (when necessary) and analysis of residuals. The adjusted form factors did not show differences between species. Excellent precision in height measurement was obtained with the Vertex instrument. Regarding the bark proportion, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* showed the highest and lowest values, respectively, being significantly different from each other. As for the individual volumes, *Eucalyptus smithii* differed from the other species by presenting the lowest values, while *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus grandis* did not differ from each other. Finally, *Eucalyptus grandis* stood out by its diameter at breast height, for presenting the highest value, significantly different from the rest of the species.

Key words: *Eucalyptus*; Dasometric variables; Form factor; Volume.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Balmelli, G.; Resquin, F. 2000. Evaluación de especies de Eucalyptus al quinto año. Montevideo, INIA. 23 p. (Serie Técnica no. 114).
2. _____. 2006. Productividad de diferentes especies de Eucalyptus sobre areniscas de Tacuarembó – Rivera. In: Bemhaja, M.; Pittaluga, O. eds. 30 años de investigación en suelos de areniscas INIA Tacuarembó. Montevideo, INIA. pp. 305-312 (Serie Técnica no. 159).
3. Boland, D. J.; Brooker, M. I. H.; Chippendale, G. M.; Hall, N.; Hyland, B. P. M.; Johnston, R. D.; Kleining, D. A.; McDonald, M. W.; Turner, J. D. 2006. Forest trees of Australia. 5th. ed. Melbourne, CSIRO. 769 p.
4. Božić, M.; Čavlović, J.; Lukić, N.; Teslak, K.; Kos, D. 2005. Efficiency of ultrasonic Vertex III hypsometer compared to the most commonly used hypsometers in Croatian forestry. (en línea). Croatian Journal of Forest Engineering. 26(2):91-99. Consultado 20 dic. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/27189777_Efficiency_of_ultrasonic_Vertex_III_hypsometer_compared_to_the_most_commonly_used_hypsometers_in_Croatian_forestry
5. Brussa, C. A. 1994. Eucalyptus: especies de cultivo más frecuente en Uruguay y regiones de clima templado. Montevideo, Hemisferio Sur. 328 p.
6. Camani, C. 2017. Trabajo de suficiencia profesional: diseño completamente al azar. Tesis Ing. Agr. Moquegua, Perú. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica. 401 p.
7. Daniluk, G. A. 1992. Comparación de rendimientos en bosques coetáneos de *Eucalyptus grandis Hill ex Maiden* y *Eucalyptus globulus labill ssp. globulus kirkp*, en la localidad de Empalme Olmos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 103 p.
8. De La Rama, G. 1976. Atlas del Eucalyptus. Sevilla, Ministerio de Agricultura. INIA, ICONA. s.p.
9. Doldán, J.; Farina, I.; Tarigo, F. 2008. Utilización de Eucalyptus spp. alternativas de plantaciones uruguayas para pulpa kraft. Innotec. no. 3:30-34.

10. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2007. Marker – assisted selection: current status and future perspectives in crops, livestock, forestry and fish. Rome. 471 p.
11. Feliciano, M.; Ribeiro, A.; Ferraz, A.; Gomides, P. 2016. Avaliação de diferentes hipsómetros na estimativa da altura total. (en línea). Revista Verde da Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. 11(2):1-5. Consultado 19 dic. 2021. Disponible en <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3741/3717>
12. Fernandes, G.; de Angeli, R.; Boechat, C.; de Castro, L. 2012. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. (en línea). Árvore. 36 (2):341-348. Consultado 19 dic. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rarv/a/SPRS4mq6tcnmLJcCpKZsyDG/?lang=pt>
13. Haglöf, S. 2014. Guía del usuario Vertex IV y transponder T3. Uppsala, s.e. 30 p.
14. Hernández, J.; de los Santos, H.; Valdéz, J.; Tamarit, J.; Ángeles, G.; Hernández, A.; Méndez, B.; Peduzzi, A. 2017. Estimación del volumen comercial en plantaciones de *Eucalyptus urophylla* con modelos de volumen total y de razón. (en línea). Agrociencia. 51(5):561-580. Consultado 20 dic. 2021. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000500561
15. Imaña, J. 2011. Slides de acompañamiento de la cátedra de dendrometría. Brasília, Universidad de Brasília. Departamento de Ingeniería Forestal. 472 p.
16. INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, UY). 2021. Tablas estadísticas. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/tablas-estadisticas>.
17. Ipinza, R.; Gutiérrez, B.; Emhart, V. 1998. Mejora genética forestal operativa. Valdivia, Chile, s.e. 52 p.
18. Jacob, R. 1981. El eucalipto en la repoblación forestal. 2ª. ed. Roma, FAO. 723 p. (Colección FAO. Montes no. 11).

