

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
Maestría en Ciencias Forestales

**EFFECTO DE LOS ESTADOS DE COMPETENCIA POST-RALEO
EN LOS CARACTERES DE IMPORTANCIA DE LA MADERA
DEL *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden PARA USO SÓLIDO**

FEDERICO JAVIER CANIZA

**Eldorado, Misiones – ARGENTINA
Diciembre 2010**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

**EFFECTO DE LOS ESTADOS DE COMPETENCIA POST-
RALEO EN LOS CARACTERES DE IMPORTANCIA DE LA
MADERA DEL *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden PARA
USO SÓLIDO**

Tesista: Ing. Ftal. Federico Javier CANIZA

Director: M. Sc. Ramón Alejandro FRIEDL¹

Codirector: M. Sc. Jorge Luis APARICIO²

Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como exigencia parcial de la Maestría en Ciencias Forestales, para obtener el Título de “Magister Scientae”

¹ Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Misiones Argentina

² Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Bella Vista, Corrientes Argentina

AGRADECIMIENTOS

A mis orientadores Ramón A. Friedl y Jorge L. Aparicio por el asesoramiento, predisposición y amistad brindada. A Juan A. López quien generó mi interés en el presente trabajo y con quien realizáramos las actividades a campo y las sucesivas discusiones mantenidas sobre la calidad de la madera abordada en esta tesis. Al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria por el apoyo económico para la realización de este postgrado y, que a través del Proyecto Nacional Forestal “Determinación de Grados de Calidad de Rollizos y su Rendimiento en la Transformación Mecánica” se dispusieron todos los recursos necesarios para llevar adelante la presente investigación.

A los investigadores del EMBRAPA instrumental Lucio A. C. Jorge y Silvio Crestana por facilitar y autorizar el uso del Software SIARCS[®] 3.0 “Beta”. A Juan A. Sanchez por la valiosa colaboración en todas las actividades realizadas a campo.

A mis colegas, amigos y compañeros del postgrado, particularmente a Silvia M. Korth y Germán M. Becerro por las atenciones recibidas en mis estadías en Eldorado. A mis colegas del IFD Bella Vista por el afecto y apoyo brindado.

A Fernando Albano por la cortesía y gesto de colaboración, facilitando mediciones y el muestreo de árboles utilizados para la elaboración del presente trabajo. A los miembros del tribunal evaluador de esta tesis: Federico Letourneau y Hugo E. Fassola por sus valiosos aportes para mejorar la comprensión y calidad científica.

A mis padres Aldo E. Caniza y Cristina M. Celauro por el ánimo de progreso que me supieron transmitir. A María E. Culpian por el cariño, comprensión y apoyo en los momentos lejos del hogar y durante el desarrollo de esta tesis. A mis hijos Enzo E. y Fulvio quienes me enseñan todos los días las cosas más dulces de la vida.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	13
RESUMEN.....	14
1. INTRODUCCIÓN.....	16
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	19
2.1. Potencial del Eucalyptus y los Usos de su Madera.....	19
2.2. La Calidad de la Madera para Usos Sólido.....	23
2.3. Principales Factores que Influyen la Calidad de la Madera para Usos Sólido.....	26
2.3.1. Nudos.....	26
2.3.2. Bolsas de quino.....	27
2.3.3. Tensiones de crecimiento.....	28
2.3.4. Forma.....	31
2.3.4.1. Rectitud.....	32
2.3.4.2. Conicidad.....	33
2.4. Herramientas para la Obtención de Madera de Calidad para Usos Sólido.....	36
2.4.1. El manejo forestal.....	36
2.4.2. Las prácticas silviculturales para obtención de madera de calidad para usos sólidos.....	37
2.4.2.1. Espaciamiento inicial y raleo.....	37
2.4.2.2. Condiciones de crecimiento.....	40
3. MATERIALES Y METODOS.....	42
3.1. Localización del Área de Estudio.....	42
3.1.1. Características ecológicas.....	43
3.2. Características del Experimento.....	45
3.2.1. Criterios de selección y características de los estados de competencia.....	47
3.2.2. Inventario en las intensidades de raleo.....	48
3.2.3. Levantamiento de datos en la muestra de árboles y digitalización de imágenes a campo.....	50
3.3. Procesamiento de Imágenes y Obtención de Datos para Evaluaciones Tecnológicas del Fuste.....	51
3.3.1. Obtención de datos y determinación de las tensiones de crecimiento.....	52
3.3.2. Obtención de datos y determinación de la excentricidad de medula.....	53
3.3.3. Obtención de datos y determinación de la relación albura-duramen.....	54

3.4. Parámetros Dendrométricos y Forma del Fuste.....	55
3.4.1. Parámetros dendrométricos de los árboles de inventario.....	55
3.4.1.1. Altura dominante (h_{dom}).....	55
3.4.1.2. Diámetro cuadrático medio (Dg), altura media y volumen total con corteza por hectárea ($m^3 ha^{-1}$).....	56
3.4.2. Parámetros dendrométricos y forma del fuste de los árboles seleccionados.....	57
3.4.2.1. Obtención del volumen de los fustes individuales.....	57
3.4.3. Determinación de la forma del fuste.....	58
3.5. Análisis Estadístico de los Datos.....	59
3.5.1. Evaluaciones de las propiedades tecnológicas del fuste.....	59
3.5.2. Parámetros dendrométricos y forma del fuste.....	62
4. RESULTADOS.....	63
4.1. Análisis de las Propiedades Tecnológicas del Fuste.....	63
4.1.1. Índice de rajado (IR).....	63
4.1.2. Excentricidad de medula (EM).....	73
4.1.3. Relación albura-duramen (RA/D).....	77
4.2. Análisis de los Parámetros Dendrométricos de los Árboles de Inventario.....	89
4.2.1. Altura dominante (h_{dom}).....	89
4.2.2. Diámetro cuadrático medio (Dg) y altura media.....	90
4.2.3. Volumen total con corteza por hectárea ($m^3 ha^{-1}$).....	97
4.3. Análisis de los Parámetros Dendrométricos de los Árboles Seleccionados.....	100
4.3.1. Diámetro medio y altura media.....	100
4.3.2. Volumen individual total con corteza.....	104
4.4. Forma del Fuste.....	105
5. DISCUSION.....	115
5.1. Propiedades Tecnológicas del Fuste.....	115
5.1.1. Índice de rajado (IR).....	115
5.1.2. Excentricidad de medula (EM).....	120
5.1.3. Relación albura-duramen (RA/D).....	122
5.2. Parámetros Dendrométricos y Forma del Fuste.....	126
5.2.1. Características dendrométricas de los árboles de inventario y su producción en los tratamientos.....	126
5.2.2. Características dendrométricas de los árboles seleccionados en los tratamientos.....	130
5.2.3. Forma del fuste.....	131
6. CONCLUSIONES.....	133
7. RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	137
ANEXO I.....	148

LISTA DE TABLAS

	Página
3.1. Características generales e historial de las operaciones silviculturales realizadas en los cuadros 214, 230 y 232 respectivamente.....	46
3.2. Valores medios de Dg, altura total, cantidad de parcelas de inventario y número de árboles por hectárea según las intensidades de raleo (leve, intermedia y alta) de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	49
3.3. Valores medios de DAP y altura total en los árboles seleccionados y número de árboles por hectárea según las intensidades de raleo (leve, intermedia y alta) de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	50
3.4. Valores máximos, mínimos y promedios de las variables de estados de árboles extraído de FASSOLA et al. (2007).....	56
3.5. Esquema del análisis de varianza de los tratamientos seleccionados dentro de un ensayo de raleo en tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	61
4.1. Resultados del análisis de varianza para el IR_{trans}	63
4.2. Contrastes de medias entre intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	65
4.3. Contrastes de medias entre posiciones a distintas alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	66
4.4. Contrastes de medias para las intensidades de raleo según los estados de competencia de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	68
4.5. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.....	69
4.6. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x posición en altura del fuste.....	71
4.7. Resultados del análisis de varianza para la EM_{trans}	73
4.8. Resultados del análisis de varianza para la RA/D_{trans}	77
4.9. Contrastes de media para la RA/D_{trans} entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	79
4.10. Valores de espesor de albura (EA) en cm, secciones de albura (SA) en cm^2 , diámetro del duramen (DD) en cm y secciones	

de duramen (SD) en cm ² según intensidades de raleo discriminados por clon (230, 232 y 214) de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	80
4.11. Contrastes de medias entre posiciones a distintas en alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	81
4.12. Valores de espesor de albura (EA) en cm y diámetro del duramen (DD) en cm en los niveles de alturas de fuste analizados de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	83
4.13. Contrastes de medias de las intensidades de raleo según los estados de competencia de los tres clones de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	84
4.14. Valores de espesor de albura (EA) en cm y diámetro del duramen (DD) en cm, según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	85
4.15. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.....	85
4.16. Valores medios de espesor de albura (EA) en cm, albura (%), diámetro del duramen (DD) en cm y duramen (%) en los niveles de competencia y niveles de raleo de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	151
4.17. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x posición en altura del fuste.....	87
4.18. Resultados del análisis de varianza para la h_{dom} (m) de los árboles de inventario.....	89
4.19. Contrastes para la altura dominante entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	89
4.20. Resultados del análisis de varianza para el Dg de los árboles de inventario.....	91
4.21. Contrastes para el Dg entre los niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	91
4.22. Contrastes de medias del Dg para las intensidades de raleo según los estados de competencia de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	92
4.23. Contrastes de medias del Dg para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.....	94

4.24. Resultados del análisis de varianza para la altura media de los árboles de inventario.....	95
4.25. Contrastes para la altura media entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	96
4.26. Resultados del análisis de varianza para la producción volumétrica ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).....	97
4.27. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.....	98
4.28. Resultados del análisis de varianza para el DAP promedio (cm) de los árboles seleccionados.....	100
4.29. Contrastes para el DAP medio entre los niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad....	101
4.30. Resultados del análisis de varianza para la altura media (m) de los árboles seleccionados.....	102
4.31. Contrastes de medias para la altura total entre los niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	103
4.32. Resultados del análisis de varianza para el volumen individual con corteza (m^3) de los árboles seleccionados.....	104
4.33. Contrastes de medias para el volumen individual entre los niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	105
4.34. Resultados del análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl $K_{0,30}$	106
4.35. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.....	106
4.36. Resultados del análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl $K_{0,50}$	107
4.37. Resultados del análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl $K_{0,70}$	109
4.38. Resultados del análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl $K_{0,90}$	111
4.39. Resultados del análisis de varianza para el factor de forma de Hohenadl $f_{0,10}$	113

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1. Empleo de la madera redonda de <i>E. grandis</i> para distintos usos terminales.....	22
2.2. Usos sólidos de la madera aserrada de <i>E. grandis</i> para la construcción de viviendas, usos verticales para muebles del hogar y distintos tipos de pisos.....	23
2.3. Esquema de los componentes para la producción de madera de calidad, tipos de materia prima y sus características e indicadores de la madera para los usos terminales.....	25
2.4. Representación gráfica de la distribución teórica de las tensiones de crecimiento en sentido longitudinal en árboles de diámetros distintos.....	29
2.5. Distribución de las tensiones de crecimiento en sentido longitudinal a lo largo del radio de un árbol de 60 cm de diámetro, según los modelos de Kubler (1959) y García (1995).....	30
2.6. Condiciones de crecimiento de árboles de <i>Eucalyptus</i> y la formación y distribución de las tensiones de crecimiento.....	41
3.1. Corrientes en la Republica Argentina, distribución de los bosques implantados en la provincia de Corrientes, localidad de Gdor. V. Virasoro y establecimiento "Ciriaco".....	43
3.2. Diseño experimental y parcelas muestreadas.....	47
3.3. Árboles con competencia distribuida uniformemente a su alrededor (CS).....	48
3.4. Árboles con competencia distribuida asimétricamente a su alrededor (CA).....	48
3.5. Cubrimiento de los extremos de los rollos seccionados (432 rollos en total).....	51
3.6. Radios mayor y menor medidos desde la medula a la corteza Rp1 y Rp2, radios medios perpendiculares.....	53
4.1. Índice de rajado transformado promedio de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	64
4.2. Sección transversal con IR medio (0,84(%)) del clon 230 a los 8 años de edad.....	149
4.3. Sección transversal con IR medio (0,72(%)) del clon 232 a los 8 años de edad.....	149

4.4. Sección transversal con IR medio (0,96(%)) del clon 214 a los 8 años de edad.....	150
4.5. Índice de rajado transformado según intensidad de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	65
4.6. Índice de rajado transformado según altura del fuste de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	67
4.7. Índice de rajado transformado según intensidad de raleo en los estados de competencia de los clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	68
4.8. Índice de rajado transformado según estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleos de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	70
4.9. Índice de rajado transformado según posiciones en altura del fuste en las tres intensidades de raleos de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	72
4.10. Excentricidad de medula transformada de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	74
4.11. Valores de EM_{trans} según las intensidades de raleos en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	75
4.12. Valores de EM_{trans} según los estados de competencia en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	76
4.13. Valores de EM_{trans} según altura del fuste de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	76
4.14. Valores de RA/D_{trans} de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	78
4.15. Valores de RA/D_{trans} según las intensidades de raleos de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	79
4.16. Valores de RA/D_{trans} según posiciones en altura del fuste de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	82
4.17. Valores de RA/D_{trans} de los estados de competencia en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	83
4.18. Valores de RA/D_{trans} según los niveles de raleos en los estados de competencia de los clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	84
4.19. Secciones transversales de árboles creciendo en el mismo rodal con CS y CA en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	150

4.20. Valores de RA/D_{trans} según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo a los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	86
4.21. Valores de RA/D_{trans} según posiciones en altura del fuste en las tres intensidades de raleos de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	88
4.22. Altura dominante (m) de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea según las intensidades de raleos en los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	90
4.23. Valores de D_g de los árboles de inventario en las tres intensidades de raleo de los tres clones de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	92
4.24. Valores de D_g de los árboles de inventario en los estados de competencia de los clones de en <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	93
4.25. Valores de D_g según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleos de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	94
4.26. Valores de altura total según las intensidades de raleos en los tres clones de <i>E. grandis</i> a los 8 años de edad.....	96
4.27. Volumen total por hectárea ($m^3 ha^{-1}$) según los estados de competencia en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	98
4.28. Producción volumétrica media según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	99
4.29. DAP medio de los árboles seleccionados según las tres intensidades de raleo en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	101
4.30. Altura total media de los árboles seleccionados según las intensidades de raleo en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	103
4.31. Volumen medio individual con corteza de los árboles seleccionados según la intensidades de raleo en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	105
4.32. Cociente de forma medio $K_{0,30}$ de Hohenadl según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	107

4.33. Cociente de forma medio al 50% de la altura ($K_{0,50}$) de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	108
4.34. Cociente de forma medio al 50% de la altura ($K_{0,50}$) según las tres intensidades de raleos de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	109
4.35. Cociente de forma medio al 70% de la altura de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	110
4.36. Cociente de forma medio al 70% de la altura ($K_{0,70}$) según las tres intensidades de raleos de los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	111
4.37. Cociente de forma medio al 90% de la altura ($K_{0,90}$) de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	112
4.38. Cociente de forma medio al 90% de la altura ($K_{0,90}$) según las intensidades de raleos en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	113
4.39. Factor de forma natural medio ($f_{0,10}$) de los clones 230, 232 y 214 de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	114
4.40. Factor de forma natural medio ($f_{0,10}$) según las tres intensidades de raleos en los tres clones de <i>E. grandis</i> , a los 8 años de edad.....	115

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas Sobre el Medios Ambiente y el Desarrollo
FAO	Food and Agriculture Organization
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
SAGPyA	Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca
CO ₂	Dióxido de Carbono
DAP	Diámetro a la Altura del Pecho
m	Metro
cm	Centímetro
f _{0,1}	Factor de Forma Natural - Hohenadl
S.A.	Sociedad Anónima
msnm	Metros Sobre el Nivel del Mar
pH	Potencial de Hidrógeno
mm	Milímetro
mm año ⁻¹	Milímetro por Año – Precipitación Anual
°C	Grados Centígrados
ha ⁻¹	hectárea
IR	Índice de Rajado
EM	Excentricidad de Medula
RA/D	Relación Albura-Duramen
Ln	Logaritmo Natural
F	Fisher – Test Fisher
GLM	Modelo Lineal Generalizado (General Lineal Model)
IR _{trans}	Indice de Rajado Transformado
EM _{trans}	Excentricidad de Medula Transformada
RA/D _{trans}	Relación Albura-Duramen Transformado
CV	Coeficiente de Variación (%)
árb .ha ⁻¹	Árboles por Hectárea
V ha ⁻¹	Volumen Total por Hectárea
m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹	Metro cúbico por hectárea por año
m ³ .ha ⁻¹	Metro cúbico por hectárea
VIndcc	Volumen Individual con Corteza
h _{dom}	Altura dominante
Dg	Diámetro Cuadrático Medio
h	Altura Total

EFFECTO DE LOS ESTADOS DE COMPETENCIA POST-RALEO EN LOS CARACTERES DE IMPORTANCIA DE LA MADERA DEL *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden PARA USO SÓLIDO

Tesista: Ing. Ftal. Federico Javier CANIZA

Director: M. Sc. Ramón Alejandro FRIEDL

Codirector: M. Sc. Jorge Luis APARICIO

RESUMEN

El silvicultor mediante el raleo genera nuevas condiciones de crecimiento en el rodal, y según la distribución espacial respecto de sus “vecinos” pueden encontrarse: árboles que crecen manteniendo relativa simetría espacial con sus “competidores” más próximos, los que se encuentran distribuidos con cierta uniformidad a su alrededor (CS); y árboles que tienen a sus “competidores” distribuidos asimétricamente a su alrededor, con alguna abertura del monte o “vacío” cercano producto del raleo de algún/os árbol/es adyacente/s (CA). El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos de los estados contrastantes de competencia individuales post-raleo sobre los caracteres de la madera de interés para uso sólido en tres clones de *Eucalyptus grandis* creciendo con distintos espaciamientos iniciales y con tres intensidades de raleos, y estableciendo los siguientes objetivos específicos: i) Evaluar el efecto de los estados contrastantes de competencia: en las tensiones de crecimiento, la excentricidad de médula y la relación albura-duramen a diferentes alturas del fuste y la forma de los fustes. ii) Estudiar el comportamiento de las variables dendrométricas y estimar la producción volumétrica de los tres clones con diferentes espaciamientos iniciales, intensidades de raleos y estados contrastantes de competencia.

Los datos y materiales fueron obtenidos de tres plantaciones clonales de *Eucalyptus grandis*, situadas en el establecimiento “Ciriaco”, Gobernador V. Virasoro, Corrientes. En cada clon (230, 232 y 214) había un ensayo de raleo con tres intensidades finales: 500 árb ha⁻¹ (leve), 350 árb ha⁻¹ (intermedia) y 250 árb ha⁻¹ (alta). En algunas parcelas de raleo se identificaron y muestrearon árboles dominantes y/o codominantes (6 Árboles x 3 Clones x 3 Intensidades de Raleo x 2 Estados de Competencias (CS y CA)). Además se instalaron dos parcelas transitorias para el inventario de las plantaciones.

Los resultados obtenidos demuestran, comparativamente en los tres clones, variaciones importantes en las tensiones de crecimiento, excentricidad de medula y la relación albura-duramen. Dos clones (230 y 214) manifestaron ser poco afectados por las intensidades de raleo estudiadas, mientras que el clon 232 presentó una tendencia significativa a

disminuir las intensidades de las rajaduras con el aumento de la intensidad del raleo. La excentricidad de medula y la relación albura-duramen, en general, presentan una tendencia a aumentar a causa de la combinación de tratamientos que indujeron el rápido crecimiento de los árboles (espaciamiento inicial, intensidad de raleo y estado de competencia). De manera general, los árboles con competencia asimétrica muestran una tendencia a tener mayores tensiones de crecimiento, medula más excéntrica y una mayor relación albura-duramen, en relación a los árboles que crecen con competencia simétrica. Las variaciones significativas de estos caracteres con las alturas del fuste y, la diferencia detectada en el patrón de distribución, la uniformidad y la magnitud de éstos, permiten inferir que a través de la selección de árboles y mediante una correcta ejecución del régimen de raleo adoptado, es posible la adición de valor en la madera, mediante el crecimiento y control ó reducción de las tensiones de crecimiento, la excentricidad de medula y la relación albura-duramen a lo largo del fuste. El Dg se mostro afectado por la cantidad de árboles por hectárea con una tendencia significativa de aumento con la mayor abertura del dosel, al mismo tiempo, los árboles con competencia asimétrica tienden a alcanzar mayores diámetros medios. La altura dominante y la altura media de los árboles inventariados, aunque en menor medida, se mostraron levemente afectadas por la intensidad de raleo. En tanto, la altura total de los árboles seleccionados (dominantes y/o codominantes) no fueron afectadas por las intensidades de raleo. La densidad de plantación influenció significativamente la producción volumétrica de los clones evaluados. Sin embargo, con una geometría espacial 4 x 4 m, es posible alcanzar una mayor proporción de árboles con CS por hectárea, respecto de la geometría 4 x 3 m. El estado de competencia individual no influye en el volumen de madera individual de los árboles ni en la forma del fuste. Siendo, la forma del fuste sólo afectado por el material genético y por las intensidades de raleo.

Palabras claves: *Eucalyptus grandis*, clones, intensidad de raleo, competencia, calidad de madera.

1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la ordenación forestal han sido subrayados por los diversos acuerdos internacionales como la declaración de Río (CNUMAD) y otras Convenciones de las Naciones Unidas, foros y procesos internacionales de las cuales Argentina forma parte, en ellos, se reconoce el papel fundamental de la silvicultura en el logro del desarrollo sostenible y la mitigación de los efectos del cambio climático. Para FAO (2009) (1), la globalización seguirá ocasionando cambios en América Latina y el Caribe, dadas las políticas de industrialización basadas en las exportaciones, la continua demanda mundial de productos agrícolas, ganaderos y forestales y, de forma creciente, de biocombustibles, intensificará la presión sobre los bosques.

En este sentido, y como el resultado de la demanda social, en la Argentina ha sido sancionada y reglamentada la Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos. Este nuevo escenario es potencialmente muy bueno para el bosque y sus principales habitantes (comunidades aborígenes y criollas) y potencialmente limitativo para el desarrollo productivo para otros sectores (BROWN, 2009) (2). Sin embargo, estas restricciones podrían limitar las ofertas (cuali – cuantitativas) de algunas maderas de latifoliadas tradicionales provenientes de bosques nativos con destino al procesamiento mecánico.