19. MAP. CONEAT (Ministerio de Agricultura y Pesca. Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra, UY). 1979. Índices de productividad, grupos CONEAT. Montevideo. 167 p.
20. _____. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripción de suelos. t. 3, apéndice pt. II.
21. MGAP. DGF (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General Forestal, UY). 2021. Resultados cartografía forestal 2021. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 05 oct. 2021. Disponible en <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/datos/resultados-cartografia-forestal-2021>
22. Obon, B.; Piqué, M.; Saura, S. 2009. Relascopeo de Bitterlich para el inventario forestal: manual de uso. Solsona, Generalitat de Catalunya. Centre de la Propietat Forestal. s.p.
23. Oñate, L. 2018. Precisión del hipsómetro Blume Leiss, clinómetro Suunto e hipsómetro láser Trupulse 360R en la medición de alturas totales de árboles de *Guazuma crinita* (bolaina blanca). Tesis Ingeniero Agroforestal Acuícola. Ucayali, Perú. Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Escuela Profesional de Ingeniería Agroforestal Acuícola. 51 p.
24. Orrillo, E. 2019. Comparación de tres métodos de estimación de volumen con la medición de trozas de *Pinus patula* Schl. et Cham en el caserío La Apalina – La Encañada – Cajamarca. Tesis Ing. Forestal. Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 73 p.
25. Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica, IICA. 572 p.
26. Rachid, C.; Resquin, F.; Balmelli, G.; Scoz, R. 2021. *Eucalyptus smithii*: una especie de interés creciente en la región sureste. Revista INIA. no. 65:71-74.
27. Rondeux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Madrid, Mundi-Prensa. 521 p.
28. Silvanus. 2021. El relascopeo Spiegel. (en línea). Kirchdorf an der Krems. s.p. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://www.silvanus.at/relaskop-en>

29. Sorrentino, A. 1997. Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Hemisferio Sur. 350 p.
30. Vallejos, O. S.; Morás, G. 2013. Mensura forestal al alcance de todos. San Bernardino, CA, Editorial Académica Española. 223 p.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Mapas descriptivos del sitio del ensayo

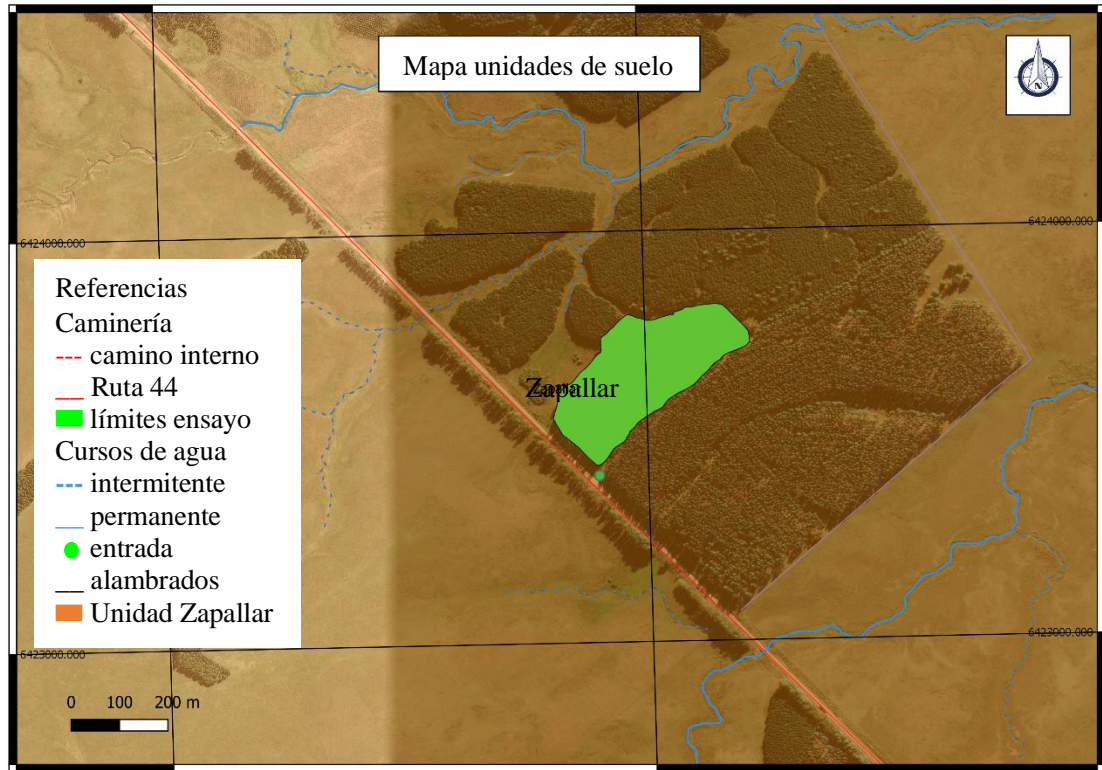


Figura No. 1. Mapa que ubica el ensayo en la unidad de suelo correspondiente

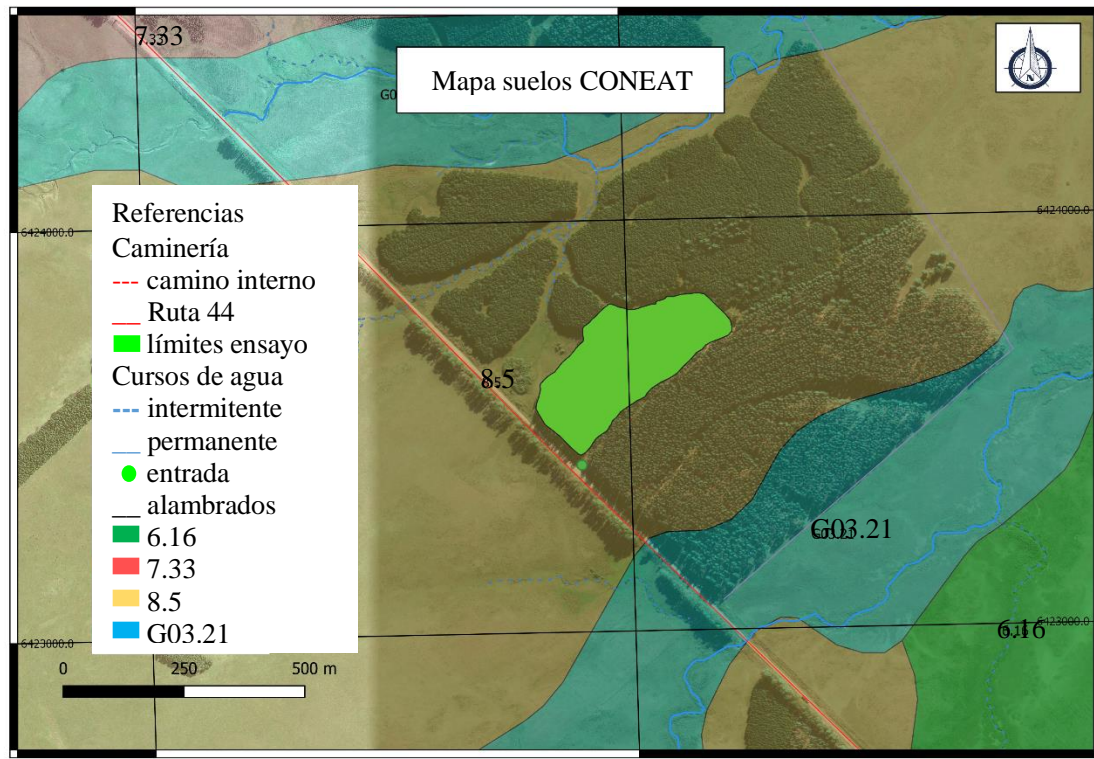


Figura No. 2. Ubicación del ensayo en el grupo de suelos CONEAT

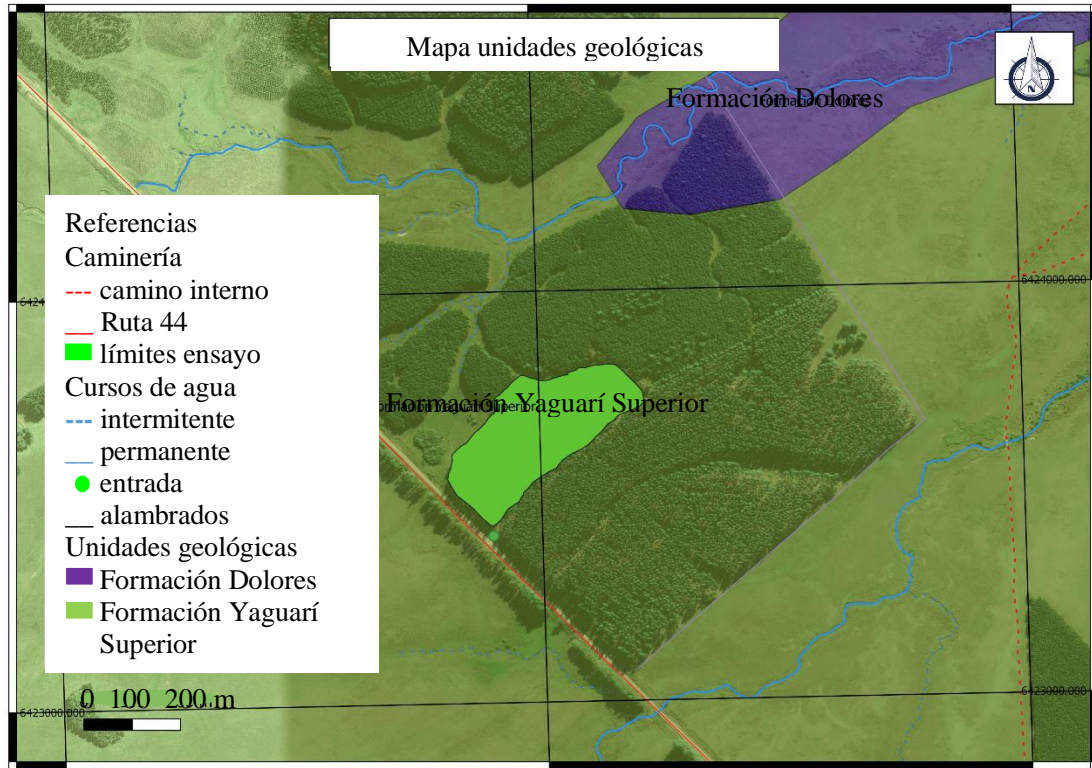


Figura No. 3. Mapa de unidades geológicas

Anexo No. 2. Descripción del perfil de suelo predominante en la unidad Zapallar

DESCRIPCION N°121	
UNIDAD	Zapallar (Zp)
SUELO	Luvisol Melánico Albico Ar. (Arquidol Acuico)
PERFIL	D 15 - 28
AUTOR	C. Alvarez - L. Aguirre
UBICACION	Departamento Cerro Largo
	Hoja 38
	Coordenadas 6430 - 6435 y 635 - 640
	Foto 37 - 159
POSICION TOPOGRAFICA - Loma alta convexa	
PENDIENTE 6%	
MATERIAL GENERADOR - Areniscas de la Formación Yaquarí	
USO ACTUAL Y VEGETACION - Pastoril, campo natural	
N°ANALISIS 2771 - 2779 (D.S.)	
0 - 22 A ₁	cm Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arenoso; bloques angulares grandes débiles que rompen en bloques angulares pequeños; no pegajoso y no plástico; transición gradual.
22 - 38 A ₂	cm Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2); franco arenoso; bloques angulares pequeños y medios, débiles; no plástico, no pegajoso; transición clara.
38 - 57 B ₂	cm Negro (10 YR 2/1); moteado pardo fuerte (10 YR 5/6), abundante pequeño y medio, neto, difuso; arcillo arenoso; prismática grande moderada que rompen en bloques angulares medios; pegajoso, plástico; películas de arcilla negras (10 YR 2/1) gruesas continuas; transición gradual.