Según EVANS (2009) (3), los bosques implantados pueden considerarse un complemento de los bosques nativos, y han cobrado cada vez más importancia para invertir la tendencia a la deforestación, a la pérdida de ecosistemas forestales y a la degradación ambiental. Estos tipos de bosques son sólo el 7% de los recursos forestales mundiales y sin embargo son la principal fuente de productos madereros industriales.

Actualmente los géneros *Eucalyptus* y *Pinus* son los más utilizados para la producción de madera por medio de bosques implantados en la Argentina. Según APARICIO et al. (2005) (4) y MARCÓ y SHIELD (2005)

(5), la región mesopotámica concentra la principal superficie forestada con especies de rápido crecimiento, entre ellas se destaca el *E. grandis* que presenta un gran potencial para el uso sólido y es la latifoliada de mayor expansión debido a la amplia adaptabilidad a diferentes sitios y a las condiciones ecológicas imperantes en la región.

MARCÓ y SHIELD (2005) dan cuenta de otras especies de *Eucalyptus*, como el *E. saligna*; *E. pilularis*; *E. tereticornis*; *E. camaldulensis* y *Corymbia* (ej., *Corymbia maculata* y *Corymbia citriodora*) de excelente calidad de madera que son aptas para usos estructurales, en los que son deseables obtener mayor densidad y mejor color. Por lo expuesto, cualquiera de estas especies puede suplir y/o complementar satisfactoriamente a ciertas especies nativas.

Según PAULO DE AZEVEDO (1993) (6) el bosque es un ecosistema dinámico, cuyos principales atributos como la densidad, la mortalidad, la sobrevivencia, la estructura, la tasa de crecimiento, varían continuamente a medida que los componentes vegetales del sistema se ajustan a los cambios de los factores abióticos. En este sentido, de las decisiones a ser tomadas en una forestación, tal vez escoger el distanciamiento inicial, es una de las más importantes, ya que marcarán las operaciones forestales a posteriori. En lo relativo a la calidad de la madera y fuste SCOLFORO (1998) (7) sostiene que el distanciamiento inicial influye en el tamaño de los nudos, rectitud del tronco, conicidad y densidad básica, según CRECHI et al. (2003) (8), siempre la elección del distanciamiento debe estar relacionado con el destino que tendrá la madera.

Entre los árboles de un bosque existe una permanente competencia a partir del “cierre de copas”, por acceder a una mayor exposición a la luz y a una mayor ocupación del suelo, esta competencia biológica que se da naturalmente y conduce a distintos grados de supresión y muerte de los árboles menos aptos, llevando a una pérdida de productividad (COZZO, 1976 (9) y LISITA et. al., 1997 (10)). Sin embargo, no caben dudas que las prácticas de raleos y podas son condiciones necesarias para producir

madera de calidad y según COZZO (1976) el efecto del control del espaciamiento por parte del hombre es permitir la presencia de un importante nivel de competencia biológica y/o eliminar los severos efectos de ésta (diferentes grados de supresión y muerte), para ello según LISITA et al. (1997), el raleo pre-comercial o reespaciamiento puede ser útil, una vez que permite reducir la competencia y concentrar el crecimiento en individuos de mejor calidad.

El silvicultor, mediante el raleo busca mitigar distintos grados de supresión de los árboles debido a la competencia biológica, concentrando el crecimiento en árboles remanentes de mejor calidad aparente; a la vez que influye en sus tasas de crecimiento, la calidad de la madera y la edad de corte de los mismos. Cuando se conduce la competencia biológica, a través del raleo, se generan nuevas condiciones de crecimiento en el rodal, y según la especie y la distribución espacial individual, respecto de sus “inmediatos” o “vecinos”, puede influir de manera positiva o negativa en la calidad de la madera. Así, después de un raleo se pueden presentar básicamente dos *estados contrastantes de competencia*: árboles que crecen manteniendo relativa simetría espacial con sus “competidores” más próximos, los que se encuentran distribuidos con cierta uniformidad a su alrededor; y árboles que tienen a sus “competidores” distribuidos asimétricamente a su alrededor, con alguna abertura del monte o “vacío” cercano producto del raleo de algún/os árbol/es adyacente/s.

En general, resulta escaso el conocimiento respecto del efecto que producen la competencia simétrica y asimétrica sobre los caracteres de la madera de importancia para usos sólido en el *E. grandis*, así como del manejo de los espaciamientos combinados con intervenciones de raleos para la obtención de madera de calidad. Este vacío de información, respecto de los rendimientos y tecnología de la madera vinculados a los procesos silviculturales fue identificado por el INTA y pretende dar respuestas con fundamentos científicos, a fin de facilitar la planificación forestal y definir las estrategias industriales a largo, mediano y corto plazo, permitiendo las tomas

de decisiones con mayor certidumbre y mejorando la competitividad del sector.

Considerando lo expuesto, este trabajo tiene como objetivo general evaluar los efectos de los estados contrastantes de competencia individuales post-raleo sobre los caracteres de la madera de interés para uso sólido en tres clones de *Eucalyptus grandis* creciendo en distintos espaciamientos iniciales y con tres intensidades de raleo. En este sentido, fueron propuestos los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar el efecto en las tensiones de crecimiento; la excentricidad de medula y la relación albura-duramen a diferentes alturas y la forma de los fustes.
- Estudiar el comportamiento de las variables dendrométricas y estimar la producción volumétrica.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Potencial del Eucalyptus y los Usos de su Madera

El género *Eucalyptus* posee especies de rápido crecimiento que ofrecen ventajas competitivas y versatilidad para el establecimiento de proyectos forestales de alto rendimiento, debido a su adaptación a diferentes ecosistemas; crecimiento y buena forma; posibles cruzamientos para producción maderas con nuevas características (CAMPINHOS (2001) citado por LIMA, 2005) (11).

En la Argentina, las introducciones de eucaliptos empezaron en el siglo XIX. A partir de 1940 comenzaron los planes de forestación y en la década del 70' las forestaciones con eucaliptos alcanzaron un gran impulso, mediante los sistemas de fomento mediante la desgravación impositiva (SANCHEZ ACOSTA, 1995) (12). En la actualidad, la promoción forestal

continúa vigente con Ley 26.432/08 (prórroga y reforma de la Ley 25.080) para bosques cultivados (SAGPyA, 2009) (13).

Entre las latifoliadas, el *Eucalyptus grandis* es la especie de mayor expansión en el país, con una superficie estimada en alrededor de 200.000 ha. La mayoría de las plantaciones se encuentran en la Mesopotamia, en particular en las provincias de Corrientes y Entre Ríos (APARICIO et al. 2005). De acuerdo al último inventario forestal de la provincia de Corrientes realizado por ELIZONDO et al. (2009) (14), existen implantados alrededor de 122.500 ha. de *Eucalyptus sp.*, las que representan un 29,2% respecto del total de superficie de bosques implantados en la provincia.

Según APARICIO y LOPEZ (1995) (15) y APARICIO et al. (2005), el *E. grandis* es la especie con mejor adaptabilidad a las condiciones ecológicas de la Región. Las plantaciones de *E. grandis* se distribuyen en una gama muy variable de suelos: rojos arcillosos lateríticos del norte de Corrientes (Alfisoles y Ultisoles), cordones y planicies arenosas del centro y sudoeste de Corrientes (Alfisoles y Entisoles) y suelos arenosos, franco arenosos y arcillosos de la costa del río Uruguay en las provincias de Entre Ríos y Corrientes (Alfidoles, Molisoles, Entisoles y Vertisoles). En sitios de buena aptitud forestal con una silvicultura adecuada, es la especie de mayor tasa de crecimiento, puede alcanzar a $60 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ de madera. Sin embargo, en sitios limitados o poco aptos y con silvicultura no apropiada, el crecimiento no supera los $15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

Inicialmente las plantaciones de *E. grandis* fueron dedicadas a la producción de madera triturable, para la elaboración de pulpa, de tableros, la elaboración de postes, aplicaciones artesanales y de las exigencias básicas como madera aserrada para cajones y la industria de la construcción (SANCHEZ ACOSTA, 1995; VERA y LAROCCHA, 2004 (16) y MARCÓ y SHIELD, 2005). La evolución del uso del eucalipto y sus posibles causas en los países del cono sur son descritas por SANCHEZ ACOSTA (1998) (17). Asimismo, el eucalipto desde hace varios años está atravesando un desafío que es darle mayor valor a su madera, en este sentido, las plantaciones

actuales con esta especie están dedicadas principalmente a la producción de madera sólida, pretendiendo orientarse hacia los usos más sofisticados (aplicaciones industriales), como molduras y muebles. Las propiedades de la madera así lo permiten. Adicionalmente a los beneficios económicos y sociales que derivan del uso sólido del eucalipto, también genera consecuencias positivas para el medio ambiente, ya que el dióxido de carbono (CO₂) absorbido de la atmósfera, es contenido e inmovilizado en la madera durante la existencia del producto (PONCE, 1995 (18); VERA y LAROCCA, 2004; BRAIER, 2005 (19) y APARICIO et al., 2005).

Respecto a la industrialización de la madera sólida, SANCHEZ ACOSTA (1995) sostiene que *“el procesamiento del eucalipto como madera sólida prácticamente ha avanzado más en los últimos 15 años que en todo el siglo”* y los procesos de la madera sólida pueden ser de tres tipos: madera redonda (rollizos y postes), transformación mecánica (aserrado, debobinado o corte rotativo y faqueado o corte plano y secado) y por último, remanufacturas. El mismo autor asegura que en la Mesopotamia Argentina se procesan una variada gama de productos (de acuerdo a las dimensiones) como madera redonda, por ejemplo: troncos grandes para cabañas, pasando por postes cortos con destinos al cultivo de la vid, cultivos hortícolas y aplicaciones decorativas y llegando su utilidad hasta tutores de casi 3 centímetros de diámetro, ver la Figura 2.1.



Figura 2.1. Empleo de la madera redonda de *E. grandis* para distintos usos terminales.

Fuente: SANCHEZ ACOSTA, 1995.

El aserrado del eucalipto es el destino industrial más importante como producto sólido, tanto por el consumo, como por la generación de fuentes de trabajo. El aserrado se realiza para la obtención de productos (Figura 2.2) como tablas y tirantes largos (más de 3 m de longitud) para losas y entresijos o también para piezas más cortas utilizadas para fabricación de muebles, pisos entablados y parquets, decks, cajonería, pallets, embalajes, etc. (SAGPyA, 2009; WEST, 2006 (20) y SANCHEZ ACOSTA, 1995). Los mercados mundiales de la madera industrial se están convirtiendo cada vez más hacia la discriminación de la calidad de la madera que compran (WEST, 2006). En este sentido, cabe destacar la regla de tipificación desarrollada por SHIELD y MASTRANDREA (2007) (21) para madera aserrada para usos sólido y secadas en horno de *E. grandis* en la Mesopotamia Argentina, esta regla reconoce cuatro grados de calidad (Premium, Select, Standard y Utility), con la clasificación basada en la tipificación de la mejor o mejores caras y cantos según el destino de la tabla, admitiendo como longitud mínima 1,20 m de una tabla recortada y con incrementos de a 30 cm de longitud.



Figura 2.2. Usos sólidos de la madera aserrada de *E. grandis* para la construcción de viviendas, usos verticales en muebles del hogar y distintos tipos de pisos.

2.2. La Calidad de la Madera para Usos Sólido

Según LOPEZ (2005) (22), es importante tener en claro qué significa producir madera de calidad y cuáles son las propiedades de mayor importancia, de manera de identificar los principales componentes de la producción de madera de calidad. Así, COUTO (1995) (23) define como árboles de mejor calidad a los de mayores dimensiones, aumentando el rendimiento en los aserraderos y también sus propiedades físicas y mecánicas, además de presentar una reducción en sus defectos. Según ZOBEL (1989) citado por ROSSO y NININ (1998) (24) la calidad de la madera es muy sensible tanto a la manipulación de la silvicultura como a la genética.

Según JORGE y PEREIRA (1998) citado por LIMA (2005) y CHIES (2005) (25) la calidad de la madera es el conjunto de características físicas, mecánicas, químicas y anatómicas que confieren la aptitud a la madera para determinado uso final. Y solamente con el conocimiento de las

características y de la variabilidad de la madera es posible la elaboración de clases de calidad de utilización confiable.

La formación de la madera es un proceso biológico que ocurre dentro del árbol vivo y la calidad de la madera es una evaluación arbitraria de una pieza aislada de madera, de una parte del árbol o de un derivado de madera. Consecuentemente, la calidad de la madera solamente puede ser alterada a través del proceso de formación de esa madera. Hasta cierto punto se puede modificar, controlar, minimizar o mejorar los factores relacionados a la calidad de la madera, a través de tratamientos silviculturales y por selección y mejoramiento genético (ZOBEL, 1981) (26).

Para LOPEZ (2005) los componentes del rendimiento considerados “primarios” (tasa de crecimiento, calidad de fuste y de los rollizos) tienen una relación horizontal con los componentes de la calidad de la madera. Por ello, la tasa de crecimiento, la calidad del fuste y de los rollizos no pueden ser tratados de manera independiente a la calidad de la madera, ya que se encuentran estrechamente ligados a las propiedades intrínsecas del leño y fundamentalmente al objetivo de producción: fibra (madera pulpable) o usos sólidos (madera aserrable y/o madera laminable). Por lo tanto, según CORONEL (1994) (27) y LOPEZ (2005) la producción de madera de calidad para usos sólidos, involucra tasa de crecimiento y calidad del fuste y de los rollizos. Su transformación (artesanal o tecnológicamente) se efectúa teniendo en cuenta las características o propiedades internas de la madera, base principal para obtener productos de calidad, funcionalidad y belleza (apariencia) que requiere el mercado, permitiendo al mismo tiempo un óptimo aprovechamiento y productos terminales con elevado valor agregado.

En la Figura 2.3 se pueden advertir las aplicaciones artesanales e industriales de la madera, los tipos de materia prima utilizadas y las características o propiedades de la madera necesarias para los usos sólidos descritos en los usos terminales.

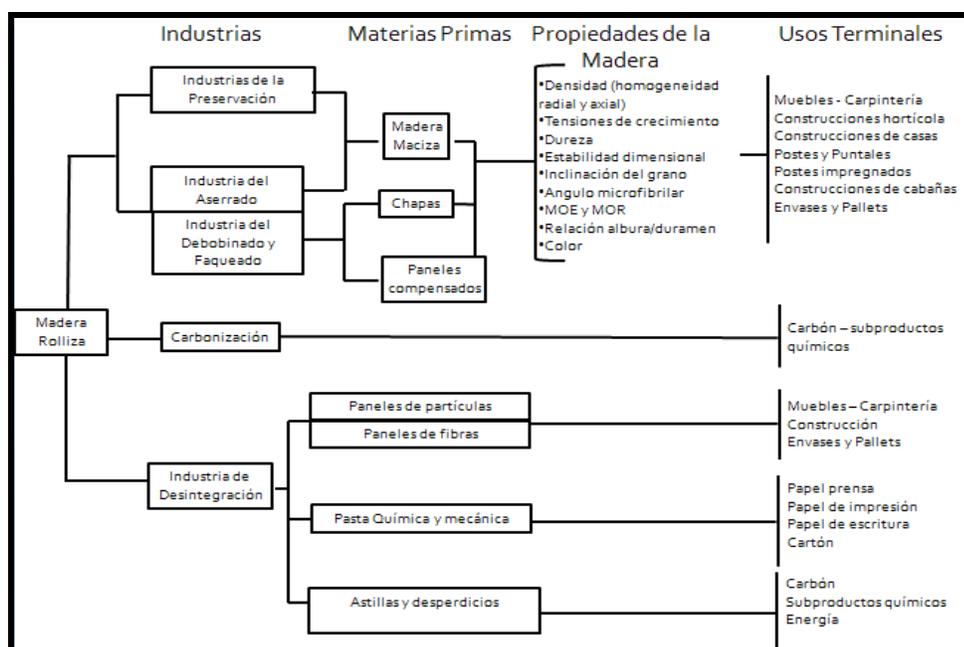


Figura 2.3. Esquema de los componentes para la producción de madera de calidad, tipos de materias primas utilizadas y sus características e indicadores de la madera para los usos terminales. Adaptado de CORONEL, 1994.

Para MAESTRI (2005) (28), hay tres requisitos que deben ser correctamente administrados para lograr un emprendimiento forestal de eucalipto, buscando productos sólidos: a) *Calidad de madera*: donde las características de densidad, estabilidad dimensional y coloración son de relevante importancia. Por otro lado, las tensiones internas de crecimiento interfieren en el aprovechamiento en función de las rajaduras de los extremos y fendas en rollos influenciando su debobinado y el proceso de secado; b) *Material genético superior*: programas de mejoramiento genético con énfasis en propagación clonal pueden ofrecer nuevas perspectivas para la reducción de las tensiones de crecimiento, o bien como, proporcionar crecimiento superiores en volumen, mayor densidad de la madera y otras características de interés; c) *Manejo de los rodales*: bien aplicados posibilitan optimizar la adición de valor en la madera, mediante crecimiento, calidad y reducción de las tensiones de crecimiento.

Según GONÇALVES (2006) (29), es importante en la producción de madera de calidad, la cuantificación del duramen y la albura, ya que las

mayores proporciones de duramen, por ejemplo, dificultan el proceso de la extracción química, debido a sus características anatómicas, siendo preferente para la utilización en productos aserrados. Una mayor proporción de albura es más indicada, cuando se pretende realizar el tratamiento preservativo en madera rolliza. Por otro lado, en industrias de madera sólida para mueblería, por ejemplo, es conveniente madera con mayor proporción de duramen.

2.3. Principales Factores que Influyen en la Calidad de la Madera para Usos Sólidos

Considerando que la madera es un material orgánico, se puede afirmar que esta al ser aserrada, es susceptible de presentar una gama de defectos que pueden deberse a las condiciones naturales de crecimiento del árbol, a los procesos de aserrado o secado, al ataque de agentes biológicos y a los originados por su mala preservación o transporte. Cualquier irregularidad o imperfección que afecte las propiedades físicas, mecánicas y químicas de una pieza de madera, es considerado como un defecto. Estos pueden reducir el volumen utilizable de la madera, su durabilidad, la resistencia o el valor estético (CHAN et al., 2002) (30). Por su parte, MENDONÇA (2006) (31) afirma que son considerados defectos, las anomalías y también las estructuras normales que puedan desvalorizar, perjudicar, limitar o impedir el aprovechamiento de la madera. Entre los principales factores que influyen en las características dendrométricas de los fustes, la calidad de la madera y su aprovechamiento en el aserrado, se pueden citar a los nudos, bolsas de quino, tensiones de crecimiento y la forma: rectitud y conicidad.

2.3.1. Nudos

El nudo es la base de una rama que está conectada en el tronco de un árbol o en otra rama de mayor orden (PONCE, 1995). Los nudos pueden ser clasificados, conforme el estado en que se encuentran: nudos muertos, que no forman continuidad estructural en los tejidos leñosos y que, dependiendo de la posición de la pieza, comprometen la calidad de la

madera producida; nudos vivos, aquellos presentan crecimiento “saludable”, manteniendo perfecta continuidad de los tejidos leñosos, y dependiendo de las dimensiones, podrían descalificar en mayor o menor medida la madera aserrada (PONCE, 1995; GROSSER, 1979 citado por MENDONÇA, 2006).

En *E. grandis* por lo general, el tamaño y la cantidad de nudos varían con la altura del fuste (PONCE, 1995). Las ramas después que finalizan su actividad fisiológica, raramente caen. El desrame mediante poda torna posible evitar la formación de nudos muertos, reducir el diámetro del cilindro defectuoso y disminuir las condiciones que favorecen el adelgazamiento del fuste (SCHILLING et al., 1998) (32).

En algunas especies como el *E. grandis*, los nudos están relacionados con las exudaciones resinosas en varias fases, en árboles y también durante el secado de las piezas aserradas. Las plantaciones destinadas a la producción de madera sólida deben ser sometidas a podas sucesivas a partir del momento que las ramas inferiores comienzan a morir hasta la altura deseada (PONCE, 1995). La poda permite la obtención de madera de alta calidad, libre de nudos, que puede ser utilizada para fines de mueblería, madera de vista y laminado, produciendo piezas que se destacan por la belleza estética y por la mayor resistencia mecánica. Estas características permiten que esta madera alcance un mayor valor en el mercado (SEITZ, 1995) (33).

2.3.2. Bolsas de quino

Para NUTTO et al. (2009) (34), el “quino”, “*eucalyptus gum*” o “*red gum*”, es una sustancia producida por muchas especies del género *Eucalyptus* como mecanismo de defensa frente a las heridas provocadas por ataques de insectos, hongos xilófagos, incendios forestales, etc. Se trata de una sustancia gomosa, de color marrón-rojizo, con propiedades antisépticas y antioxidantes. Su composición química es compleja y agrupa un variado rango de elementos entre los que destacan los componentes polifenólicos.

Las bolsas de quino son formaciones anormales de la madera, generalmente una discontinuidad en el leño formando sectores anulares de longitud y formas variadas. La forma más frecuente es la anular de 2 a 3 mm de ancho. Estas están llenas de un tipo de resina oscura la cual exuda. Son uno de los defectos más frecuentes mencionados como causales de la desvalorización de la madera de eucalipto en Australia (HILLIS, 1978 citado por PONCE, 1995; SHIELD y MASTRANDREA, 2007). Cuando estas discontinuidades son grandes, pueden comprometer el uso estructural de una pieza (CHAN et al., 2002).

En la regla de tipificación confeccionada para la madera de *E. grandis* en la Mesopotamia Argentina, SHIELD y MASTRANDREA (2007) definen claramente a la lacra, venas de quino flojas, venas de quino firmes y las bolsas de quino, todos como defectos asociados a la respuesta natural de protección a una lesión. En Australia, la causa más común es el fuego. En la región mesopotámica los daños mecánicos o por insectos son la causa más probable.

2.3.3. Tensiones de crecimiento

Durante el procesamiento de la madera sólida del eucalipto ocurren principalmente rajaduras y torceduras que causan reducciones en los rendimientos de la madera aserrada. Esos defectos son originados por los altos niveles de tensiones de crecimiento (MALAN, 1995 (35), WAUGH, 1998 (36) y LIMA, 2005), por su parte PONCE (1995), sostiene que éstas son generadas por la propia naturaleza de la madera pero no son exclusivas de los eucaliptos.