57 - 80 B ₃	cm Gris oscuro a gris (10 YR 4.5/1); moteado gris muy oscuro a gris oscuro (10 YR 3.5/1) común, pequeño y medio, neto, claro, y pardo fuerte (10 YR 5/6) abundante, pequeño y medio, neto, difuso; franco arcillo arenoso; prismática grande, débiles que rompen en bloques angulares medios; pegajoso y plástico; películas de arcilla gris muy oscuro (10 YR 3/1) gruesas, continuas; concreciones de carbonato de calcio grandes, pocas, friables; concreciones de hierro y manganeso pequeñas, comunes, friables; transición difusa.
80 - 100 C ₁	cm Mezcla de colores pardo fuerte (10 YR 5/6) y pardo fuerte (10 YR 5/4); moteado pardo pálido (10 YR 6/3) abundante pequeño y medio, neto, claro; franco arcillo arenoso; bloques angulares muy grandes débiles; pegajoso y plástico; películas de arcilla gris a gris claro (10 YR 6/1) gruesas, continuas; concreciones de carbonato de calcio grandes, pocas, friables; concreciones de hierro y manganeso pequeñas y medias, comunes, friables; transición difusa.
100 y + C ₂	cm Mezcla de colores pardo fuerte (10 YR 5/6) y pardo fuerte (10 YR 5/4); franco arcillo arenoso; bloques angulares muy grandes débiles; pegajoso, plástico; películas de arcilla color gris a gris claro (10 YR 6/1) delgadas, continuas; concreciones de hierro y manganeso pequeñas y medias, comunes, friables.

Figura No. 4. Descripción del perfil de suelo predominante de la unidad de suelo Zapallar

Fuente: tomado de MAP. DSF (1979).

Anexo No. 3. Característica de la madera del género *Eucalyptus*

Dab (g/cm ³)	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. globulus</i> "jeeralang"	<i>E. maidenii</i>
Media	0,423	0,499	0,520	0,550	0,559
Desv.est.	0,0255	0,0407	0,0086	0,0260	0,0265
C.V.%	6,0	8,1	1,7	4,7	4,7
Rango	0,076	0,144	0,049	0,075	0,090
Mínimo	0,390	0,430	0,495	0,522	0,529
Máximo	0,466	0,574	0,544	0,597	0,619

Figura No. 5. Tabla de densidad aparente básica para *Eucalyptus* spp.

Fuente: tomado de Doldán et al. (2008).

Anexo No. 4. Análisis de residuos correspondiente al análisis de la variable porcentaje de corteza para los diferentes tercios del árbol según especie

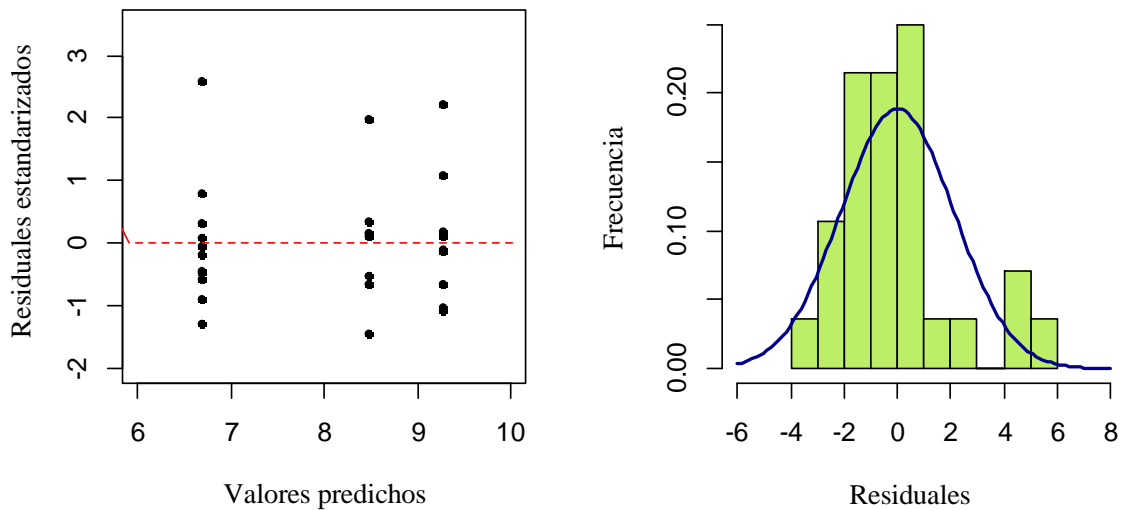


Figura No. 6. Residuales vs. predichos e histograma de residuos correspondientes al análisis de la base del árbol