Las tensiones de crecimiento existen en la madera y son definidas como fuerzas que se desarrollan en el interior de los troncos en árboles vivos (DINWOODIE, 1966) (37). Por su parte, GARCIA (1995) (38) sostiene que las tensiones de crecimiento son un mecanismo de las frondosas para permanecer rectas a pesar de la gran esbeltez de muchas de ellas. Según

FERRAND (1983) (39) y LISBOA (1993) citado por LIMA (2005) estas tensiones están en equilibrio y son benéficas cuando el árbol está vivo, pero, inmediatamente después del apeo empiezan a ocurrir las deformaciones y rajaduras en las caras de los rollos, debido a la modificación del estado de equilibrio que vigorizaba durante el crecimiento.

Según WILKINS (1986) citado por LIMA (2005), existen varias hipótesis para explicar el origen de las tensiones de crecimiento, sin embargo, sólo dos tuvieron amplia aceptación. La explicación de Watanabe, 1965 y Boyd 1972, tienen que ver con deposición de lignina en la fase de diferenciación celular que resulta en un hinchamiento de la pared celular. La segunda explicación, según KUBLER (1987) (40), se trata del encortamiento de las células periféricas, resultante de la contracción de los cristales de celulosa de las microfibrillas de la cámara S_2 . Las tensiones de crecimiento según KUBLER (1987) y OKUYAMA (1997) citado por LÓPEZ y PARISI (2002) (41) ocurren en direcciones longitudinales, tangenciales y radiales. Las tensiones radiales aparecen en reacción a las tangenciales y las tensiones longitudinales son debidas al encortamiento de las fibras periféricas del árbol (tracción) y alargamiento de las fibras en dirección a la medula (compresión) (Figura 2.4). Estas fuerzas están naturalmente en equilibrio, cuando este equilibrio se rompe las tensiones se liberan (BOYD, 1950 citado por LIMA, 2005; DINWOODIE, 1966 y KUBLER, 1987).

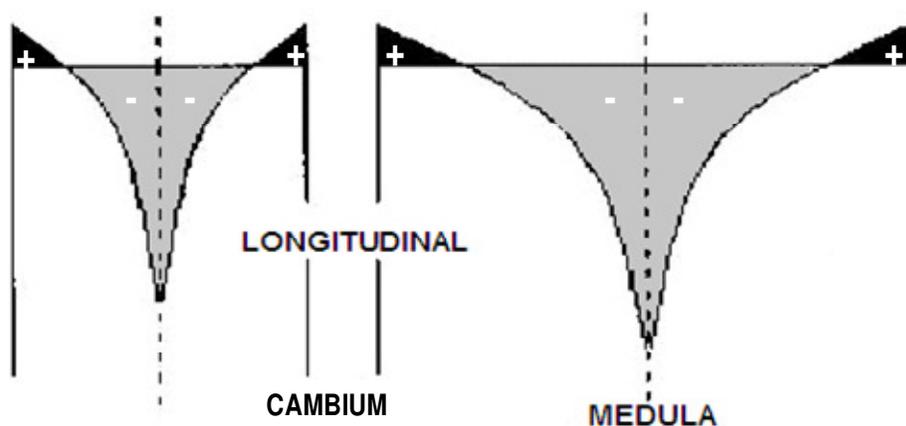


Figura 2.4. Representación gráfica de la distribución teórica de las tensiones de crecimiento en sentido longitudinal (negro= tracción y gris= compresión), en árboles de diámetro diferentes.

Fuente: KUBLER (1987)

Se advierte en la Figura 2.4 un menor gradiente de tensión en los árboles de mayor diámetro, esto también es sostenido por SHIELD (1995).

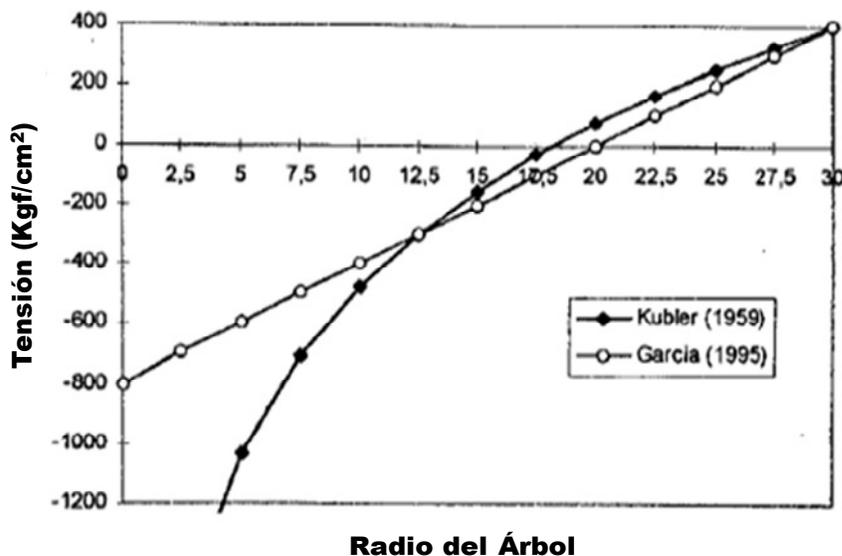


Figura 2.5. Distribuciones de tensiones de crecimiento en sentido longitudinal a lo largo del radio de un árbol de 60 cm de diámetro, según los modelos de KUBLER (1959) y GARCIA (1995).

Fuente: GARCIA (1995)

Después del apeo y seccionamiento en rollos de los árboles, la región próxima a la corteza tiende a contraerse longitudinalmente, en tanto, la región central del rollo sometida a compresión tiende a expandirse. De esta manera el reordenamiento origina, en primera instancia rajaduras en las caras de los rollos y posteriormente, rajaduras, alabeos y torceduras en piezas aserradas (GARCIA, 1995; SCHAITZA y PEREIRA, 1997 (42); DEL MENEZZI et al. 1998 (43); PONCE, 1995 y TOUZA, 2001 (44)). En este sentido, SCHACHT y GARCIA (1997) (45) y DOS SANTOS (2002) (46) sostienen que las rajaduras en las caras de los rollos se encuentran fuertemente correlacionadas con las rajaduras ocurridas en tablas y manifiestan moderados a altos valores de heredabilidad.

Según NICHOLSON (1973) (47) altos niveles de tensiones de crecimiento reducen la producción por los siguientes motivos: 1) rajaduras

en los extremos de los rollos, para obtener productos derivados de estos, primeros necesitan ser saneados; 2) deformaciones de rollos y tablas durante el aserrado, las cuales necesitan ser re aserradas para la obtención del producto comerciable; 3) corazón quebradizo debido a la excesiva compresión que lleva a la madera a su ruptura por exceder su resistencia intrínseca.

PONCE (1995), sostiene que las rajaduras por tensiones de crecimiento en los eucaliptos son evidentes, y que las tendencias al rajado varían de acuerdo a la especie (GERARD, 1994 citado por LÓPEZ y PARISI 2002) y también entre árboles o entre clones de una misma especie o híbridos (MALAN, 1993 (48); MALAN y VERRY, 1996 (49)). Por su parte, TRUGILHO et al. (2003) citado por LIMA (2005), en *E. urophylla* encontraron más acentuadas las deformaciones residuales longitudinales en tablas provenientes de la parte más externa del rollo, indicando la influencia del gradiente de tensión (Figura 2.4 y 2.5).

Las rajaduras provenientes de las tensiones de crecimiento, por lo general, se inician inmediatamente después del apeo o seccionamiento de los rollos y llegan a su máximo después de un período de tres días (72 horas). Las rajaduras pueden seguir aumentando con el transcurso de las horas, aunque influenciadas por otro tipo de tensiones (por ej., colapso por secado). También pueden aparecer rajaduras adicionales y encurvamiento al momento del procesado mecánico, debido principalmente a las tensiones residuales a lo largo del rollo (HILLIS & BROWN, 1984 citado por LIMA, 2005, SCHACHT y GARCIA, 1997 y MALAN, 1979 (50)).

2.3.4. Forma

De acuerdo con LARSON (1963) (51), MUHAIRWE (1993) (52), SCHNEIDER (1993) (53), PRODAN et al. (1997) (54) y SCOLFORO y FILHO (1998) (55) los factores que pueden afectar la forma de los fustes son: la especie, los tratamientos silviculturales, la intensidad del viento que hay sobre las copas de los árboles, tamaño de copa, la edad, dependencia

relativa a otros árboles vecinos, la posición sociológica, estrategia de crecimiento, la heredabilidad y el sitio.

Según FERREIRA (1999) (56), el conocimiento del comportamiento de la forma del fuste se torna cada día más útil, ya que, además de afectar al volumen total, la forma del fuste influencia también en la calidad y cantidad de los diversos productos extraídos de un árbol. En este sentido, MASTRANDREA (2008) (57) sugiere que el tamaño y la forma (representada por la rectitud (flecha) y la conicidad) son los caracteres más importantes en el rendimiento de conversión del rollo a madera. También tienen incidencias la ovalidad y la conicidad de los rollos, el mismo autor cita a JAMES (2001), quien considera que los rollos de mayor calidad deben ser rectos, con gran diámetro, pequeñas ramas y libres de defectos tal como podredumbres, daños por insectos, defectos internos, daños por apeo y aserrado. Según CALOGERO y ZAKOWICZ (1996) citado por MASTRANDREA (2008), la diferencia de rendimiento que presentan árboles de un mismo rango diamétrico se debe, por una parte, a la dispar conicidad de las trozas, al criterio adoptado por el operario y finalmente a las escuadrías a obtener. La presencia de defectos en el rollo (rajaduras, curvaturas, nudos) disminuyen el rendimiento, al aumentar las pérdidas por despunte y canteado.

2.3.4.1. Rectitud

Según SCHNEIDER (1993), el tronco de las latifoliadas posee una tendencia a inclinarse y doblarse cuando el espaciamiento es amplio e irregular, siendo de esta manera, que el control del espaciamiento tiene un efecto particularmente favorable sobre la inclinación. Las desviaciones de la línea recta tales como inclinaciones, deformaciones, combas y torceduras, disminuyen el valor y el volumen de la parte comercialmente útil del tronco y pueden aumentar los costos de elaboración y transporte (EHRENBERG, 1998) (58).

La rectitud del fuste en general, es considerada una característica deseable, cualquiera sea el propósito perseguido. De acuerdo con

EHRENBERG (1998), la rectitud del fuste es esencial para la formación de madera de buena calidad. Las deformaciones, combas y torceduras provocan el desarrollo de madera de compresión y de fibra irregular. La proporción de madera de compresión intensa es grande en los arboles de deformaciones y combas acentuadas. A medida que aumenta la intensidad de la madera de compresión, disminuyen la longitud de la traqueida y de la gravedad específica, causando pérdidas considerables en el volumen y el valor del tronco.

2.3.4.2. Conicidad

La uniformidad del crecimiento y la buena forma del fuste, expresadas por la relación entre el diámetro del tronco a la altura del pecho y la altura total, son características deseables en relación con la producción de volumen y las propiedades de la madera, como la gema¹ y la fibra en espiral (EHRENBERG, 1998).

Según BORGES (1981) citado por BORSOI (2004) (59) la forma del fuste del árbol, genéricamente, es la expresión exterior, que, en rigor no se identifica con la forma de un sólido geométrico específico, sino con varias formas, según la posición en el fuste. La forma del fuste puede ser asociada al término “ahusamiento”, que representa la reducción del diámetro con el aumento de la altura. Esa tendencia natural, que ocurre en la mayoría de las especies, puede ser expresada por una función matemática que describa esa variación. El ahusamiento del fuste ha sido definido como la disminución del diámetro desde la base hasta el ápice. La conicidad o ahusamiento de una troza o rollo puede ser expresada fácilmente por la siguiente ecuación:

$$C = \frac{D - d}{L}$$

Donde:

¹ Es un defecto característico del aserrado, por el que la pieza de madera aserrada presenta en alguna de sus aristas rastros de corteza. La aparición de gemas suele ser frecuente en árboles curvados, en donde el aserrador no puede ajustar el corte en dirección de la fibra a la forma del árbol (VIGNOTE PEÑA y MARTINEZ ROJAS, 2005).

C: conicidad de la troza o rollo (cm m^{-1}); D: diámetro de la extremidad más gruesa (cm); d: diámetro de la extremidad más delgada (cm); L: longitud del rollo (m).

En la práctica, la conicidad es considerada defecto cuando a partir del segundo metro, medido hasta la copa, es mayor a 1 cm m^{-1} (VALE et al., 2002) (60).

Según PRODAN et al. (1997) y CALLIEZ (1980) (61) no se puede medir la forma de un árbol o una parte de este como se hace con el diámetro o la altura, sino que sólo se pueden establecer parámetros o índices que la representan. Durante mucho tiempo, HUSCH et al. (1982) (62) y JORGE (1982) citado por FERREIRA (1999), los investigadores forestales, específicamente del área de la biometría y mensura, concentraron sus esfuerzos en encontrar la forma del tronco a través de expresiones independientes del diámetro y la altura, sin poder encontrarlas. Según PRODAN et al. (1997) y SCOLFORO et al. (1998) (63), la captación de la forma se ha podido medir a través de la medición de diámetros a distintas alturas, y son expresiones como factores de forma, cocientes de forma, series de forma y tablas o funciones de forma, las que se utilizan para definirla. Otras denominaciones son factores y cocientes mórficos, y series y funciones de conicidad. Estas últimas son denominadas modelos fustales, ya que representan el perfil del fuste (PRODAN et al., 1997).

Entre los métodos existentes para expresar la forma del fuste, los cocientes y factores de forma se caracterizan por la simplicidad y facilidad de aplicación (MOURA, 1994 citado por FERREIRA, 1999). El cociente de forma, según PRODAN et al. (1997), se define como la razón entre un diámetro superior y un diámetro de referencia, que normalmente es el DAP. En tanto, el factor de forma es la razón entre volúmenes (volumen real del árbol y el volumen de un cilindro). Este mismo autor sostiene que las series de forma se basan en divisiones relativas o absolutas del fuste y este método permite describir la variación del diámetro a lo largo del fuste.

Hohenadl (1936) citado por PRODAN et al. (1997), define la serie de formar real o verdadera basándose en cinco secciones, para cada una de las cuales calcula el correspondiente cociente de forma real dado por simples relaciones, refiriéndolas todas al diámetro central de la primera sección a un décimo de la altura o a nueve décimos desde la punta del árbol, $d_{0,1}$.

$$k_{0,1} = \frac{d_{0,1}}{d_{0,1}} = 1; \quad k_{0,3} = \frac{d_{0,3}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,5} = \frac{d_{0,5}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,7} = \frac{d_{0,7}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,9} = \frac{d_{0,9}}{d_{0,1}}$$

Donde:

$d_{0,1}$: diámetro al 10% de la altura total; $d_{0,3}$: diámetro al 30% de la altura total; $d_{0,5}$: diámetro al 50% de la altura total; $d_{0,7}$: diámetro al 70% de la altura total; $d_{0,9}$: diámetro al 90% de la altura total; $k_{0,1}$, $k_{0,3}$, $k_{0,5}$, $k_{0,7}$, $k_{0,9}$: serie de ahusamiento verdadero o de Hohenadl.

Según PRODAN et al. (1997) una alternativa de la serie real son las series de forma falsa o artificial, constituidas por cocientes de forma cuyo diámetro de referencia es el DAP. El fuste es dividido en secciones absolutas de igual o distintos largos y los cocientes se calculan mediante la razón del diámetro central de la sección y el DAP. Sin embargo, para comparar varios fustes es conveniente expresar los diámetros en valores relativos, aunque SCOLFRO y FILHO (1998) identifican como desventajas la medición de la altura, así como la medición de los diámetros a diferentes alturas.

Según PRODAN et al. (1997), al igual que las series de forma, el factor de forma podría ser real (verdadero o natural) o artificial (falso), dependiendo de la altura en que fuera medido el diámetro del cilindro de referencia. Así, si el diámetro del cilindro de referencia fuera medido al 10% de la altura total del árbol el factor de forma es denominado natural o verdadero y, en el caso en que sea medido a una altura absoluta (generalmente a 1,30 m sobre el nivel del suelo), el factor de forma será denominado falso o artificial. El factor de forma real o verdadero ($f_{0,1}$) depende de cada serie de ahusamiento y puede ser visto no sólo como un

factor de reducción del cilindro, sino también, como un indicador de la forma fustal y puede obtenerse a partir de la serie de Hohenadl.

$$f_{0,1} = 0,2 * \left(1 + k_{0,3}^2 + k_{0,5}^2 + k_{0,7}^2 + k_{0,9}^2 \right)$$

Por medio de este factor de forma, árboles de diferentes tamaños, pero con forma similares pueden ser comparados, ya que los diámetros de las series son medidos a una misma distancia relativa vinculada a un diámetro situado a la misma altura relativa (FRIEDL, 1989) (64).

2.4. Herramientas para la Obtención de Madera de Calidad para Usos Sólido

2.4.1. El manejo forestal

La función básica del manejo forestal es conducir el recurso forestal a los objetivos de una organización. Antes de cualquier decisión técnica/operacional, debe estar el posicionamiento estratégico, dado por la alta gerencia, normalmente traducido en la misión y visión del negocio. Una vez definidas las directrices estratégicas, el manejo forestal utiliza los recursos disponibles para alcanzar tales objetivos (SCOLFORO, 1998). El mismo autor asegura que la obtención de diversos productos (rollos) a lo largo de la vida de una plantación depende de una serie de operaciones realizadas en el monte, como por ejemplo:

- Selección de la especie / procedencia para el sitio
- Espaciamiento inicial
- Tratamiento silvicultural (selección de plantas, plantación, fertilización, mantenimiento, etc.)
- Raleos
- Podas

Según LIMA (2005) en el manejo forestal interesa saber hasta qué punto se puede controlar la calidad de la madera. Para eso es necesario cierto conocimiento de las propiedades que determinan la calidad de la madera y hasta qué punto las mismas son influenciadas por las

características y por las modificaciones del ambiente (espaciamiento, proporción de copa viva y la tasa de crecimiento).

2.4.2. Las prácticas silviculturales para obtención de madera de calidad para usos sólidos

GONÇALVES et al. (2004) (65) revisaron los efectos de los tratamientos silviculturales (fertilización, espaciamiento, control de malezas y raleos) sobre la productividad y la calidad de la madera en plantaciones de eucaliptos y sostienen que no hay una única regla en cuanto a los diferentes tratamientos silviculturales que afectan a la densidad de la madera, por ejemplo, pero que los factores ambientales, como disponibilidad de luz, de agua y temperatura, causan efectos más significativos en la formación de la madera.

2.4.2.1. Espaciamiento inicial y raleo

Para COZZO (1976) el efecto del control del espaciamiento por parte del hombre es permitir la presencia de un importante nivel de competencia biológica y eliminar los severos efectos de ésta (diferentes grados de supresión y muerte). Según CHIES (2005), la adopción del espaciamiento tiene como principal objetivo proporcionar a cada árbol el espacio suficiente para obtener el crecimiento máximo con mejor calidad y menor costo. Durante la fase inicial de crecimiento, la demanda de una planta es, principalmente, por humedad, calor y nutrientes. Si estos elementos están presentes en cantidad adecuada, cualquier sitio es capaz de soportar el crecimiento inicial de una población, aún con alta densidad. Mientras que, después de algunos años de crecimiento, hay un aumento en la demanda y los árboles entran en competición por agua, nutrientes, luz y por el espacio para crecimiento de la copa y del sistema radicular.

LÓPEZ y APARICIO (1995) (66) y SANQUETTA et al. (1998) (67), evaluaron el efecto del espaciamiento en *E. grandis* y *E. saligna*, concluyendo que de acuerdo con el uso final de la madera se debe optar por el espaciamiento más adecuado, ya que el mismo en asociación con la edad

ejerce influencia directa sobre el diámetro medio y en menor magnitud sobre la altura media, ejerciendo la edad y la especie influencias simultáneas también.

De acuerdo con SCOLFORO (1998), uno de los puntos del planeamiento de la plantación de un bosque es la definición del espaciamiento inicial. En lo relativo a la calidad de la madera, el espaciamiento influye en los siguientes aspectos: tamaño de los nudos, rectitud del tronco, conicidad y densidad básica. El tamaño y la cantidad de los nudos en la madera aserrada dependen de su posición en la troza y de las características de la troza que, a su vez, dependen de factores genéticos, del espaciamiento de la plantación y del manejo a la que fue sometida.

Según SCOLFORO y FILHO (1998) y LIMA (2005) los factores que pueden afectar la forma de los fustes y las características de la madera son: la especie, los tratamientos silviculturales (espaciamiento, fertilización, raleo y poda), la edad, posición sociológica, la heredabilidad, el sitio cosecha, conservación y métodos adecuados de procesamiento. EVERT (1973) citado por MELLO et al. (1976) (68) señala que hay una relación entre el espaciamiento inicial y las variables características de los árboles, tales como calidad de la madera, factor de forma, sobrevivencia, área basal, etc.

Para ZOBEL (1992) (69) la adopción de un espaciamiento mayor en la plantación evita cambios abruptos en las condiciones de luminosidad, humedad y competencia entre árboles, evitando alteraciones súbitas en la calidad de la madera. Por su parte, DANIEL et al. (1982) (70), SCOLFORO (1998) y COUTO et al. (1977) citado por LIMA (2005) sostienen que los árboles plantados en espaciamientos más amplios normalmente crecen más rápidamente que aquellos plantados en espaciamientos más estrechos. Así, en determinada edad, tendrán mayor tendencia a la inclinación debido a la acción de los vientos, mayor conicidad, mayor tortuosidad, ramas más gruesas y copas más extensas que los árboles de plantaciones más densas. También existe la posibilidad de que en esos árboles se favorezca la formación de mayor proporción de leño de reacción. Para MAESTRI (2005),

un mayor espaciamiento disponible para la expansión de las copas, es verificado en la forma de los fustes, de esta manera, mayores pesos de las copas y del leño, requieren una estructura física adecuada para compensar los esfuerzos a la que el árbol es sometido.

Según ROSSO y NININ (1998), LIMA et al. (2009) (71) en *Tectona grandis*; MORAIS y PEREIRA (2007) (72), GOMINHO y PEREIRA (2005) (73) en *E. globulus* y HEIN et al. (2008) (74) en *Pseudotsuga menziesii* y MÄKINEN y HEIN (2006) (75) en *Picea abies*, el espaciamiento de los árboles produce variaciones significativas de manera directa y/o indirecta sobre los atributos individuales de los árboles como incremento diametral, proyección de copas, el tamaño y cantidad de ramas, además de los defectos nudosos, excentricidad de la medula, arqueadura y conicidad. También ejerce influencia en el volumen de la albura y el duramen producido, pudiendo encontrarse una mayor proporción de duramen en espaciamientos más amplios. En relación a ello, MIRANDA et al. (2005) (76) estudiaron el impacto del número de árboles por hectárea en el duramen del *E. globulus*, encontrando una relación significativa entre el diámetro del árbol y el del duramen. Sin embargo, los espaciamientos estudiados por estos (3 x 3 m, 3 x 4 m, 4 x 4 m y 4 x 5 m) no influenciaron la proporción relativa del duramen.

De acuerdo con COUTO (1995), los árboles remanentes después de realizado el raleo, tienden a transferir la energía producida en el crecimiento para la adaptación a la nueva situación ambiental. Por ello, los crecimientos iniciales luego de los raleos son lentos. Los raleos, por tanto, deberían ser poco intensos y más frecuentes. Entre tanto, la intensidad y la oportunidad deben ser económicamente viables. Asimismo, LIMA (2005) sostiene que el espaciamiento y el raleo controlan la competencia entre los árboles, por consecuencia tienen influencia en los diversos parámetros que componen la calidad de la madera.

ZOBEL (1989) citado por ROSSO y NININ (1998) sostiene que la aplicación de raleos permite manejar la geometría del árbol, pero cuando se

aplica sin considerar el grado de desarrollo y competencia arbórea, el raleo puede originar la degradación de la calidad de los productos, debido al desarrollo de ramas, las cuales tienen asociaciones con nudos, esto especialmente en especies de madera duras.

2.4.2.2. Condiciones de crecimiento

Las interacciones entre los factores genéticos de una determinada especie y los factores del medio ambiente expresan las condiciones de crecimiento del sitio. Un sitio con buena aptitud para una determinada especie puede ser de baja aptitud para otra especie (HUSCH et al., 2003). (77)

ZOBEL (1981), sugiere que cualquier alteración en el patrón de crecimiento de un árbol, resultante o no de intervenciones silviculturales, puede causar variaciones en la calidad de la madera, sin posibilidad de prever en qué sentido ocurren esas variaciones. Por su parte MENDONÇA (2006) sostiene que, cuando la copa tiene más espacio en un lado que en los demás, hay un mayor crecimiento de ramas para ese espacio y, consecuentemente, una inclinación del árbol.

Por otro lado, la producción de duramen puede verse afectada por la posición sociológica que ocupe cada árbol. Al respecto, ARCE y WILLIAM (2000) (78) concluyen que, para un mismo espaciamiento, la producción de duramen es menor en los árboles oprimidos, mientras para las otras dos clases o categorías (dominantes y codominantes) las diferencias no son muy marcadas.

En referencia de la influencia de las condiciones de crecimiento en las tensiones de crecimiento, KUBLER (1987), sostiene que es posible minimizar el nivel de tensiones al mantener las condiciones de crecimiento y la distribución espacial de los árboles lo más uniforme posible a lo largo de su vida. En esencia limitando la aparición de estímulos que supongan, por parte del árbol, un incentivo para competir.

TOUZA (2001) planteó una hipótesis en referencia a las condiciones de crecimiento de los eucaliptos en relación a la formación y distribución de las tensiones de crecimiento (Figura 2.6). Existiendo básicamente tres condiciones:

- El primer caso, un árbol de alta vitalidad crece con baja competencia. Posee copa simétrica y la inclinación por el viento u otros factores ambientales son reducidos, función de la mayor estabilidad dimensional. Las tensiones desarrolladas son de baja intensidad y causan pocas o ninguna rajadura en la cara de los rollos.
- El segundo caso, el árbol crece con fuerte competencia, pero de forma homogénea en los lados. Este presenta copa pequeña y un diámetro pequeño consecuentemente. El árbol se muestra inestable y es severamente afectado por los vientos. Las tensiones se encuentran distribuidas homogéneamente, sin embargo se producen en un alto nivel a fin de estabilizar al árbol.
- En el último caso, las condiciones ambientales fuerzan el desarrollo de una copa asimétrica y el árbol reacciona con la formación de madera de tensión en el lado opuesto. La distribución desuniforme a alta intensidad de las tensiones provoca fisuras asimétricas profundas.

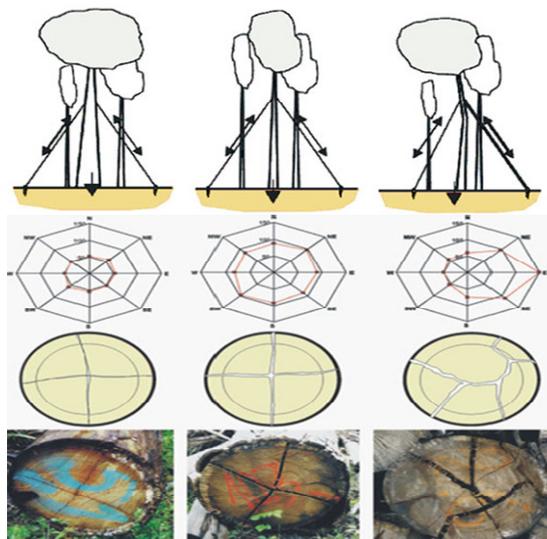


Figura 2.6. Condiciones de crecimiento de árboles de Eucalyptus y la formación y distribución de las tensiones de crecimiento.

Fuente: TOUZA, 2001

Según MAESTRI (2005), la hipótesis planteada por TOUZA (2001) puede auxiliar, en la toma de decisión en el manejo forestal del eucalipto, con el fin de obtener crecimiento vigoroso con reducidas tensiones de crecimiento de la madera.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del Área de Estudio

Los datos y materiales para este estudio fueron colectados de tres plantaciones clonales experimentales de *Eucalyptus grandis*, perteneciente a la empresa Agro Alba S.A. El experimento está localizado en el establecimiento “Ciriaco”, cuyas coordenadas son 28° 05’ de Latitud S y 55° 57’ de Longitud W, altitud 160 msnm, ubicado a 12 km del municipio de Gobernador Valentín Virasoro, departamento Santo Tomé, provincia de Corrientes.

En la Figura 3.1 se presenta el mapa de la República Argentina y la ubicación de la provincia de Corrientes (A). También, un mapa ampliado de Corrientes con una capa que corresponde a la distribución de los bosques implantados en la provincia y remarcado la zona donde se localiza el área experimental (B). En la Figura 3.1 (C) se señalan las plantaciones comerciales de *E. grandis* del establecimiento “Ciriaco”.

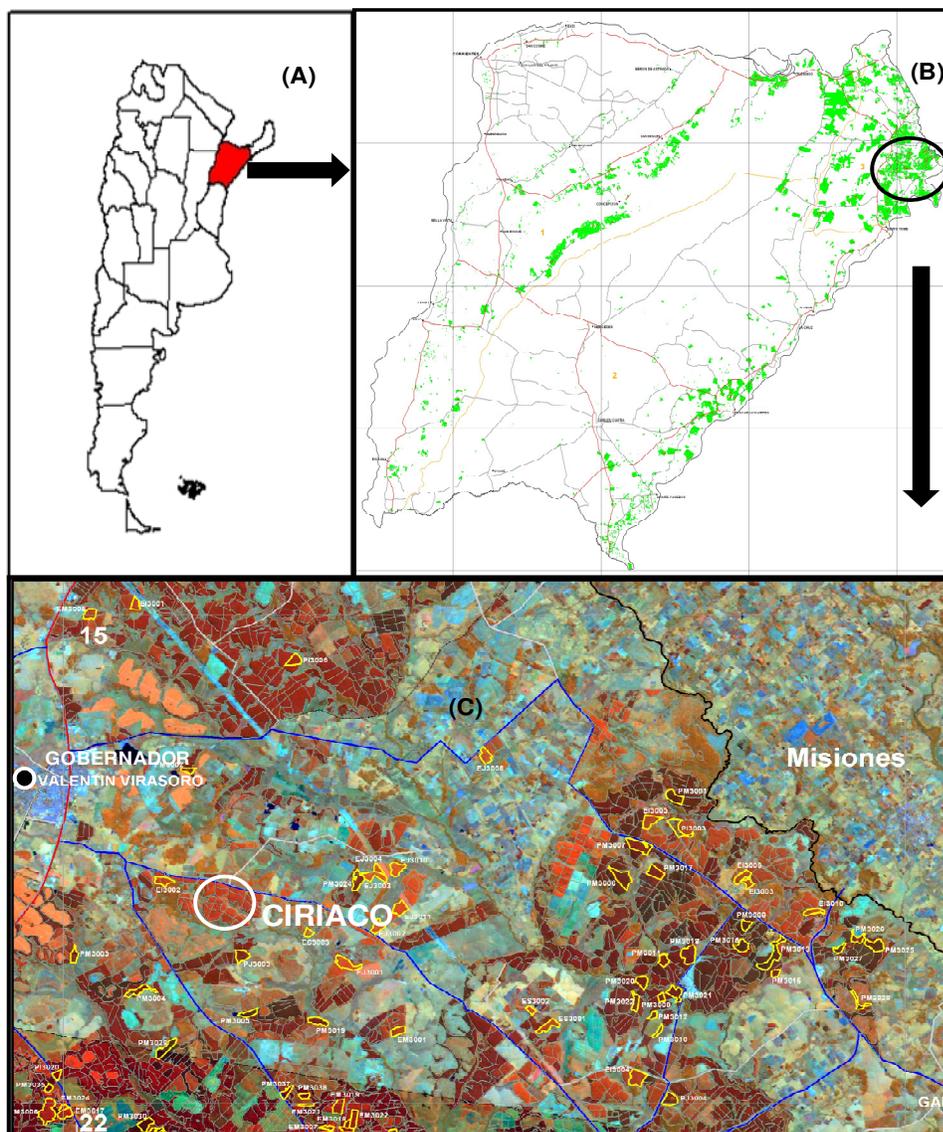


Figura 3.1. Corrientes en la República Argentina (A); distribución de los bosques implantados en la provincia de Corrientes (B); localidad de Gdor. V. Virasoro y establecimiento “Ciriaco” (C).

Fuente: Inventario Forestal de la Provincia de Corrientes (ELIZONDO et al., 2009).

3.1.1. Características ecológicas

En el resumen público sobre el manejo forestal de Ciriaco, SGS (2008) (79), se describe al relieve del área de estudio como levemente ondulado con lomas de suelos rojizos, profundos y bien drenados. En tanto que las medias lomas y medias lomas bajas tienen suelos pardos-amarillentos, menos profundos y con problemas de drenaje.

De acuerdo a ESCOBAR et al. (1996) (80), y LIGIER et al. (2000) (81), los suelos del área experimental se ubican en la unidad cartográfica 38. Se caracterizan por la asociación entre Kandihumultes típicos (series Díaz de Vivar), Kandiudalfes ródicos (series Arroyo Itaembé) y Distroceptes líticos (serie Sosa Cué), de textura arcillosa muy fina. Como principal limitante de estos tipos de suelo, se señala la susceptibilidad a la erosión hídrica.

Según ESCOBAR et al. (1996) la principal serie de suelos en estas áreas corresponden a las series Díaz de Vivar. Son suelos rojos lateríticos profundos, bien provisto de materia orgánica, bien drenados y de estructura granular; presentan pH ácidos a medianamente ácidos y se encuentran localizados en lomas cupuliformes. En tanto, los suelos del Arroyo Itaembé se encuentran en lomas a medias lomas altas, son también suelos bien drenados de color pardo amarillento oscuro, de textura arcillosa y estructura granular. Presenta buenas condiciones físicas para la penetración de raíces y agua.

Los suelos de las Series Díaz de Vivar y Arroyo Itaembé presentan buena aptitud agrícola en general. Actualmente son utilizados para pastizales, forestación, cultivos de yerba mate y té, en pequeña escala, para agricultura familiar (soja, maíz, etc.). En el caso de los cultivos forestales, Díaz de Vivar suele ser utilizada para Eucalyptus y Pinus. Por su parte Arroyo Itaembé es considerada el límite para el buen crecimiento del Eucalyptus. Los suelos de la serie Sosa Cué, se ubican en media loma o media loma baja, tienen drenaje imperfecto, color amarillento oscuro y textura franco arcillosa. Con poca profundidad efectiva (42 cm) y gran acidez, su uso se restringe a ganadería, forestación con Pinus o áreas de conservación (SGS, 2008).

El clima es según el sistema de Köppen del tipo Cfw'a, o sea, mesotermal, cálido templado, sin estación seca bien definida. La precipitación media de la zona es de 1500 mm año⁻¹. Los valores medios mensuales varían entre 100 mm en agosto y 170 mm en octubre. En el año,

es posible observar dos picos de precipitación, otoño (abril) y primavera (octubre) (ESCOBAR et al., 1996).

Según LIGIER et al. (2000) en el departamento Santo Tomé las temperaturas medias diarias oscilan entre 15,0 y 25,7 °C, haciendo que las condiciones climáticas de la zona de estudio, son más que aceptables para el desarrollo de *Eucalyptus grandis*. Debido a efectos de continentalidad aumenta el número de heladas meteorológicas, aunque dentro de límites tolerables y disminuyen ligeramente los días de lluvia. Según ESCOBAR et al. (1996) las heladas en general ocurren entre finales de junio y julio, aunque se han registrado heladas desde mediados de mayo hasta mediados de septiembre.

La vegetación original de la región está constituida principalmente por pastizales y praderas. En los valles aluviales de diversos arroyos es común encontrar pajonales, que soportan varios flujos y reflujos de agua, pero el suelo conserva su saturación hídrica durante todo el año (SGS, 2008).

3.2. Características del Experimento

El experimento fue instalado por la empresa en tres cuadros o lotes de plantaciones clonales experimentales de *Eucalyptus grandis* en marzo del 2001. Se aplicaron tres intensidades de raleo: 500 árboles ha⁻¹ (leve), 350 árboles ha⁻¹ (intermedia) y 250 árboles ha⁻¹ (alta), en parcelas de una (1) hectárea de superficie aproximadamente, dispuestas en un diseño de bloques completos al azar en cada clon: 230, 232 y 214². Las características generales e historial silvícola en cada clon se presentan en la Tabla 3.1.

² Códigos internos de los cuadros de la empresa, los cuales representan a un clon distinto.

Tabla 3.1. Características generales e historial de las operaciones silviculturales realizadas en los cuadros 214, 230 y 232 respectivamente.

Características Generales y Operaciones Silvícolas	Clones/Cuadros					
	230		232		214	
	Fecha	Árb ha ⁻¹	Fecha	Árb ha ⁻¹	Fecha	Árb ha ⁻¹
Plantación	Nov-97	833	Nov-97	833	Abr-98	625
Espaciamento (m)	4,0 x 3,0		4,0 x 3,0		4,0 x 4,0	
Raleo a desecho	Dic-98	550	Dic-98	550	Mar-00	550
Primera Poda	May-99	Todos	May-99	Todos	Oct-99	Todos
Segunda Poda	En-00	411	En-00	507	Jun-00	300
Tercera Poda	Jun-00	271	Jun-00	300	Feb-01	250
Cuarta Poda	En-01	250	En-01	250	-----	-----
Instalación del Ensayo (Segundo Raleo)	Mar-01		Mar-01		Mar-01	

Las alturas de podas efectuadas en el cuadro 214 fueron 3,00 m, 6,00 m y 9,00 m respectivamente. En los cuadros 230 y 232, las alturas fueron 2,40 m, 4,50 m, 7,00 m y 9,00 m.

En la Figura 3.2 puede advertirse la distribución de las intensidades de raleo (parcelas) y bloques por clon (cuadro). Los números en la parcela indican la intensidad de raleo, en tanto las letras indican el bloque. En color se destacan las parcelas donde se ejecutaron los trabajos para la presente investigación.

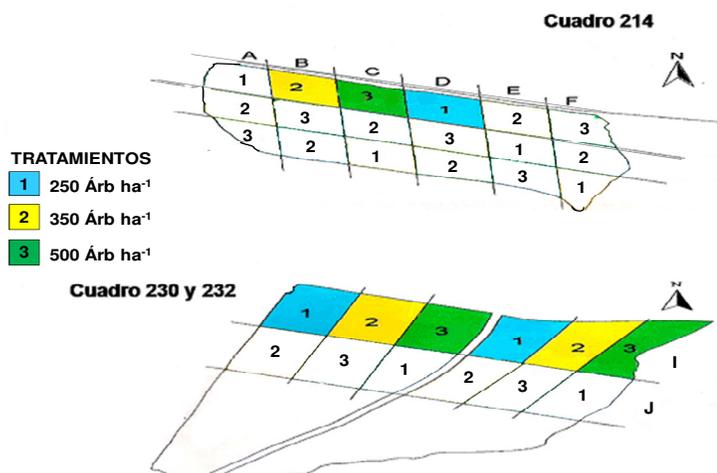


Figura 3.2. Diseño experimental y parcelas muestreadas.

La identificación y muestreo de los árboles con Estados de Competencia Contrastantes (ECC) se realizó en noviembre del 2005. Se seleccionaron un total de 108 individuos (6 Árboles x 3 Clones x 3 Intensidades de Raleo x 2 ECC), los caracteres tecnológicos de la madera fueron evaluados en 5 posiciones en altura del fuste (P).

3.2.1. Criterios de selección y características de los estados de competencia

En cada intensidad de raleo, la selección de los árboles se realizó mediante visualización individual en los árboles dominantes y/o codominantes, sin bifurcaciones ni daños visibles. Se hizo especial observación en la distribución espacial de los árboles dentro del rodal, de esta manera se pudieron distinguir árboles que crecen manteniendo relativa simetría, en la distribución espacial, en relación a sus *competidores* más próximos, y otros que tienen a sus *competidores* distribuidos asimétricamente a su alrededor, con algún *vacío* cercano producto del raleo de algún/os árbol/es adyacente/s.

Los árboles que crecieron con la Competencia Simétrica (CS) presentaron, de manera general, fustes rectos y desarrollaron una distribución de copa balanceada, tal como se presenta en la Figura 3.3. En tanto, los árboles que crecieron con la Competencia distribuida

Asimétricamente (CA), desarrollaron copas desbalanceadas producto de la reorientación en el crecimiento hacia algún *claro* cercano dentro del monte y produciendo en consecuencia la inclinación del fuste hacia el mismo sentido (Figura 3.4).

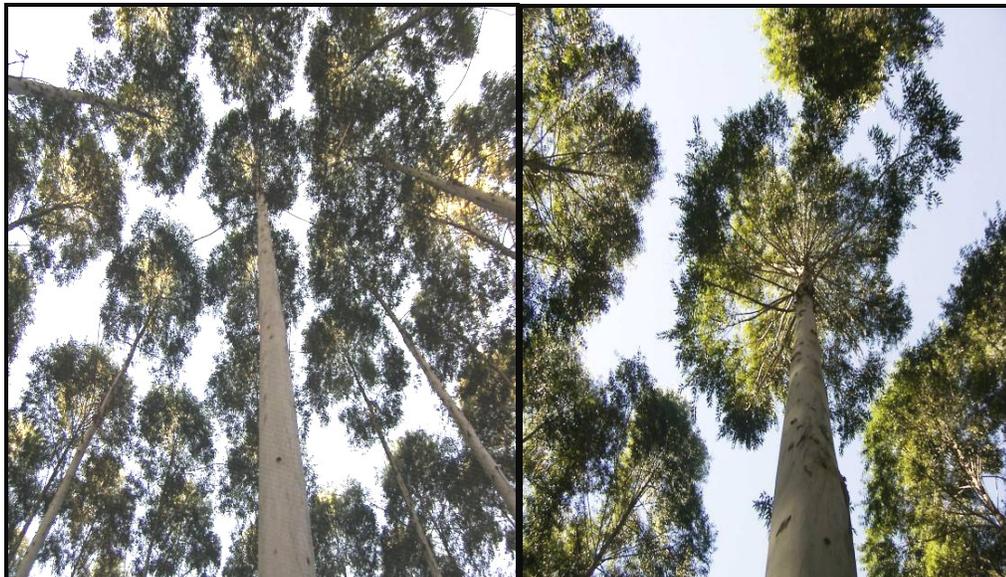


Figura 3.3. Árboles con la competencia distribuida uniformemente a su alrededor (CS).



Figura 3.4. Árboles con la competencia distribuida asimétricamente a su alrededor (CA).

3.2.2. Inventario en las intensidades de raleo

En cada parcela resaltada de cada clon (Figura 3.2), se instalaron aleatoriamente, dos parcelas transitorias de forma circular y de 615,8 m² de

superficie. En los árboles presentes se registraron: los diámetros a la altura del pecho (DAP) a 1,30 m sobre el nivel del suelo y la altura total (h). Los datos de DAP fueron obtenidos por la medición con cinta dendrométrica, con precisión de mm. Los datos de altura total, en metros, fueron obtenidos con precisión de 0,5 m a través de la utilización del hipsómetro Haga.

Para cada árbol presente en la parcela se registró su estado de competencia individual (Simétrica ó Asimétrica), considerando los criterios establecidos en el apartado 3.2.1. Con los datos obtenidos en las parcelas se estimó la cantidad de árboles presentes en cada tratamiento de raleo a la edad de 8 años. Las características dendrométricas de los árboles presentes según inventario son presentados en la Tabla 3.2 según los tratamientos de raleo que fueron consideradas como: Leve, Intermedia y Alta.

Tabla 3.2. Valores de diámetros cuadráticos medios, altura total, cantidad de parcelas de inventario y número de árboles por hectárea según las intensidades de raleo (leve, intermedia y alta) de los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon	Variables	Intensidad de Raleo		
		Leve	Intermedia	Alta
230	Dg (cm)	27,5 (2,32)	30,0 (2,78)	30,4 (1,92)
	h (m)	32,60 (1,09)	31,70 (0,8)	30,60 (1,63)
	Nº Parcelas	2	2	2
	N ha ⁻¹	455	325	284
232	Dg (cm)	24,3 (2,26)	29,8 (1,97)	32,0 (2,26)
	h (m)	30,40 (1,20)	31,29 (1,02)	31,13 (0,87)
	Nº Parcelas	2	2	2
	N ha ⁻¹	609	325	252
214	Dg (cm)	26,4 (1,75)	30,1 (1,63)	33,1 (1,65)
	h (m)	32,18 (1,58)	30,75 (1,07)	31,60 (1,01)
	Nº Parcelas	2	2	2
	N ha ⁻¹	455	276	219

Siendo: Nº Parcelas= cantidad de parcelas de inventario; N ha⁻¹= número de árboles por hectárea. Los valores entre paréntesis corresponden al desvío estandar.

3.2.3. Levantamiento de datos en la muestra de árboles y digitalización de imágenes a campo

En los árboles seleccionados (108 en total) antes del apeo, se marcó el Norte desde la base hasta los 2 metros de altura y se registró el DAP. Estos árboles fueron apeados dejando la altura del tocón lo más bajo posible. Seguidamente, se registró la altura total, que fue obtenida midiendo la longitud total del fuste apeado y agregándole la porción correspondiente al tocón. Sobre el fuste se registraron los diámetros con corteza (di) correspondiente a cada altura (hi) desde la base del árbol. Las hi se midieron a intervalos de 1 m a partir de la altura del tocón hasta la altura del diámetro límite aserrable utilizado por la empresa, aproximadamente 14 cm en punta fina. También se midió la longitud de la sección apical remanente.