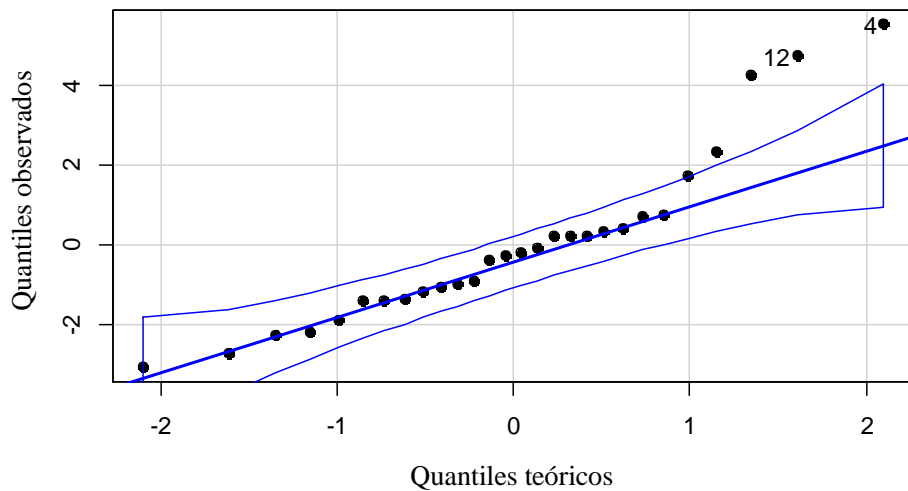


Figura No. 7. Qq-plot correspondiente al análisis de la base del árbol

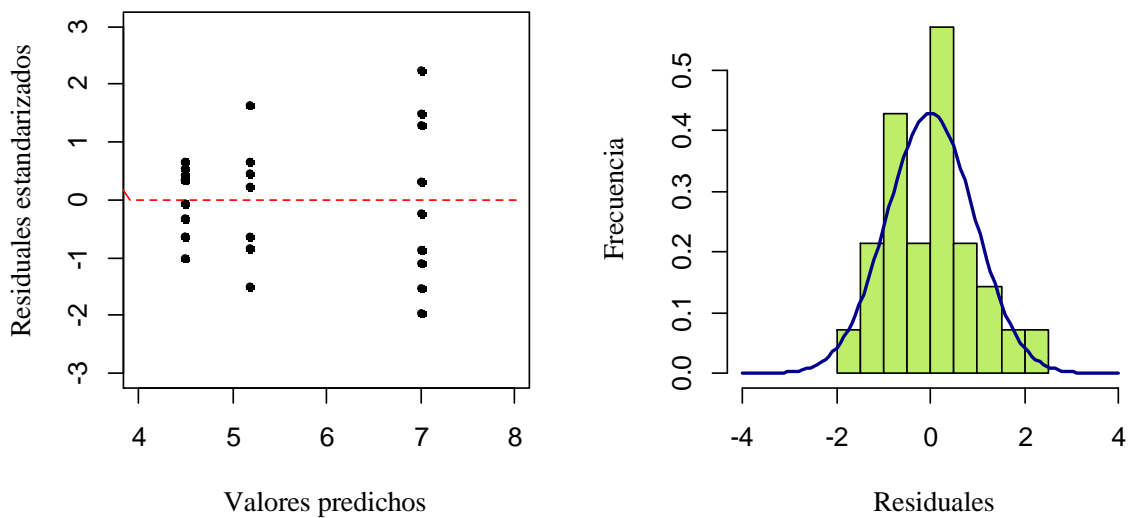


Figura No. 8. Residuales vs. predichos e histograma de residuales correspondientes al análisis de la sección media del árbol