Las características dendrométricas de los árboles seleccionados son presentadas en la Tabla 3.3. Además, el número de árboles ha^{-1} según intensidad de raleo (Leve, Intermedia y Alta), en cada clon a los 8 años de edad.

Tabla 3.3. Valores medios de DAP y altura total de los árboles seleccionados y número de árboles hectárea según las intensidades de raleo (leve, intermedia y alta) de los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon	Variables	Intensidad de Raleo		
		Leve	Intermedia	Alta
230	DAP (cm)	27,3 (2,50)	28,4 (2,50)	29,9 (1,72)
	h (m)	30,40 (0,75)	30,40 (0,46)	29,90 (0,65)
	Nº Árboles	12	12	12
	N ha^{-1}	455	325	284
232	DAP (cm)	25,0 (1,29)	29,3 (2,17)	32,6 (2,22)
	h (m)	28,80 (0,57)	28,90 (0,52)	29,05 (0,32)
	Nº Árboles	12	12	12
	N ha^{-1}	609	325	252
214	DAP (cm)	27,3 (1,85)	31,0 (1,29)	32,9 (2,28)
	h (m)	30,70 (0,81)	30,00 (0,80)	30,70 (0,45)
	Nº Árboles	12	12	12
	N ha^{-1}	455	276	219

Siendo: N ha^{-1} = número de árboles por hectárea. Los valores entre paréntesis corresponden al desvío estándar.

Los árboles apeados fueron seccionados en cuatro rollos de 2,40 metros a partir del DAP. En estos se midieron los diámetros (mayor y menor) con y sin corteza de cada extremo y siguiendo la metodología de SCHACHT y GARCIA (1997) fueron cubiertos con bolsas plásticas en sus extremidades, a los efectos de retardar el proceso de secado, retracción y colapso de la madera (Figura 3.5). De este modo, las rajaduras evaluadas fueron originadas, principalmente, por efecto de las tensiones de crecimiento.



Figura 3.5. Trabajo de cubrimiento de los extremos de los rollos seccionados (432 rollos en total).

A las 72 horas del apeo se procedió a la marcación en las caras de los rollos: la médula, el inicio y el fin de cada rajadura, y el ancho máximo de cada rajadura. Al mismo instante, se obtuvieron imágenes de las caras. Las mismas fueron capturadas con calidad normal y a una distancia constante de 0,50 m. Todas las actividades fueron escalonadas por repetición, con el objetivo de mantener un control de las operaciones a campo.

3.3. Procesamiento de Imágenes y Obtención de Datos para Evaluaciones Tecnológicas del Fuste.

Las imágenes fueron transferidas de la cámara digital a una computadora personal para el análisis de las imágenes digitales, se siguieron las recomendaciones de JORGE y CRESTANA (1996) (82). Cada imagen fue “realzada” con componentes de brillo y contraste y convertidas

del formato jpg al formato .bmp (mapa de bits para Windows). Seguidamente, las imágenes fueron calibradas y procesadas utilizando el software Sistema Integral de Análisis de Raíces y Cobertura de Suelo (SIARCS®).

En el presente experimento el índice de rajado, la excentricidad de medula y la relación albura-duramen fueron evaluados en 5 posiciones (P) o alturas del fuste, así se obtuvieron las siguientes posiciones en altura del fuste: P_1 (1,30 m); P_2 (3,70 m); P_3 (6,10 m); P_4 (8,50 m) y P_5 (10,90 m).

3.3.1. Obtención de datos y determinación de las tensiones de crecimiento

Las intensidades de las tensiones de crecimiento fueron cuantificadas mediante el índice de rajado (IR) propuesto por LIMA (2000) (83), expresada en la Ecuación 1. Para ello, mediante el SIARCS® sobre las imágenes digitales calibradas, se midieron las variables necesarias para calcular el índice de rajado: largo y ancho de cada rajadura. En rajaduras curvas o irregulares se procedió a realizar las mediciones “por partes” obteniendo la longitud total por sumatoria. Los anchos de las mismas se midieron en forma directa sobre las marcas realizadas en el campo.

El IR propuesto por LIMA (2000) consiste en una relación entre la sumatoria de las áreas ocupadas por las rajaduras y el área total de la sección transversal que contiene a esas rajaduras.

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i * L_i)}{\frac{\pi * D^2}{4}} * 100 \quad (1)$$

Donde:

IR: índice de rajado (%); A_i : abertura máxima (cm) de la rajadura i ($i=1, \dots, n$); L_i : largo (cm) de la rajadura i ($i=1, \dots, n$); D : diámetro medio de la sección transversal (cm) que contiene las rajaduras y n : número de rajaduras encontradas en la sección transversal.

Las tensiones de crecimiento, expresadas por el IR, se evaluaron en los extremos de cada rollo. Los IRs de caras contiguas entre rollos fueron promediados, obteniéndose los valores para las P_2 , P_3 y P_4 , expresadas por las Ecuaciones 2, 3 y 4. En tanto, los IRs de las P_1 y P_5 corresponden a una sola cara.

$$IRP_2 = \frac{IRC_2R_1 + IRC_1R_2}{2} \quad (2)$$

$$IRP_3 = \frac{IRC_2R_2 + IRC_1R_3}{2} \quad (3)$$

$$IRP_4 = \frac{IRC_2R_3 + IRC_1R_4}{2} \quad (4)$$

Donde:

IRP_2 , IRP_3 y IRP_4 : Índice de Rajado para las posiciones 2, 3 y 4; C_1 y C_2 : caras 1 y 2 de las extremidades de los rollos; y R_1 , R_2 , R_3 y R_4 : Rollos 1, 2, 3 y 4.

3.3.2. Obtención de datos y determinación de la excentricidad de medula

La excentricidad de la medula (EM) fue calculada para cada cara de rollo según la metodología aplicada por LIMA et al. (2007) (84). La misma consiste en la diferencia entre el radio mayor entre la medula y la periferia de la cara y el valor medio de los radios (Ecuación 5). Con el SIARCS[®], sobre las imágenes digitales calibradas, se midieron los radios mayores, menores y los perpendiculares (R_{p1} y R_{p2}) en cada una de las caras de los rollos (Figura 3.5).

$$EM = R_{mayor} - R_{medio} \quad (5)$$

Donde:

EM: Excentricidad de la Medula (cm); R_{Mayor} : valor de la mayor distancia entre la medula y la periferia del rollo (cm) y R_{medio} : valor medio obtenido del radio mayor, menor, perpendicular 1 (R_{p1}) y perpendicular 2 (R_{p2}) (cm).

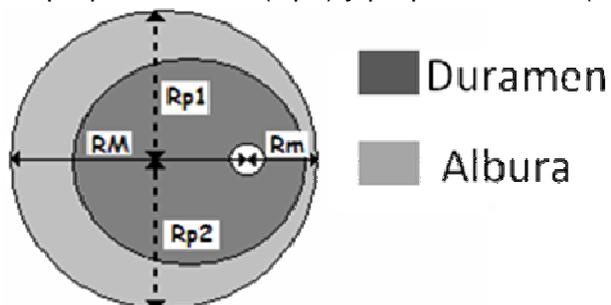


Figura 3.6. Radios mayor y menor medidos desde la medula a la corteza; Rp1 y Rp2 radios medios perpendiculares.

Fuente: LIMA et al. 2007

Los valores de excentricidades de medula de caras contiguas entre rollos fueron promediados, obteniéndose los valores para las P₂, P₃ y P₄, expresadas por las Ecuaciones 6, 7 y 8. En tanto, la EM de las P₁ y P₅ corresponden a una sola cara.

$$EMP_2 = \frac{EMC_2R_1 + EMC_1R_2}{2} \quad (6)$$

$$EMP_3 = \frac{EMC_2R_2 + EMC_1R_3}{2} \quad (7)$$

$$EMP_4 = \frac{EMC_2R_3 + EMC_1R_4}{2} \quad (8)$$

Donde:

EMP₂, EMP₃ y EMP₄: Excentricidad de medula para las posiciones 2, 3 y 4; C₁ y C₂: caras 1 y 2 de las extremidades de los rollos; y R₁, R₂, R₃ y R₄: Rollos 1, 2, 3 y 4.

3.3.3. Obtención de datos y determinación de la relación albura-duramen

Con el SIARCS[®], sobre las imágenes digitales calibradas, se midieron dos diámetros del duramen (en los sentidos del mayor y menor diámetro de la cara) y los espesores de la albura en esos sentidos. Según la metodología aplicada por DOS SANTOS (2002), los diámetros medios del duramen y los espesores de la albura fueron llevados a valores de sección (utilizando la fórmula de cálculo de superficie del círculo), cuyos valores permiten establecer la relación albura-duramen (RA/D) en relación al área, como se indica en la Ecuación 9.

$$RA/D = \frac{SA}{SD} \quad (9)$$

Donde:

RA/D: relación albura duramen (adimensional); SA: sección de albura (cm²) y SD: sección del duramen (cm²).

Los valores de RA/D de caras contiguas entre rollos fueron promediados, obteniéndose los valores para las P₂, P₃ y P₄, expresadas por

las Ecuaciones 10, 11 y 12. En tanto, la RA/D de las P₁ y P₅ corresponden a una sola cara.

$$RA/DP_2 = \frac{RA/DC_2R_1 + RA/DC_1R_2}{2} \quad (10)$$

$$RA/DP_3 = \frac{RA/DC_2R_2 + RA/DC_1R_3}{2} \quad (11)$$

$$RA/DP_4 = \frac{RA/DC_2R_3 + RA/DC_1R_4}{2} \quad (12)$$

Donde:

RA/DP₂, RA/DP₃ y RA/DP₄: Relación albura/duramen para las posiciones 2, 3 y 4; C₁ y C₂: caras 1 y 2 de las extremidades de los rollos; y R₁, R₂, R₃ y R₄: Rollos 1, 2, 3 y 4.

3.4. Parámetros Dendrométricos y Forma del Fuste

3.4.1. Parámetros dendrométricos de los árboles de inventario

3.4.1.1. Altura dominante (h_{dom})

Los datos de los árboles provenientes de inventario fueron obtenidos de acuerdo al apartado 3.2.2. Para el análisis de la altura dominante, inicialmente se seleccionaron de las dos parcelas de inventario la cantidad proporcional de árboles que representan los 100 árb ha⁻¹ de mayor DAP, de cada tratamiento de raleo en los tres clones a la edad de 8 años.

3.4.1.2. Diámetro cuadrático medio (Dg), altura media y volumen total con corteza por hectárea (m³ ha⁻¹)

Con los registros de DAP y altura total de los árboles obtenidos de acuerdo al apartado 3.2.2, se procedió a obtener el Dg y la altura media de las parcelas según SCOLFORO y FILHO (1998) (Ecuaciones 13 y 14).

$$Dg = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n DAP^2}{n}} \quad (13)$$

Donde:

Dg: diámetro cuadrático medio; DAP: diámetros a la altura del pecho medidos en la parcela y n: número de árboles en la parcela.

$$\overline{H} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad (14)$$

Donde:

\overline{H} : altura media (aritmética); h_i : alturas medidas en la parcela y n: número de árboles en la parcela.

Para la obtención de los volúmenes de los árboles medidos en las parcelas de inventario, se optó utilizar la función desarrollada por FASSOLA et al. (2007) (85) para *E. grandis* y otras especies, construidas a partir de un amplio rango de diámetros y edades para la misma zona agroecológica de donde se llevó a cabo el experimento (Tabla 3.4). Los volúmenes de las parcelas se obtuvieron por sumatoria de los volúmenes individuales y mediante extrapolación se estimó el volumen total con corteza por hectárea.

Tabla 3.4. Valores máximos, mínimos y promedios de las variables de estado de árboles extraído de FASSOLA et al. (2007).

Variable	DAP (cm)	h (m)	edad (años)
Mínimo	12,2	11,4	2
Máximo	75,0	48,0	50
Promedio	36,76	36,9	16

El modelo ajustado para la determinación del volumen con corteza (Prodan modificado) para la zona Misiones y NE de Corrientes, se presenta en la Ecuación 15.

$$\ln(v_{cc}) = (-10,3487 + 3,14561 \times \ln^2(dap) - 0,18246 \times \ln^2(dap) + 0,145388 \times \ln^2(h)) \times 1,00244189 \quad (15)$$

Donde:

v_{cc} = volumen con corteza; dap : diámetro a la altura del pecho (cm); h : altura total (m).

3.4.2. Parámetros dendrométricos y forma del fuste de los árboles seleccionados

Con los registros de DAP, altura total y los distintos diámetros (d_i) a cada altura (h_i) descrito en el apartado 3.2.3, se procedió a obtener las características dendrométricas individuales de los árboles bajo estudio.

3.4.2.1. Obtención del volumen de los fustes individuales

Para obtener el volumen real de los fustes individuales de los árboles seleccionados, fue aplicado el método de cubicación rigurosa descritos por HUSCH et al. (2003) y SCOLFORO y FILHO (1998); el volumen de cada sección (v_i) fue obtenido mediante la fórmula de Smalian (Ecuación 16). El volumen de la sección correspondiente al tocón, fue calculado siempre como el volumen del cilindro según la Ecuación 17 y el volumen de la sección apical fue calculado como el volumen del cono (Ecuación 18).

$$v_i = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) * L \quad (16)$$

Donde:

v_i : volumen de las secciones en m^3 ; g_i : área seccional del extremo de la sección en m^2 ; g_{i+1} : área seccional del otro extremo de la sección en m^2 y L : longitud de la sección en m.

$$v_i = g_{tocón} * L_{tocón} \quad (17)$$

Donde:

v_i : volumen del tocón en m^3 ; $g_{tocón}$: área seccional del tocón en m^2 y $L_{tocón}$: longitud del tocón en m.

$$v_i = \frac{1}{3} * g_{dl} * L_a \quad (18)$$

Donde:

v_i : volumen del ápice en m^3 ; g_{dl} : área seccional de la base del cono con un diámetro límite de aproximadamente 14 cm en m^2 y L_a : longitud remanente al ápice en m.

El volumen total (V_T) de cada árbol fue obtenido por la sumatoria de los v_i más el volumen del tocón y el volumen del ápice (Ecuación 19); cada

volumen se calculó con corteza, dentro de los niveles de competencia y de raleo para cada clon.

$$V_T = \sum v_i \quad (19)$$

Donde:

V_T : volumen total en m^3 ; v_i : volumen de las distintas secciones desde el tocón hasta el del ápice en m^3 .

3.4.3. Determinación de la Forma del Fuste

El ahusamiento o conicidad del fuste fue analizado mediante la serie de ahusamiento real o verdadera de Hohenadl (1936) citado por PRODAN et al. (1997), basándose en cinco secciones, para cada una de las cuales calcula el correspondiente cociente de forma real dado por simple relaciones, refiriéndolas todas al diámetro a un décimo (10%) de la altura total o a nueve décimos desde la punta del árbol, $d_{0,1}$ (Ecuación 20). Como los diámetros a las alturas relativas no fueron mensurados, fue necesaria la determinación de los mismos mediante interpolación matemática.

$$k_{0,1} = \frac{d_{0,1}}{d_{0,1}} = 1; \quad k_{0,3} = \frac{d_{0,3}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,5} = \frac{d_{0,5}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,7} = \frac{d_{0,7}}{d_{0,1}}; \quad k_{0,9} = \frac{d_{0,9}}{d_{0,1}} \quad (20)$$

Donde:

$d_{0,1}$: diámetro al 10% de la altura total; $d_{0,3}$: diámetro al 30% de la altura total; $d_{0,5}$: diámetro al 50% de la altura total; $d_{0,7}$: diámetro al 70% de la altura total; $d_{0,9}$: diámetro al 90% de la altura total; $k_{0,1}$, $k_{0,3}$, $k_{0,5}$, $k_{0,7}$, $k_{0,9}$: serie de ahusamiento verdadero o de Hohenadl.

El factor de forma natural o de Hohenadl ($f_{0,1}$) se obtuvo a partir de la serie de Hohenadl de acuerdo a la Ecuación 21.

$$f_{0,1} = 0,2 * \left(1 + k_{0,3}^2 + k_{0,5}^2 + k_{0,7}^2 + k_{0,9}^2 \right) \quad (21)$$

El factor de forma real o verdadero ($f_{0,1}$) depende de cada serie de ahusamiento y puede ser visto no sólo como un factor de reducción del cilindro, sino también, como un indicador de la forma fustal. El factor de forma natural promedio fue obtenido dentro de los niveles de competencia e intensidades de raleo para cada clon.

3.5. Análisis Estadístico de los Datos

3.5.1. Evaluaciones de las propiedades tecnológicas del fuste

Inicialmente se obtuvieron los estadísticos descriptivos. Para los análisis estadísticos se realizaron transformaciones de los valores observados mediante raíz cuadrada, de acuerdo a lo señalado por FERREIRA (1991) (86), de manera de obtener un menor coeficiente de variación experimental y una distribución normal o muy próxima a ésta. Adicionalmente a las transformaciones realizadas, los valores aberrantes (“*outliers*”) fueron desestimados en el análisis, en esos casos, las observaciones fueron consideradas como perdidas. La comprobación de la normalidad de los datos se realizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene.

El desarrollo teórico del modelo matemático empleado para considerar la variación de los tratamientos es representada por la Ecuación 22, de acuerdo a MONTGOMERY (1997) (87).

$$y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \beta_k + \delta_l + (\alpha\gamma)_{ij} + (\alpha\beta)_{ik} + (\alpha\delta)_{il} + (\gamma\beta)_{jk} + (\gamma\delta)_{jl} + (\beta\delta)_{kl} + (\alpha\gamma\beta)_{ijk} + (\alpha\gamma\delta)_{ijl} + (\alpha\beta\delta)_{ikl} + (\gamma\beta\delta)_{jkl} + (\alpha\gamma\beta\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm} \quad (22)$$

con $i=1,2,3$; $j=1,2,3$; $k=1,2$; $l= 1,\dots,5$; $m=1,\dots,6$ y, donde:

y_{ijklm} = valor observado para el i -ésimo clon, en la j -ésima intensidad de raleo, en el k -ésimo estado de competencia, en la l -ésima posición en altura del fuste y m -ésima repetición.

μ = media general;

α_i = efecto del i -ésimo clon;

γ_j = efecto de la j -ésima intensidad de raleo;

β_k = efecto del k -ésimo estado de competencia;

δ_l = efecto en la l -ésima posición en altura del fuste;

$\alpha\gamma_{ij}$ = efecto de la interacción entre clon e intensidad de raleo;

$\alpha\beta_{ik}$ = efecto de la interacción entre clon y el estado de competencia;

$\alpha\delta_{il}$ = efecto de la interacción entre clon y posición en altura del fuste;

- $\gamma\beta_{jk}$ = efecto de la interacción entre el raleo y el estado de competencia;
- $\beta\delta_{kl}$ = efecto de la interacción entre el estado de competencia y la posición en altura del fuste;
- $\alpha\gamma\beta_{ijk}$ = efecto de la interacción entre clon, intensidad de raleo y estado de competencia;
- $\alpha\gamma\delta_{ijl}$ = efecto de la interacción entre clon, intensidad de raleo y posición en altura del fuste;
- $\alpha\beta\delta_{ikl}$ = efecto de la interacción entre clon, estado de competencia y posición en altura del fuste;
- $\gamma\beta\delta_{jkl}$ = efecto de la interacción entre intensidad de raleo, estado de competencia y posición en altura del fuste;
- $\alpha\gamma\beta\delta_{ijkl}$ = efecto de la interacción entre clon, intensidad de raleo, estado de competencia y posición en el fuste;
- ε_{ijklm} = error experimental asociado a la observación y_{ijklm} .

Posteriormente, se realizó el Análisis de Varianza (ANDEVA) para las fuentes de variación de interés en la investigación, con un delineamiento experimental completamente aleatorizado, adoptándose el arreglo factorial mixto 3 x 3 x 2 x 5 (Clon x Intensidad de Raleo x Estado de Competencia x Posición en Altura del Fuste), debido a la naturaleza de los factores estudiados según FERREIRA (1991). En el ANDEVA se utilizó la prueba de F al nivel de significación del 1 y 5 % y el test de Tukey fue aplicado siempre que se encontraran diferencias significativas en el test de F. La naturaleza factorial de los tratamientos estudiados se sintetiza en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Esquema de análisis de varianza para los tratamientos seleccionados dentro de un ensayo de raleo en tres clones *E. grandis* a los 8 años de edad.

Fuente de Variación	GL	CM	F
Clon (C)	2	CMC	CMC/ CMRe
Intensidad de Raleo (R)	2	CMR	CMR/ CMRe
Estados de competencia (ECC)	1	CMECC	CMECC/ CMRe
Posición (P)	4	CMP	CMP/ CMRe
Interacciones dobles			
C x R	4	CMCxR	CMCxR/ CMRe
C x ECC	2	CMCxECC	CMCxECC/CMRe
C x P	8	CMCxP	CMCxP/ CMRe
R x ECC	2	CMRxECC	CMRxECC/ CMRe
R x P	8	CMRxP	CMRxP/ CMRe
ECC x P	4	CMECCxP	CMECCxP/ CMRe
Interacciones triples			
C x R x ECC	4	CMCxRxECC	CMCxRxECC/ CMRe
C x R x P	16	CMCxRxP	CMCxRxP/ CMRe
C x ECC x P	8	CMCxECCxP	CMCxECCxP/ CMRe
R x ECC x P	8	CMRxECCxP	CMRxECCxP/ CMRe
Interacción cuádruple			
C x R x ECC x P	16	CMCxRxECCxP	CMCxRxECCxP/ CMRe
Error Residual	450	CMRe	
Total	539		

En los tratamientos con interacciones significativas (dobles y triples), se procedió a evaluar dichas interacciones mediante pruebas de contrastes de acuerdo a BALZARINI et al. (2008) (88). Según MONTGOMERY (1997), un contraste es una combinación lineal de los parámetros del modelo. Cuando se postularon más de un contraste, se atendió, de acuerdo a BALZARINI et al. (2008), que las comparaciones sean independientes unas de otras, mediante el control de la ortogonalidad. Las pruebas de los contrastes que fueron postulados se incorporaron a en un cuadro de ANDEVA, de acuerdo a MONTGOMERY (1997). De la misma forma, se diseñaron cuadros con estadísticas resumen indicando algunas variaciones de acuerdo a las fuentes de variaciones presentes.

Los datos fueron analizados mediante los procedimientos Univariate y GLM del software Statistical Analysis System (SAS, 2008) (89).

3.5.2. Parámetros dendrométricos y forma del fuste

De la misma manera que en el apartado 3.5.1, tanto para los datos dendrométricos de los árboles provenientes del inventario y del muestreo selectivo, como para las alturas relativa de HOHENADL (30%, 50%, 70% y 90%) y su factor de forma ($f_{0,t}$) derivado de la serie de forma, se obtuvieron los estadísticos descriptivos y se comprobaron la normalidad de los valores observados, además de la homogeneidad de varianza mediante el test de Levene.

Para considerar la variación de los tratamientos en los parámetros dendrométricos de los árboles de inventario y seleccionados, para cada altura relativa de Hohenadl (30%, 50%, 70% y 90%) y su factor de forma ($f_{0,t}$) derivado, fue empleado el modelo matemático representada en la Ecuación 23, basado en MONTGOMERY (1997).

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + \beta_k + (\alpha\gamma)_{ij} + (\alpha\beta)_{ik} + (\gamma\beta)_{jk} + (\alpha\gamma\beta)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (23)$$

con $i=1,2,3$; $j=1,2,3$; $k=1,2$; y, $l= 1, \dots, n$; donde:

y_{ijkl} = valor observado para el i -ésimo clon en la j -ésima intensidad de raleo, en el k -ésimo estado de competencia y l -ésima repetición.

μ = media general;

α_i = efecto del i -ésimo clon;

γ_j = efecto de la j -ésima intensidad de raleo;

β_k = efecto del k -ésimo estado de competencia;

$\alpha\gamma_{ij}$ = efecto de la interacción entre clon e intensidad de raleo;

$\alpha\beta_{ik}$ = efecto de la interacción entre clon y el estado de competencia;

$\gamma\beta_{jk}$ = efecto de la interacción entre el raleo y el estado de competencia;

$\alpha\gamma\beta_{ijk}$ = efecto de la interacción entre clon, intensidad de raleo y estado de competencia;

ε_{ijkl} = error experimental asociado a la observación y_{ijkl}

El ANDEVA se realizó con un delineamiento completamente aleatorizado, adoptándose el arreglo factorial 3 x 3 x 2 (Clones x Intensidad

de Raleo x Estados de Competencia), utilizándose el test de F al nivel de significación del 1 y 5 %. El test de Tukey fue aplicado siempre que se encontraran diferencias significativas entre tratamientos en el test de F. Los procedimientos utilizados fueron Univariate y GLM del software Statistical Analysis System (SAS, 2008).

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de las Propiedades Tecnológicas del Fuste

4.1.1. Índice de rajado (IR)

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados del análisis de varianza para el IR transformado (IR_{trans}) según las intensidades de raleo, estados de competencia y posiciones en altura del fuste para los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad.

Tabla 4.1. Resultados del análisis de la varianza para el IR_{trans} .

Fuente de Variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	1,784	189,550	<,0001 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,028	2,972	0,0528 ns
Estados de competencia (ECC)	1	0,238	25,326	<,0001 **
Posición (P)	4	0,328	34,875	<,0001 **
C x R	4	0,052	5,541	0,0002 **
C x ECC	2	0,014	1,494	0,2244 ns
C x P	8	0,097	10,319	<,0001 **
R x ECC	2	0,038	4,076	0,0176 *
R x P	8	0,011	1,212	0,2897 ns
ECC x P	4	0,008	0,861	0,4873 ns
C x R x ECC	4	0,033	3,543	0,0073 **
C x R x P	16	0,017	1,838	0,0245 *
C x ECC x P	8	0,002	0,160	0,9958 ns
R x ECC x P	8	0,012	1,249	0,2689 ns
C x R x ECC x P	16	0,006	0,653	0,8395 ns
Error Residual	450	0,009		
Total	539			
CV experimental (%)	11,32			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

Las diferencias en el IR_{trans} entre los clones se pueden apreciar en la Figura 4.1. En este sentido, el clon 214, de mayores tensiones de crecimiento, fue un 12,3% superior respecto del clon 230 ($IR_{trans}=0,84$), y

20,6% superior al del clon 232 ($IR_{trans}=0,76$), de menor rajado en las caras de los rollos. Por su parte, el clon 230 fue un 9,5% superior respecto al clon 232.

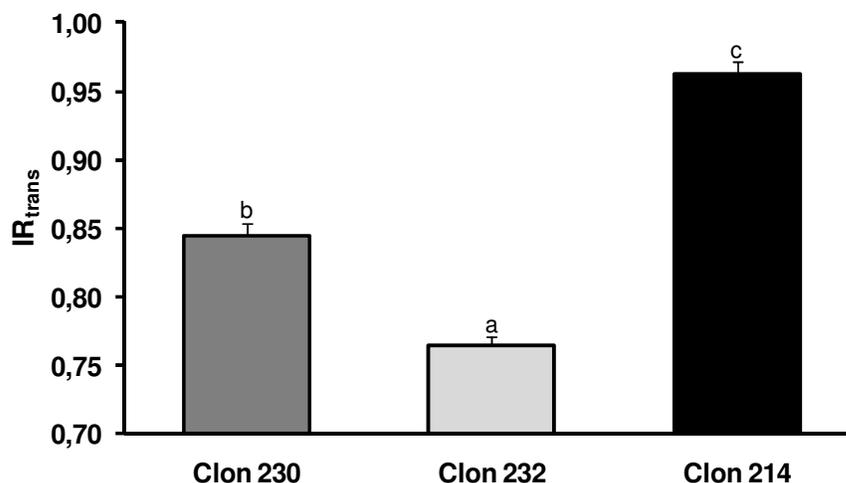


Figura 4.1. Índice de rajado transformado de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=180$).

En las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 dispuestas en el Anexo I pueden observarse secciones transversales con IRs medios de los clones 230, 232 y 214 respectivamente.

El factor intensidad de raleo no resultó significativa al 95% de probabilidad. Sin embargo, este factor no actúa de manera independiente, tal como señala la interacción altamente significativa entre los factores clon e intensidad de raleo. Por este motivo se plantearon contrastes abriendo el término de interacción. Los contrastes postulados para los clones 230 y 214 no resultaron significativos, en tanto, en el clon 232 ambos contrastes fueron altamente significativos (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Contrastes de medias entre intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon	Intensidad de Raleo	GL	CM	F	Pr >F
230	Intermedia vs (Leve y Alta)	1	0,0057	0,34	0,5620 ns
	Leve vs Alta	1	0,0072	0,43	0,5152 ns
232	Alta vs (Intermedia y Leve)	1	0,1406	18,93	<,0001 **
	Leve vs Intermedia	1	0,0475	6,39	0,0123 *
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	1	0,0559	3,19	0,0760 ns
	Leve vs Alta	1	0,0074	0,42	0,5170 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.5 se presenta el IR_{trans} según las intensidades de raleo en los clones 230, 232 y 214 y sus respectivos errores estándares. En ésta se aprecia que en los clones 214 y 230 no se reflejaron variaciones significativas en las tensiones de crecimiento con las intensidades de raleo estudiadas. Por su parte, en el clon 232, las intensidades de las rajaduras en las caras de los rollos disminuyeron progresivamente a medida que aumentó la intensidad de raleo. De esta manera, los árboles provenientes de la intensidad de raleo alta presentaron una disminución significativa en las tensiones de crecimiento, con un 9,8% de menor rajado respecto de la intensidad leve de $IR_{trans}=0,80(\%)$, y un 5,1% respecto de la intensidad intermedia ($IR_{trans}=0,76(\%)$), corroborando de esta manera la interacción. Asimismo, se destaca la uniformidad del IR_{trans} entre los árboles en el Clon 232 en la tres intensidades de raleo, tal como indica el error estandar.

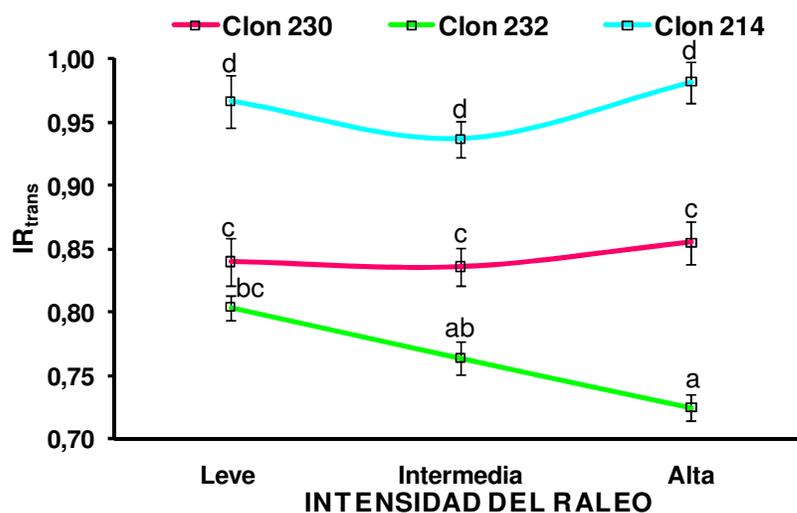


Figura 4.5. Índices de rajado transformado según intensidad de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (n=60).

El factor posición en altura del fuste presentó un efecto altamente significativo en el comportamiento de los IR_{trans} . Al mismo tiempo, la interacción clon x posición en altura del fuste también resultó altamente significativa. En la Tabla 4.3 se presentan los contrastes planteados para los distintos niveles del factor posición en cada nivel de clon.

Tabla 4.3. Contrastes de medias entre posiciones a distintas alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon x Posiciones en Altura del Fuste		GL	CM	F	Pr >F
230	P ₁ vs (P ₂ , P ₃ , P ₄ y P ₅)	1	0,8790	93,3877	<,0001 **
	P ₂ -P ₃ vs P ₄ -P ₅	1	0,0015	0,1637	0,6860 ns
	P ₂ vs P ₃	1	0,0005	0,0505	0,8223 ns
	P ₄ vs P ₅	1	0,0001	0,0060	0,9381 ns
232	P ₃ vs (P ₁ , P ₂ , P ₄ y P ₅)	1	0,1323	14,0908	0,0002 **
	P ₁ -P ₂ vs P ₄ -P ₅	1	0,0183	1,9435	0,1640 ns
	P ₁ vs P ₂	1	0,0001	0,0125	0,9111 ns
	P ₄ vs P ₅	1	0,0056	0,5913	0,4423 ns
214	P ₂ ,P ₃ y P ₄ vs P ₁ -P ₅	1	12,4520	1322,9499	<,0001 **
	P ₃ vs P ₂ -P ₄	1	0,1064	11,3091	0,0008 **
	P ₁ vs P ₅	1	0,0130	1,3827	0,2403 ns
	P ₂ vs P ₄	1	4,5E-05	0,0048	0,9448 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

La Figura 4.6 describe las tendencias que corroboran la interacción debido a que los genotipos reportaron diferentes patrones de distribución de las tensiones de crecimiento a lo largo del fuste (niveles de altura). En el clon 230 las tensiones aumentaron significativamente, un 24% desde la P₁ (1,30 m) hasta la P₂ (3,70 m), manteniéndose invariables hasta la última posición en altura analizada P₅ (10,90 m) (Figura 4.6), esto se ve reflejado en los contrastes planteados en la Tabla 4.3. Por su parte, en el clon 232 el IR_{trans} se mantuvo sin variación (Figura 4.6) en los primeros niveles de altura P₁ (1,30 m) – P₂ (3,70 m), en tanto, el rajado se incrementó un 7,9% con un nivel más de altura P₃ (6,10 m) y disminuyó un 11% hasta la última posición P₅ (10,90 m). Sólo el contraste entre la P₃ y el promedio de las demás posiciones resulto significativo (Tabla 4.3).

Por último, el IR_{trans} del clon 214 presentó un incremento del 24% desde la P_1 (1,30 m) hasta la P_3 (6,10 m), altura de máxima tensión (Figura 4.6). Desde ésta, se registró una disminución de idéntica proporción hasta la última posición en altura analizada P_5 (10,90 m). Los contrastes planteados entre las tres posiciones centrales (P_2 , P_3 y P_4) versus las extremas (P_1 y P_5) y de la P_3 versus el promedio de P_2 y P_4 resultaron significativos al 99% de probabilidad (Tabla 4.3).

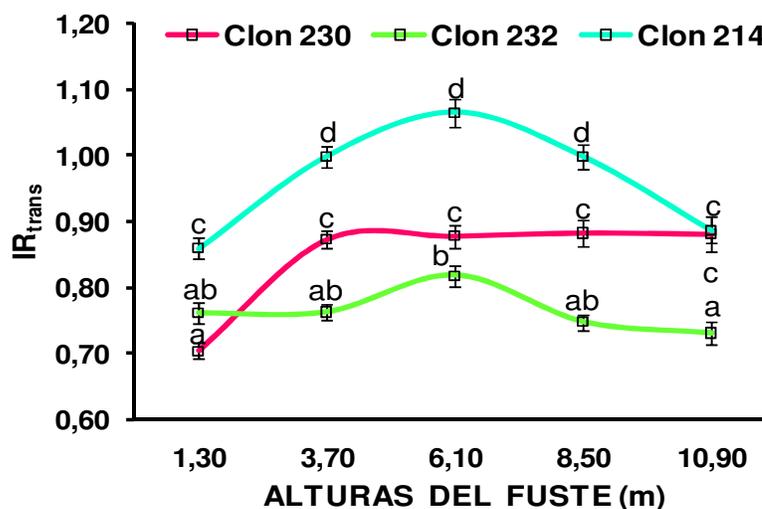


Figura 4.6. Índices de rajado transformado según altura del fuste de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencia significativa por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=36$).

En el factor estado de competencia se pudo verificar que hubo diferencias altamente significativas entre los niveles analizados (CS y CA). El IR_{trans} de los árboles con la CA aumentó un 5%, en relación a los árboles con CS ($IR_{trans}=0,84(\%)$). Sin embargo, este resultado no es definitivo ya que resultaron significativas al 95% de probabilidad, las interacciones R x ECC y R x ECC x C. Los resultados de los contrastes de interés entre los niveles de raleo por estado de competencia se presentan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Contrastes de medias para las intensidades de raleo según los estados de competencia de los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
Alta vs (Intermedia y Leve)	CA	1	0,03465607	1,70	0,1925 ns
Leve vs Intermedia		1	0,00233280	0,11	0,7351 ns
Intermedia vs (Alta y Leve)	CS	1	0,09419523	4,63	0,0319 *
Leve vs Alta		1	0,00086242	0,04	0,8370 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En relación a lo anterior, en la Figura 4.7 se presentan los IR_{trans} medios y sus respectivos errores estándares de los niveles de raleo en cada estado de competencia (CS y CA). En esta figura se advierte que las tensiones de crecimiento de los árboles con CA descienden ligeramente a medida que aumentan los niveles del raleo, en tanto, los árboles con CS presentan un aumento en el rajado en el nivel de raleo alto, corroborando de esta manera la interacción. De todos modos, la interacción C x R x ECC resultó ser altamente significativa, existiendo por lo tanto, una dependencia entre los factores.

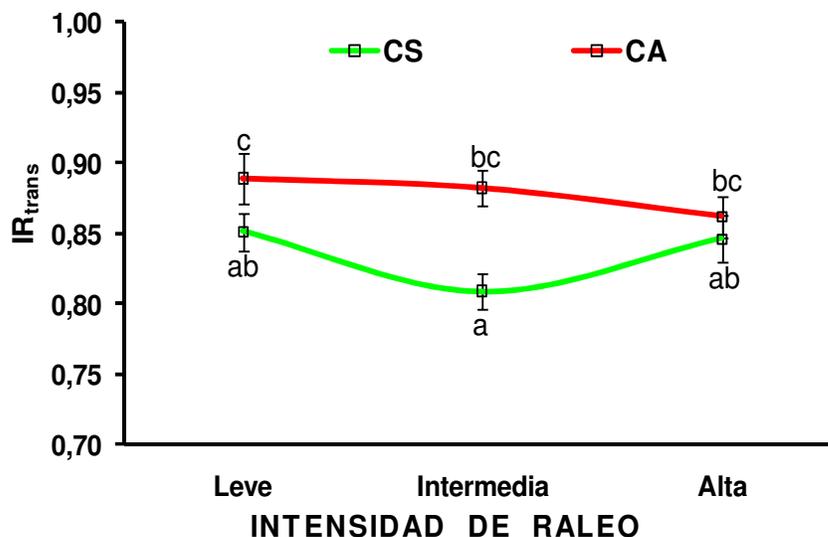


Figura 4.7. Índices de rajado transformado según los niveles de raleos en los estados de competencia de los clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (n=90).

En la Tabla 4.5 se presentan los contrastes para los tres clones postulando diferentes intensidades de raleo en los ECC, éstos fueron postulados buscando comparar niveles extremos de tensiones de crecimiento (alto o bajos (deseable)) con los promedios de los demás y entre valores cercanos entre sí.

Tabla 4.5. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados competencia.

Clon	Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
230	Alta vs (Intermedia y Leve)	CA	1	0,02568	2,73510	0,0989 ns
	Leve vs Intermedia	CA	1	0,00140	0,14928	0,6994 ns
	Alta vs (Intermedia y Leve)	CS	1	0,09660	10,28888	0,0014 **
	Leve vs Intermedia	CS	1	0,00004	0,00444	0,9469 ns
232	Alta vs (Intermedia y Leve)	CA	1	0,04232	4,50728	0,0343 *
	Leve vs Intermedia	CA	1	0,00081	0,08591	0,7696 ns
	Alta vs (Intermedia y Leve)	CS	1	0,10129	10,78827	0,0011 **
	Leve vs Intermedia	CS	1	0,11528	12,27804	0,0005 **
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	0,00722	0,76896	0,3810 ns
	Leve vs Alta	CA	1	0,00001	0,00071	0,9788 ns
	Intermedia vs (Leve y Alta)	CS	1	0,06013	6,40454	0,0117 *
	Leve vs Alta	CS	1	0,01320	1,40604	0,2363 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En el clon 230, sólo fue significativo el contraste entre la intensidad de raleo alta y el promedio de las otras intensidades de raleo (leve e intermedia) en los árboles con competencia simétrica. En tanto, en el clon 232 los contrastes de la Tabla 4.5 indican que las tensiones pueden ser afectadas significativamente por la intensidad de raleo sobre todo con la CS. A su vez, en el clon 214 sólo resultó significativo el contraste entre el raleo intermedio vs las demás (leve y alta) en el estado de competencia simétrica.

En la Figura 4.8 se presentan los IR_{trans} medios según ECC x R en los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), permitiendo interpretar fácilmente el resultado mostrado en el cuadro de análisis de varianza. En esta figura se observan diferentes respuestas de los niveles de competencia (CS y CA) con algunos niveles de raleo en cada nivel de clon, comprobándose interacciones que son descriptas según FERREIRA (1991), debidas a una diferencia en la intensidad de la respuesta (misma respuesta pero con mayor

o menor pendiente) y otras atribuibles a una diferencia en la dirección de la respuesta.

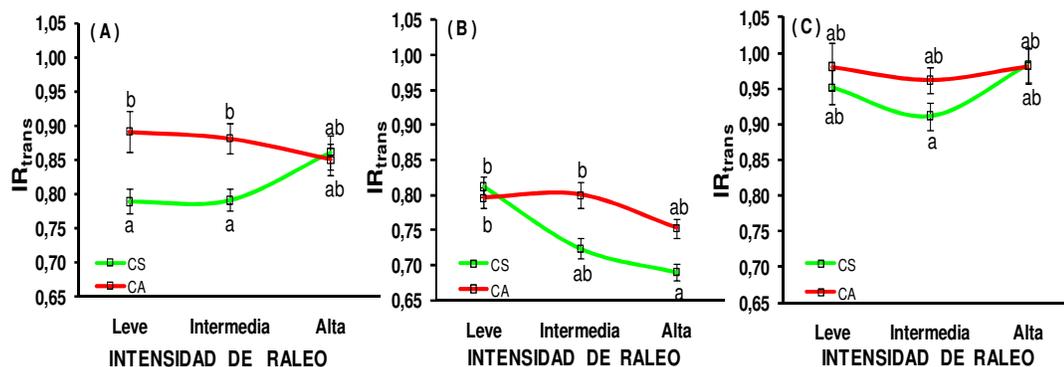


Figura 4.8. Índice de rajado transformado según estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleos de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=30$).

En el clon 230 los IR_{trans} de los árboles con CA disminuyeron progresivamente a medida que aumentó la intensidad del raleo, un 4,7% desde la intensidad de raleo leve hasta el raleo intenso con $IR_{trans}=0,85(\%)$. Por el contrario los árboles con CS, fueron afectados negativamente por el nivel de raleo más alto, aumentando el rajado en un 8,8% respecto de la intensidad de raleo leve e intermedia ($IR_{trans}=0,79(\%)$). Sólo en este clon, de acuerdo con la prueba de Tukey pueden observarse diferencias significativas entre los estados de competencia (intensidades de raleo leve e intermedia).

En el clon 232, las tensiones de los árboles con CA fueron similares en las intensidades de raleo leve e intermedia ($IR_{trans} \approx 0,80(\%)$) y disminuyeron un 6% en el nivel de raleo más intenso (Figura 4.8 y Tabla 4.5). Por su parte, en los árboles con CS, las intensidades de rajado en las caras de los rollos descendieron sistemáticamente con el aumento del nivel de raleo, inicialmente disminuyó un 10,8% con el nivel de raleo intermedio ($IR_{trans}=0,72(\%)$) y un 3,9% más con el nivel de raleo alto ($IR_{trans}=0,69(\%)$).

Por último, en el clon 214 se advirtieron respuestas similares de los niveles de competencia con el aumento de los niveles de raleo, los IR_{trans} de los árboles con CA descendieron 2% en el raleo intermedio y aumentaron en

la misma proporción en el nivel más alto de raleo. De la misma forma, los niveles de rajado en los árboles con CS descendieron un 4,2% en el raleo intermedio, en tanto, el incremento con el nivel de raleo alto fue de 7,8%.

No fueron significativas las interacciones dobles R x P; ECC x P y las interacciones triples C x ECC x P y R x ECC x P. En tanto, la interacción C x R x P resultó significativa al 95% de probabilidad. En la Tabla 4.6 se presentan los contrastes para los tres clones, postulando diferentes niveles de raleo en una misma posición manteniendo el mismo criterio de la interacción C x R x ECC.

Tabla 4.6. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x posición en altura del fuste.