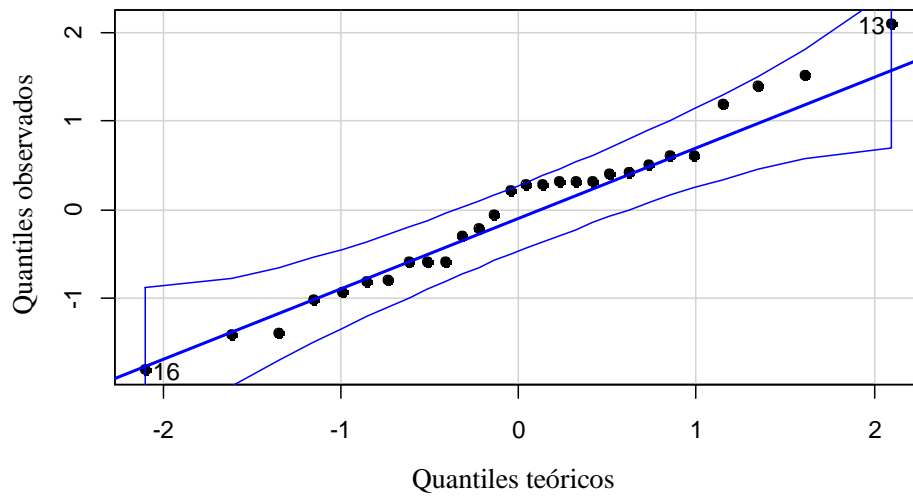


Figura No. 9. Qq-plot correspondiente al análisis de la sección media del árbol

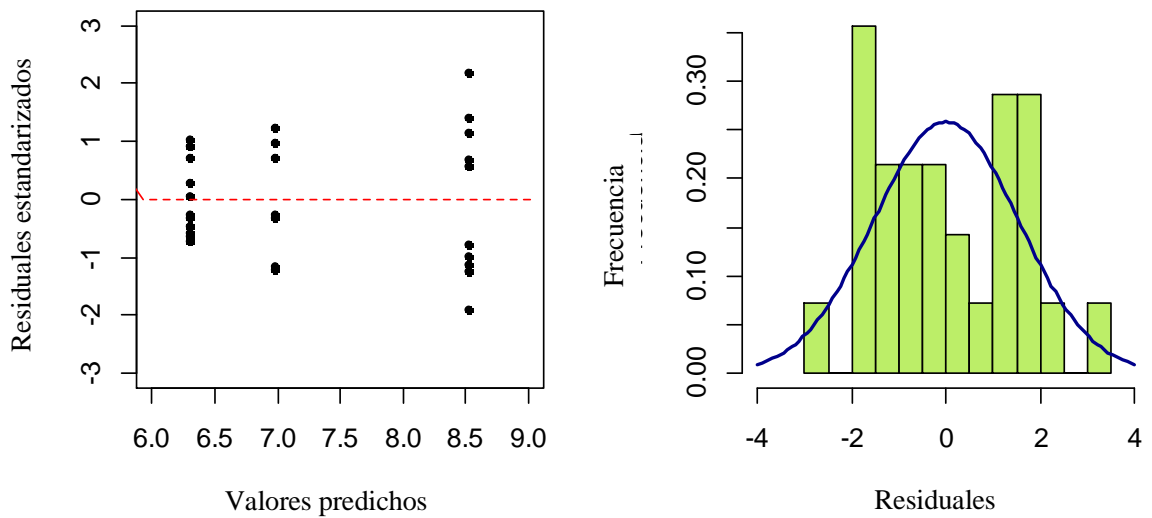


Figura No. 10. Residuales vs. predichos e histograma de residuales correspondientes al análisis del ápice del árbol

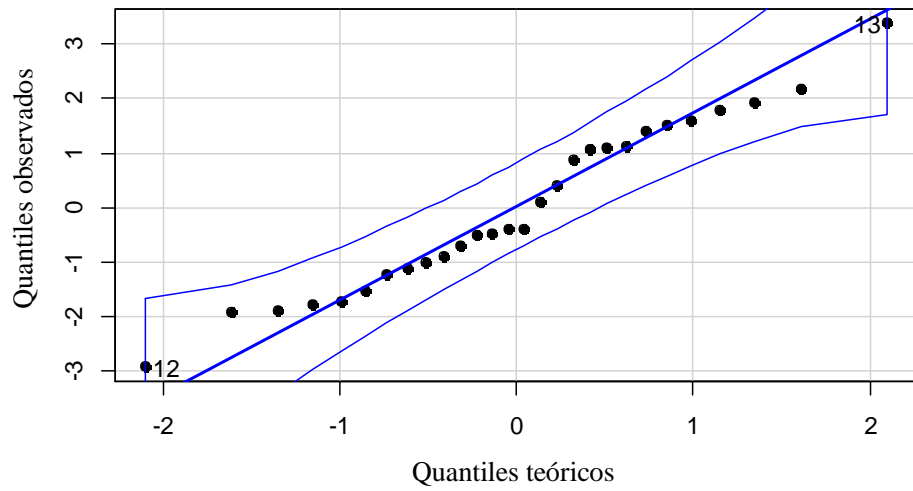


Figura No. 11. Qq-plot correspondiente al análisis del ápice del árbol