Clon	Intensidad de Raleo	Posición	GL	CM	F	Pr >F
230	Alta vs (Intermedia y Leve)	4	1	0,1250	13,3131	0,0003 **
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	3	1	0,0491	5,2282	0,0227 *
	Leve vs Alta	4	1	0,0600	6,3903	0,0118 *
214	Leve vs Intermedia	2	1	0,0840	8,9482	0,0029 **
	Intermedia vs (Leve y Alta)	3	1	0,0534	5,6826	0,0175 *
	Intermedia vs (Leve y Alta)	4	1	0,0321	3,4176	0,0652 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En las alturas del fuste analizadas del clon 230, las intensidades de raleo no se diferenciaron entre sí, a excepción de la P₄ (8,50 m) donde el contraste entre el nivel de raleo alto versus el promedio de las demás (leve e intermedia), resultó altamente significativo. En el clon 232, los contrastes postulados para la P₃ (6,10 m) entre el raleo leve y el promedio de los demás (intermedio y alto), y en la P₄ (8,50 m) entre las intensidades leve y alta fueron altamente significativos (Tabla 4.6). Por su parte, en el clon 214 el contraste para la P₂ (3,70 m) resultó ser altamente significativo, representando una disminución del 11,2% en el IR_{trans} de los árboles con raleo intermedio, en relación a los tratados con raleo leve (IR_{trans}=1,06(%)). El contraste planteado entre los niveles de raleo intermedio versus el promedio de las demás (leve y alta) para la P₃ (6,10 m), altura de fuste de mayor tensión, también fue altamente significativo, presentando en este caso un 7,6% de menor índice de rajado. En tanto, este mismo contraste para la P₄ (8,50 m) no resultó significativo (Tabla 4.6).

En la Figura 4.9 se presentan los IR_{trans} de los tratamientos (posiciones en altura del fuste e intensidades de raleo) de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), en esta figura se observan diferentes modelos de distribución de las tensiones de crecimiento de acuerdo a las intensidades de raleo y su variación con el aumento en la posición de altura.

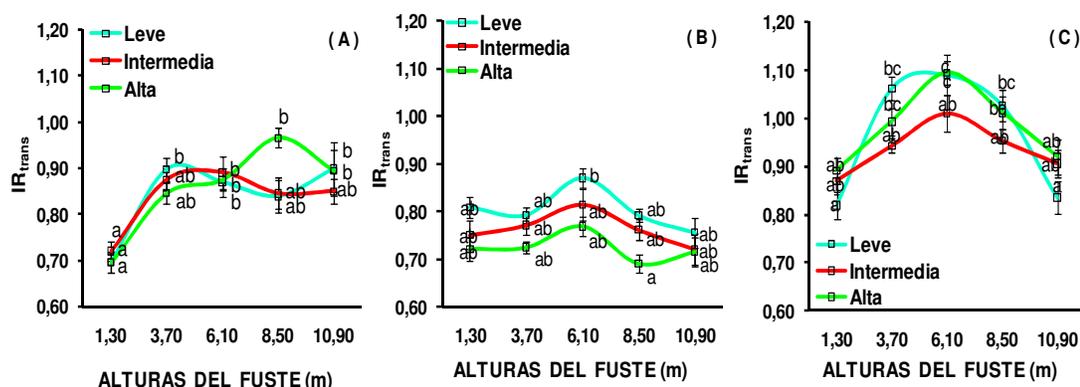


Figura 4.9. Índice de rajeo transformado según posiciones en altura del fuste en las tres intensidades de raleos de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=12$).

En el clon 230 se obtuvieron diferentes respuestas entre las intensidades de raleo a partir de la P_2 (3,70 m) hasta la P_5 (10,90 m). Por su parte, en los tratamientos de raleo (en forma individual), se destacan los aumentos de las tensiones de crecimiento desde la P_1 (1,30 m) a la P_2 (3,70 m). Estos incrementos fueron significativos y equivalen a aumentos en el rajeo de 28,7%, 21,5% y 21,6% en las intensidades de raleo leve, intermedia y alta respectivamente (Figura 4.9).

En el clon 232, se observan diferentes respuestas en los niveles de raleo entre las P_1 (1,30 m) y P_2 (3,70 m) y en el último tramo del fuste analizado entre las P_4 (8,50 m) y P_5 (10,90 m). En las demás alturas, los niveles de raleo no se diferenciaron estadísticamente, como tampoco fue detectada una variación significativa entre los niveles de altura del fuste en cada tratamiento de raleo. Sin embargo, las intensidades de las rajaduras

descendieron, en todas las alturas analizadas, al aumentar la intensidad de raleo.

En los tres niveles de raleo del clon 214, presentaron las mismas distribuciones de las tensiones a lo largo del fuste, aumentaron progresivamente (con distinta intensidad) desde la P_1 (1,30 m) hasta la P_3 (6,10 m), altura de máxima tensión, y volvieron a descender hasta los 10,90 m.

4.1.2. Excentricidad de medula (EM)

En la Tabla 4.7 se presentan los resultados del análisis de varianza para la EM transformada (EM_{trans}) según las intensidades de raleo, estados de competencia y posiciones en altura del fuste de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad.

Tabla 4.7. Resultados del análisis de la varianza para la EM_{trans} .

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	1,703	31,175	<0,0001**
Intensidad de Raleo (R)	2	0,262	4,802	0,0086**
Estados de competencia (ECC)	1	0,724	13,263	0,0003**
Posición (P)	4	0,735	13,455	<0,0001**
C x R	4	0,098	1,788	0,1301ns
C x ECC	2	0,008	0,144	0,8659ns
C x P	8	0,089	1,626	0,1151ns
R x ECC	2	0,049	0,902	0,4064ns
R x P	8	0,042	0,765	0,6341ns
ECC x P	4	0,028	0,509	0,7891ns
C x R x ECC	4	0,026	0,483	0,7482ns
C x R x P	16	0,044	0,802	0,6836ns
C x ECC x P	8	0,036	0,656	0,7305ns
R x ECC x P	8	0,015	0,280	0,9723ns
C x R x ECC x P	16	0,036	0,657	0,8366ns
Error Residual	444	0,055		
Total	533			
CV experimental (%)	23,18			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.10 están representados los valores medios de la EM_{trans} y sus errores estándares para los tres clones analizados. La EM_{trans} del clon

230 se diferenci6 en forma significativa respecto de los clones 232 y 214, con una disminuci6n del 14,2% y 17,3% respectivamente.

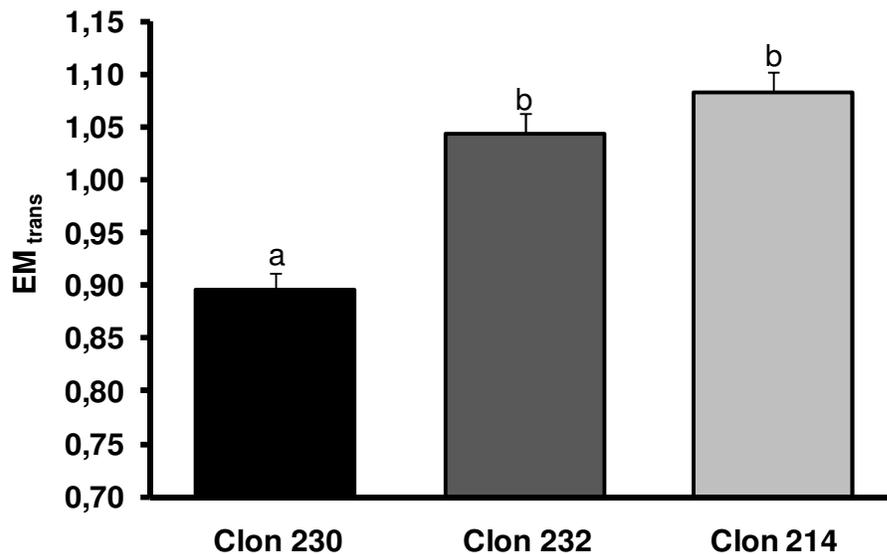


Figura 4.10. Excentricidad de medula transformada de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 a~os de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estandar (clon 230 $n=174$; clones 232 y 214 $n=180$).

La Figura 4.11 brinda los valores medios de la EM_{trans} y sus errores estandar para cada intensidad de raleo. Puede advertirse que la excentricidad de medula aument6 significativamente con el aumento de la intensidad de raleo. As6, la excentricidad de medula de los 6rboles con intensidad de raleo alta se diferenciaron significativamente respecto de los tratados con raleo leve, de EM_{trans} media de 0,96 cm. La proporci6n del aumento result6 de un 8%.

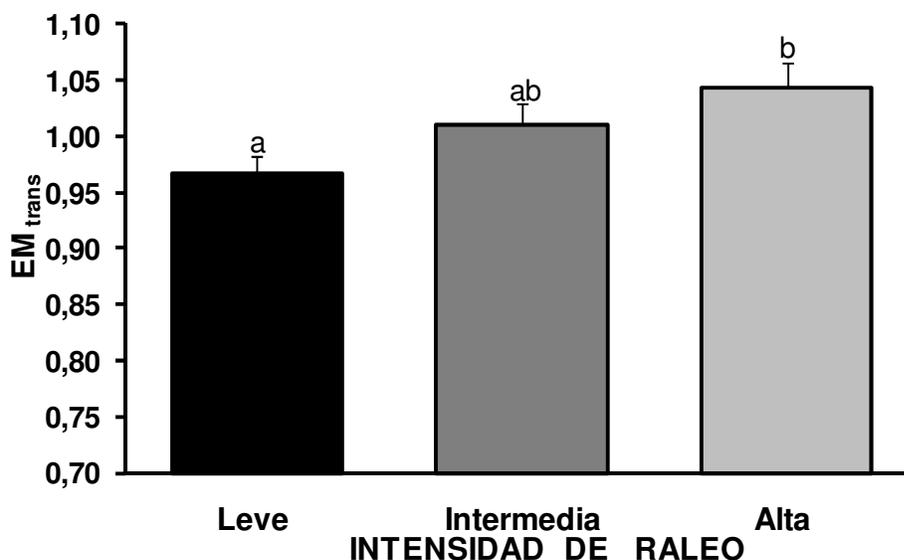


Figura 4.11. Valores de EM_{trans} según las intensidades de raleos en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar (intensidad leve e intermedia $n=180$; alta $n=176$).

En la Figura 4.12 se presentan los valores medios de EM_{trans} de los estados de competencia y sus respectivos errores estándares. Se pudo verificar que ambos estados de competencia se diferenciaron de manera altamente significativa. Independientemente del material genético y de los niveles de raleo, la EM_{trans} media de los árboles con CA aumentó un 7,5% en relación a los árboles que mantuvieron la competencia simétricamente distribuida a su alrededor ($EM_{trans}=0,97$ cm). En los tres clones se obtuvieron las mismas respuestas, árboles con CA con niveles de excentricidad mayores a los árboles con CS.

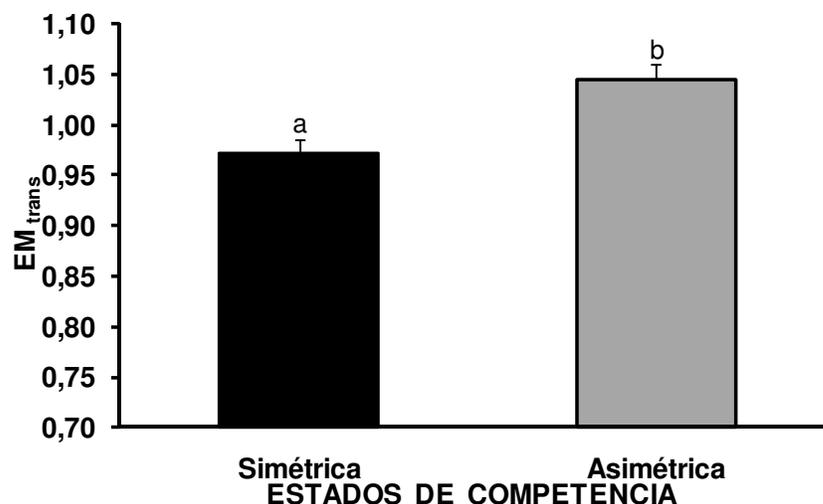


Figura 4.12. Valores de EM_{trans} según los estados de competencia en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (CS $n=266$ y CA $n=268$).

El factor posición en altura del fuste también presentó un efecto altamente significativo en el comportamiento de la EM_{trans} . La Figura 4.13 muestra la variación de los niveles de EM_{trans} en las diferentes alturas del fuste analizadas y sus errores estándares.

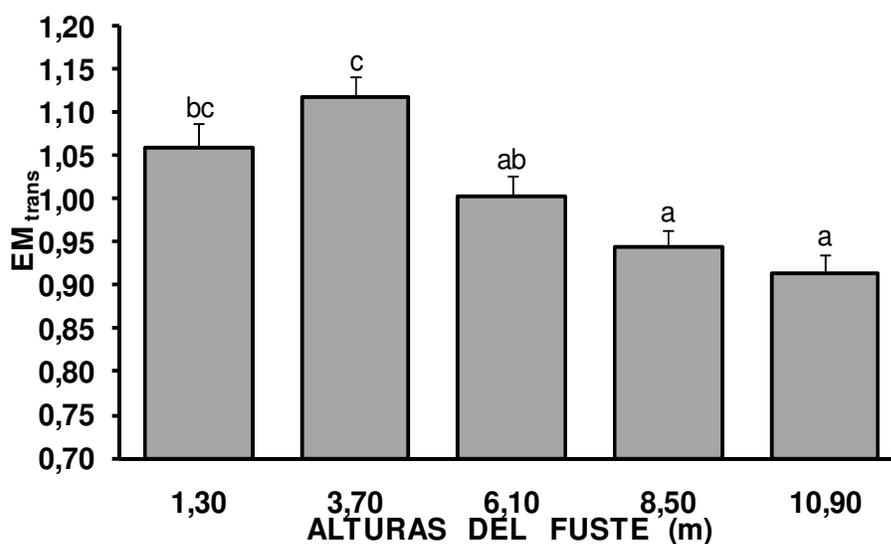


Figura 4.13. Valores de EM_{trans} según alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=107$).

Las mayores excentricidades de medula se encontraron en la porción basal del fuste, aumentando un 6,3% desde los 1,30 m hasta los 3,70 m, altura de máxima excentricidad ($EM_{trans}=1,12$ cm). Por encima de los 3,70 m de altura, la excentricidad disminuyó significativamente, un 11,6% hasta a los 6,10 m. En las siguientes alturas, la excentricidad disminuyó, aunque sin diferenciarse estadísticamente. Los tres genotipos presentaron un patrón similar al de la Figura 4.13, de manera que la interacción clon x posición en altura del fuste no fue significativa al 5% de probabilidad. Los tratamientos establecidos para la EM_{trans} , con interacciones triples y la cuádruple tampoco resultaron significativos (Tabla 4.7).

4.1.3. Relación albura-duramen (RA/D)

En la Tabla 4.8 se encuentran los resultados del análisis de varianza para la RA/D transformada (RA/D_{trans}), según los tratamientos de interés para los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad, en tanto, en la Figura 4.14 están representados los valores medios de la RA/D_{trans} de los tres clones analizados y sus errores estándares.

Tabla 4.8. Resultados del análisis de la varianza para RA/D_{trans} .

Fuente de Variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	1,018	407,046	<0,0001**
Intensidad de Raleo (R)	2	0,070	27,930	<0,0001**
Estados de competencia (ECC)	1	0,100	39,830	<0,0001**
Posición (P)	4	0,630	251,867	<0,0001**
C x R	4	0,008	3,143	0,0144*
C x ECC	2	0,005	1,813	0,1652ns
C x P	8	0,042	16,715	<0,0001**
R x ECC	2	0,026	10,549	<0,0001**
R x P	8	0,003	1,166	0,3196ns
ECC x P	4	0,004	1,441	0,2210ns
C x R x ECC	4	0,008	3,122	0,0148*
C x R x P	16	0,004	1,759	0,0339*
C x ECC x P	8	0,004	1,428	0,1804ns
R x ECC x P	8	0,004	1,670	0,1042ns
C x R x ECC x P	16	0,002	0,982	0,4821ns
Error Residual	446	0,002		
Total	533			
CV experimental (%)	5,89			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

El factor clon resultó tener una influencia altamente significativa en la RA/D_{trans} . El clon 230 fue el de mayor proporción de albura, un 15% respecto del clon 232, y un 17% por encima del clon 214, de menor RA/D_{trans} . En tanto, la RA/D_{trans} del clon 232 estuvo aproximadamente un 2% por encima del clon 214.

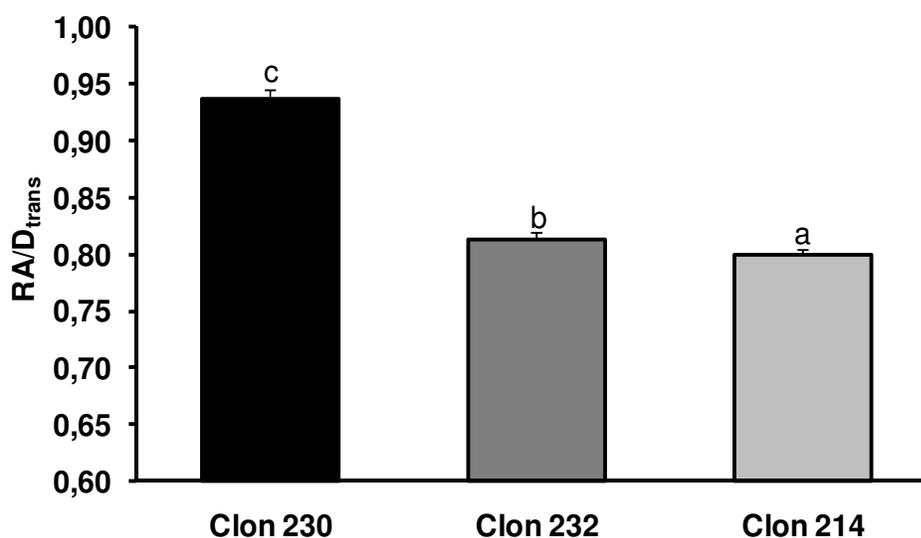


Figura 4.14. Valores de RA/D_{trans} de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (clon 230 $n=176$; clones 232 y 214 $n=180$).

El factor intensidad de raleo resultó tener una influencia altamente significativa en la cantidad de albura presente en el fuste, la RA/D_{trans} aumentó significativamente, en promedio un 4,1% en las intensidades intermedia y alta. Sin embargo, la interacción significativa entre clon e intensidad de raleo señala que los factores no actúan independientemente. En la Tabla 4.9 se presentan los contrastes postulados para la interacción significativa entre clon e intensidad de raleo.

Tabla 4.9. Contrastes de la RA/D_{trans} media entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo		GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,0854	6,28	0,0131 *
	Intermedia vs Alta	1	0,0021	0,15	0,6949 ns
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,0118	2,02	0,1575 ns
	Intermedia vs Alta	1	0,0011	0,19	0,6634 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	1	0,0260	4,77	0,0302 *
	Leve vs Alta	1	0,0455	8,34	0,0044 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

La Figura 4.15, muestra los valores medios de la RA/D_{trans} de los niveles de clon en cada nivel de raleo y sus errores estándares. En esta figura se evidencian distintas respuestas de los clones al grado de abertura del dosel, en términos de proporción albura-duramen en el fuste.

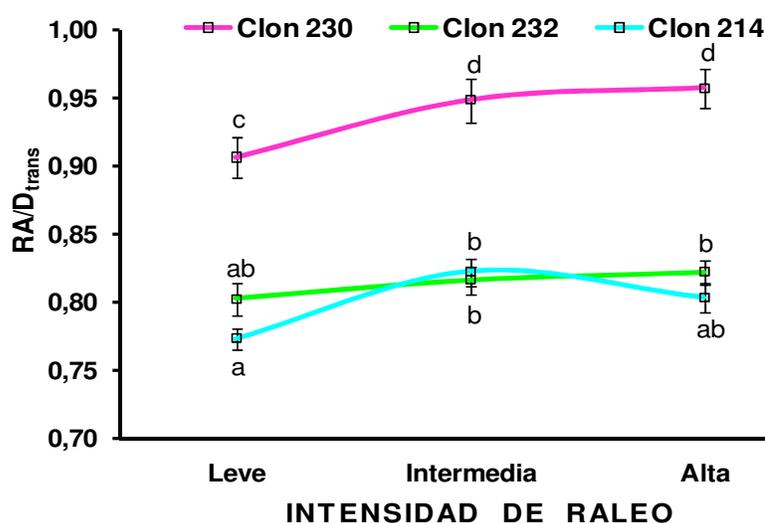


Figura 4.15. Valores de RA/D_{trans} según las intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (en los clones 232 y 214 $n = 60$; clon 230 Intensidad de raleo alta $n = 56$).

En el clon 230 la RA/D_{trans} aumentó significativamente, un 4,6% en la intensidad intermedia, en tanto, este aumento fue casi imperceptible entre la intermedia y alta (0,9%). En el clon 232, la RA/D_{trans} no se diferenció significativamente entre las tres intensidades de raleo estudiadas (Figura 4.15 y Tabla 4.9). Por su parte, en el clon 214 la RA/D_{trans} sólo se diferenciaron significativamente las intensidades de raleo leve e intermedia,

en esta última la RA/D_{trans} ascendió un 6,3%. En tanto, en la intensidad de raleo alta esta relación disminuyó un 2,3% (Figura 4.15).

En relación al párrafo anterior, en la Tabla 4.10 se presentan espesores de albura (EA) y diámetros de duramen (DD) en cm y las respectivas secciones medias de albura (SA) y duramen (SD) en cm^2 con los desvíos estándares para cada nivel de clon e intensidad de raleo. En el clon 230, la sección de albura aumentó un 12,4% entre las intensidades leve e intermedia y un 14,5% entre las intensidades intermedia y alta; lo propio ocurrió con la sección del duramen, aunque en menor proporción, un 4,1% y un 10,8% respectivamente. En el clon 232, la secciones de albura y duramen aumentan apreciablemente, la SA aumentó un 35,7% y un 29,4% entre las intensidades de raleo leve-intermedia e intermedia-alta respectivamente. Del mismo modo, la SD aumentó un 34,3% y un 22,5% entre las mismas intensidades de raleo. Por su parte, en el clon 214 el área de la albura aumentó un 39,1% entre las intensidades leve e intermedia y sólo un 7,1% entre las intensidades intermedia y alta. En tanto, el área del duramen aumentó un 20,8% y un 14,6% respectivamente.

Tabla 4.10. Valores de espesor de albura (EA) en cm, secciones de albura (SA) en cm^2 , diámetro de duramen (DD) en cm y secciones de duramen (SD) en cm^2 , según intensidad de raleo discriminados por clon (230, 232 y 214) de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Niveles de Clon	Variables	Niveles de Raleo		
		Leve	Intermedia	Alta
230	EA	2,8 (0,35)	3,0 (0,34)	3,3 (0,30)
	SA	166,5 (33,6)	187,2 (32,1)	214,2 (33,7)
	DD	16,3 (2,76)	16,6 (2,92)	17,5 (2,71)
	SD	213,6 (71,3)	222,4 (78,3)	246,5 (76,1)
232	EA	2,1 (0,25)	2,5 (0,34)	2,9 (0,28)
	SA	119,7 (20,4)	162,4 (36,5)	210,0 (42,8)
	DD	15,5 (2,18)	18,0 (2,68)	19,9 (2,78)
	SD	193,3 (53,0)	259,6 (76,6)	318,2 (88,6)
214	EA	2,3 (0,21)	2,8 (0,30)	2,8 (0,26)
	SA	139,4 (25,2)	193,8 (31,0)	207,5 (37,1)
	DD	17,3 (2,41)	19,1 (2,46)	20,3 (3,05)
	SD	239,7 (67,9)	289,7 (75,6)	332,0 (100,9)

Los valores entre paréntesis corresponden al desvío estandar (cm) para EA y DD y (cm^2) para SA y SD.

El factor posición en altura del fuste resultó una influencia altamente significativa en el comportamiento de la RA/D_{trans} . En general, la RA/D_{trans} se incrementó con cada altura del fuste analizada. Sin embargo, la interacción C x P también fue altamente significativa; en la Tabla 4.11 se presentan los contrastes planteados para los distintos niveles de posición en cada nivel de clon.

Tabla 4.11. Contrastes de medias entre posiciones a distintas alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon	Posiciones en Altura del Fuste	GL	CM	F	PR >F
230	P ₁ vs (P ₂ , P ₃ , P ₄ y P ₅)	1	0,7390	295,85	<,0001 **
	P ₂ -P ₃ vs P ₄ -P ₅	1	0,8265	330,90	<,0001 **
	P ₂ vs P ₃	1	0,0547	21,92	<,0001 **
	P ₄ vs P ₅	1	0,1826	73,11	<,0001 **
232	P ₁ vs (P ₂ , P ₃ , P ₄ y P ₅)	1	0,1413	56,57	<,0001 **
	P ₂ -P ₃ vs P ₄ -P ₅	1	0,3158	126,45	<,0001 **
	P ₂ vs P ₃	1	0,0186	7,44	<,0066 **
	P ₄ vs P ₅	1	0,0230	9,21	<,0025 **
214	P ₁ vs (P ₂ , P ₃ , P ₄ y P ₅)	1	0,3472	138,99	<,0001 **
	P ₂ -P ₃ vs P ₄ -P ₅	1	0,1505	60,27	<,0001 **
	P ₂ vs P ₃	1	0,0257	10,30	<,0014 **
	P ₄ vs P ₅	1	0,0112	4,47	<,0350 *

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.16 se presenta la RA/D_{trans} en las alturas del fuste analizadas para los tres clones y sus errores estándares. En ella se observa una respuesta diferente en los primeros 2,40 metros de altura, en esta porción del fuste la RA/D_{trans} se mantuvo sin variación en el clon 232. Por su parte, los otros dos clones muestran un aumento significativo en su RA/D_{trans} , demostrando de esta manera la interacción.

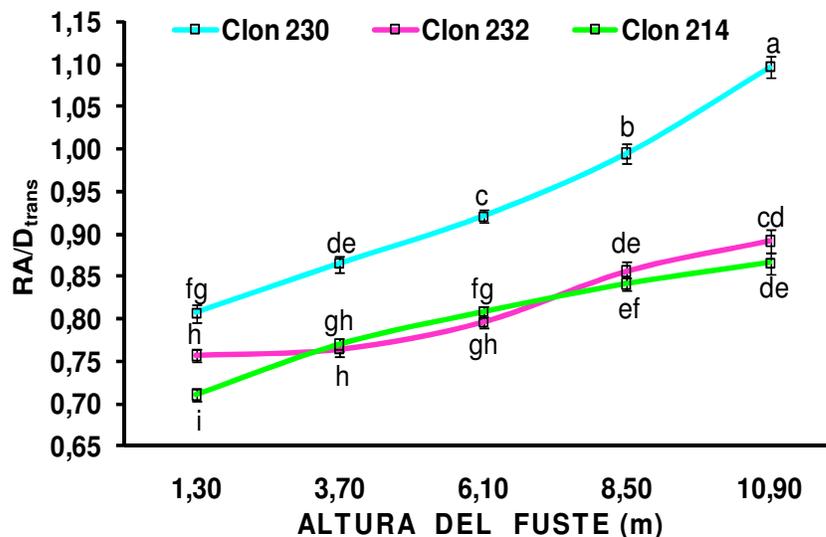


Figura 4.16. Valores de RA/D_{trans} según posiciones en alturas del fuste de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencia significativa por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=36$).

En el clon 232, la RA/D_{trans} se mantuvo casi sin variación hasta los 6,10 m ($RA/D_{trans} \approx 0,77$), de ahí esta relación aumentó un 7,5% a los 8,50 metros de altura y otros 4,2% hasta la última posición analizada (10,90 m). En tanto, para la misma porción del fuste (hasta los 6,10 metros de altura) los clones 230 y 214 ya presentaron aumentos significativos del 14,1% y 13,6% respectivamente.

En la Tabla 4.12 se presentan sintéticamente los valores medios por posición en altura del fuste y promedio general del espesor de albura y el diámetro del duramen de los tres clones analizados. En esta tabla puede advertirse para todos los niveles de altura analizados, que el clon 230 presentó los mayores espesores de albura y menor diámetro del duramen.

Tabla 4.12. Valores de espesor de albura (EA) en cm y diámetro del duramen (DD) en cm en los niveles de alturas de fuste analizadas de los tres clones *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Niveles de Alturas del Fuste (m)							
Niveles de Clon	VARIABLES	1,30	3,70	6,10	8,50	10,90	Promedio
230	EA	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,0
	DD	20,1	18,4	16,7	15,3	13,3	16,8
232	EA	2,6	2,5	2,5	2,6	2,4	2,5
	DD	21,0	19,3	17,9	16,2	14,8	17,8
214	EA	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6
	DD	22,4	20,3	18,6	17,1	16,0	18,9

Para el factor estado de competencia se verificó diferencias altamente significativas entre los árboles con CS y CA. La RA/D_{trans} de los árboles con CA aumentó un 4%, en relación a los árboles con CS. En la Figura 4.17 se presentan los valores medios de la RA/D_{trans} según estados de competencia y sus errores estándares.

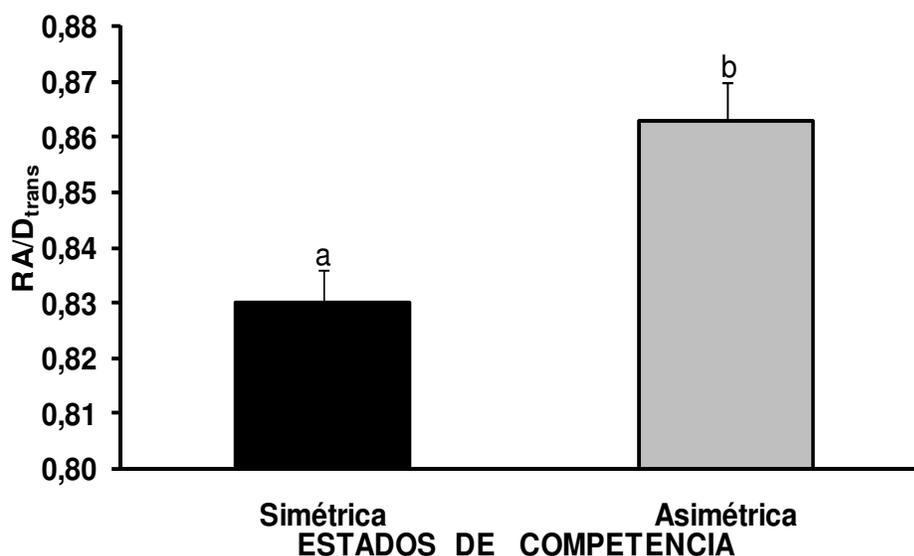


Figura 4.17. Valores de RA/D_{trans} de los estados de competencia en *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=268$).

Las interacciones dobles entre C x ECC; R x P y ECC x P no fueron significativas, en tanto, la interacción R x ECC resultó altamente significativa

(Tabla 4.8). Al respecto, los contrastes de interés postulados para los niveles de raleo en los estados de competencias son presentados en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Contrastes de las medias para las intensidad de raleo según los estados de competencia de los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	0,0857	7,24	0,0074 **
Leve vs Alta		1	0,0099	0,84	0,3594 ns
Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	0,0778	6,57	0,0106 *
Intermedia vs Alta		1	0,0236	2,00	0,1577 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.18, se puede observar que en los árboles con CA la RA/D_{trans} aumentó significativamente, un 5,4% desde el raleo leve al intermedio para luego descender un 3% en la intensidad alta. Por su parte, en los árboles con CS la proporción de albura, expresada por la RA/D_{trans} , aumentó en forma significativa y lineal, en promedio un 2,9% desde el raleo leve hacia la intensidad alta. Las respuestas diferentes en ambos estados de competencia demuestran la interacción significativa.

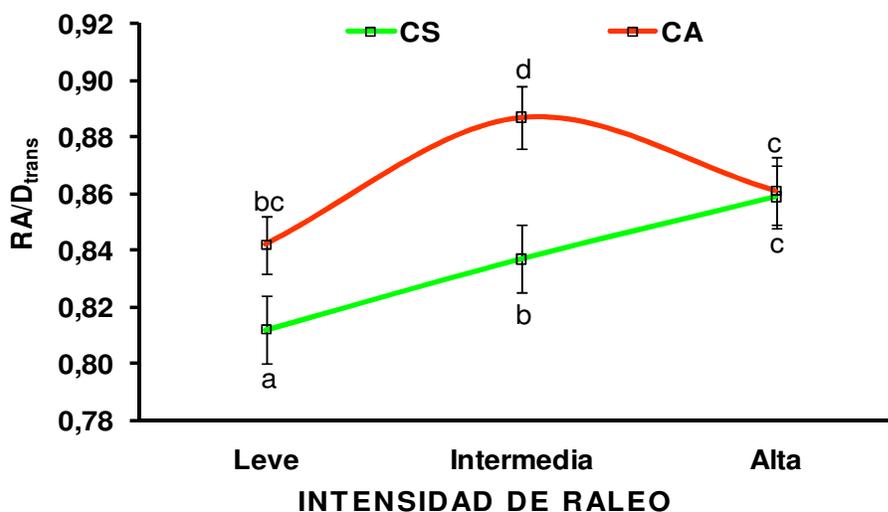


Figura 4.18. Valores de RA/D_{trans} según los niveles de raleos en los estados de competencia de los clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=89$).

En la Tabla 4.14 se agrupan los valores medios y desvíos estándar del espesor de albura y diámetro del duramen según los niveles de

competencia (simétrica y asimétrica) en los tres niveles de raleo. En general, en los niveles de raleo analizados, el espesor de la albura aumenta en árboles con CA, esto puede advertirse en la Figura 4.19 dispuesta en el Anexo I.

Tabla 4.14. Valores de espesor de albura (EA) en cm y diámetro de duramen (DD) en cm según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Variables	Niveles de Raleo			
	ECC	Leve	Intermedia	Alta
Espesor de Albura (cm)	CS	2,3 (0,34)	2,7 (0,37)	3,0 (0,35)
	CA	2,5 (0,41)	2,9 (0,37)	3,0 (0,33)
Diámetro de Duramen (cm)	CS	16,2 (2,45)	18,0 (2,77)	19,0 (3,10)
	CA	16,5 (2,65)	17,8 (2,97)	19,6 (3,07)

Los valores entre paréntesis corresponden al desvío estándar (cm).

Las interacciones triples C x ECC x P y R x ECC x P no resultaron significativas. En tanto, la interacción C x R x ECC resultó significativa al 5% de probabilidad. En la Tabla 4.15 se presentan los contrastes para dicha interacción, éstos fueron postulados buscando comparar niveles extremos de RA/D_{trans} (alto o bajos (deseable)) con los promedios de los demás y entre valores cercanos entre sí.

Tabla 4.15. Contrastes de las medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.

Clon	Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
230	Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	0,0246	9,8447	0,0018 **
	Leve vs Alta	CA	1	0,0167	6,6779	0,0101 *
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	0,0478	19,1329	<0,0001 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	0,0168	6,7330	0,0098 **
232	Alta vs (Leve e Intermedia)	CA	1	0,0013	0,5297	0,4671 ns
	Leve vs Intermedia	CA	1	0,0001	0,0309	0,8606 ns
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	0,0270	10,8242	0,0011 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	0,0069	2,7674	0,0969 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	0,0871	34,8622	<0,0001 **
	Leve vs Alta	CA	1	0,0144	5,7589	0,0168 *
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	0,0094	3,7764	0,0526 ns
	Intermedia vs Alta	CS	1	0,0023	0,9384	0,3332 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.20 se presentan los valores medios de RA/D_{trans} de los tratamientos (estados de competencia e intensidades de raleo) en los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C). En esta figura se observan diferentes respuestas en los niveles de competencia (CS y CA) con las intensidades de raleo (niveles) en cada clon, corroborando la interacción.

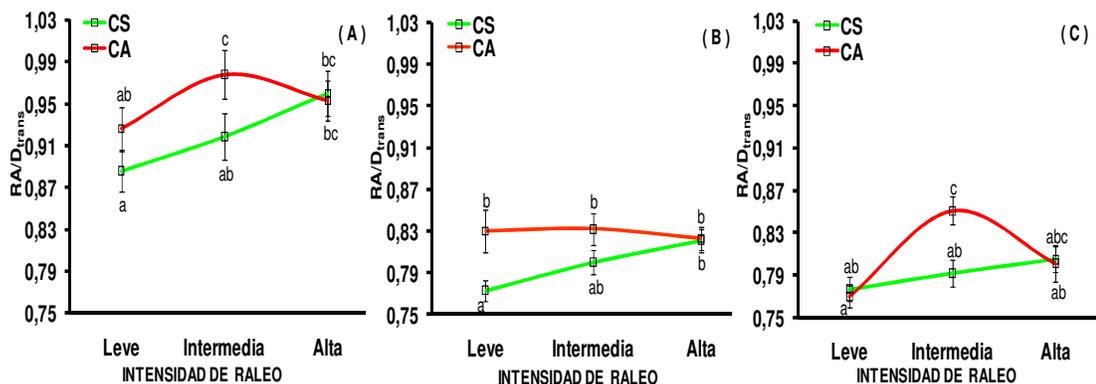


Figura 4.20. Valores de RA/D_{trans} según estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleos de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=30$).

En los árboles con CA del clon 230, la RA/D_{trans} aumentó en forma significativa (5,6%) desde el raleo leve al intermedio y una pequeña disminución (2,6%) entre éste y el raleo más intenso. En los árboles con CS la RA/D_{trans} aumentó en forma lineal, un 3,7% en la intensidad intermedia y otros 4,5% en la alta, diferenciándose significativamente los niveles de raleo extremos (leve y alta) (Figura 4.20 A). En el clon 232, la RA/D_{trans} de los árboles con CA fue similar en las tres intensidades de raleo. A su vez, en los árboles con CS el comportamiento de la RA/D_{trans} fue similar a la del clon 230, con un aumento lineal de un 3% a medida que aumentó la intensidad de raleo y diferenciándose significativamente los niveles de raleo extremos (leve y alta) (Figura 4.20 B). En el clon 214, la mayor RA/D_{trans} de los árboles con CA se concentró en el raleo intermedio, que aumentó un 10,5% respecto al raleo leve y del cual se diferenció estadísticamente. En los árboles con la CS el aumento lineal de la albura con la intensidad de raleo presentó el mismo patrón que los otros dos clones, aunque sin diferencias significativas entre las intensidades de raleo (Figura 4.20 C).

Para una mejor interpretación del efecto de los niveles de competencia e intensidades de raleo en la RA/D_{trans} de cada clon, se puede observar la Tabla 4.16 del Anexo I, donde se presentan los valores medios del espesor de albura, porcentaje de albura, diámetro del duramen y porcentaje de duramen.

No resultaron significativas las interacciones dobles R x P y ECC x P, ni las interacciones triples C x ECC x P y R x ECC x P. En tanto, la interacción C x R x P resultó significativa al 95% de probabilidad. En este sentido, la Tabla 4.17 presenta los contrastes para los tres clones, postulando diferentes niveles de raleo en una misma posición, manteniendo el mismo criterio de análisis que los demás contrastes.

Tabla 4.17. Contrastes de las medias para la interacción clon x intensidad de raleo x posición en altura del fuste.

Clon	Intensidad de Raleo	P	GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	2	1	0,0208	8,3179	0,0041 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	3	1	0,0154	6,1774	0,0133 *
	Leve vs (Intermedia y Alta)	4	1	0,0436	17,4387	<0,0001 **
232	Alta vs (Leve e Intermedia)	1	1	0,0005	0,1986	0,6560 ns
	Leve vs (Intermedia y Alta)	2	1	0,0148	5,9107	0,0154 *
	Intermedia vs (Leve y Alta)	4	1	0,0073	2,9067	0,0889 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	2	1	0,0110	4,4145	0,0362 *
	Intermedia vs (Leve y Alta)	3	1	0,0210	8,4264	0,0039 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	4	1	0,0194	7,7820	0,0055 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	5	1	0,0542	21,6899	<0,0001 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.21 se presentan los valores medios de la RA/D_{trans} de los tratamientos (posiciones en altura del fuste e intensidades de raleo) en los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C) permitiendo interpretar el resultado mostrado en la tabla del análisis de varianza.

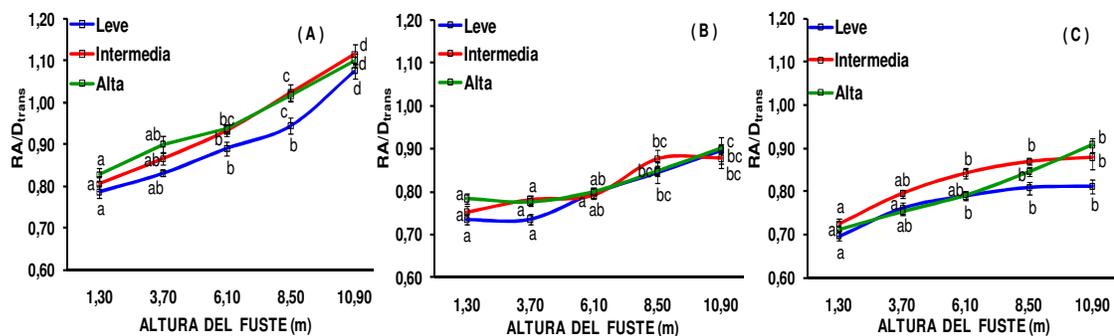


Figura 4.21. Valores de RA/D_{trans} según posiciones en alturas del fuste en las tres intensidades de raleos de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=12$).

En el clon 230 se obtuvieron intensidades de respuestas diferentes entre los niveles de raleo en algunos niveles de posición en altura del fuste (por ej., P_2 - P_3 y P_4 - P_5). Los contrastes planteados se diferenciaron significativamente (Tabla 4.17), la mayor diferencia encontrada fue en la P_4 (8,50 m), donde la RA/D_{trans} de las intensidades de raleo alta e intermedia aumentaron un 8,2% respecto de la leve. Por su parte, en los tres niveles de raleo se detectaron aumentos significativos de la RA/D_{trans} con el aumento de la altura del fuste (Figura 4.21 A).

En el clon 232, se observaron diferentes respuestas de los niveles de raleo para los primeros niveles de altura, entre los 1,30 m y 3,70 m, y en el último tramo analizado del fuste, entre los 8,50 m y 10,90 m. En este clon, sólo se detectaron diferencias significativas en la posición en altura (2) correspondiente a los 3,70 m (Tabla 4.17). En tanto, en los tres tratamientos de raleo se manifiestan aumentos significativos a los 8,50 metros de altura (Figura 4.21 B).

Por último, en el clon 214 la RA/D_{trans} de los niveles de raleo leve e intermedia aumentan progresivamente con los niveles de altura del fuste hasta los 10,90 m. Por su parte, la intensidad de raleo alta mostró idéntica distribución a la intensidad leve hasta los 6,10 m (Figura 4.21 C), de ahí la RA/D_{trans} aumentó un 2,8% hasta los 10,90 m. En todas las alturas del fuste

donde se postularon contrastes, se detectan diferencias significativas entre los niveles de raleo (Tabla 4.17).

4.2. Análisis de los Parámetros Dendrométricos de los Árboles de Inventario

4.2.1. Altura dominante (h_{dom})

En la Tabla 4.18 se presenta el análisis de varianza para la altura dominante (h_{dom}) de los árboles presentes en el inventario. Se puede observar que la altura dominante se diferenció en forma significativa entre clones y entre las intensidades de raleo. De la misma forma, la interacción entre estos dos factores (C x R) resultó altamente significativa, indicando una dependencia entre estos factores en su efecto sobre la h_{dom} .

Tabla 4.18. Resultado del análisis de varianza para la h_{dom} (m) de los árboles de inventario.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	6,0793	6,5343	0,0022 **
Intensidad de Raleo (R)	2	21,5516	23,1643	<,0001 **
C x R	4	4,2825	4,6029	0,0019 **
Error Residual	99	0,9304		
Total	107			
CV experimental (%)	3,05			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Tabla 4.19 se presentan los contrastes para la interacción significativa entre clon e intensidad de raleo, en tanto, en la Figura 4.22 se presentan la altura dominante media en cada nivel de raleo para los clones 230, 232 y 214 con sus respectivos errores estándares.

Tabla 4.19. Contrastes para la altura dominante entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo	GL	CM	F	Pr >F
230 Leve vs (Intermedia y Alta)	1	29,7863	32,0153	<,0001 **
	1	4,7615	5,1178	0,0259 *
232 Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,7938	0,8532	0,3579 ns
	1	0,0368	0,0396	0,8427 ns
214 Leve vs (Intermedia y Alta)	1	24,1744	25,9834	<,0001 **
	1	0,6801	0,7310	0,3946 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.22 pueden advertirse distintos comportamientos en la altura dominante de los clones al pasar de un nivel a otro del factor raleo (intensidad). Así, los clones 230 y 214 presentaron una mayor altura dominante en la intensidad de raleo leve, disminuyendo significativamente en las intensidades de raleo intermedia y alta, estas últimas no se diferenciaron significativamente entre sí. Por su parte, las alturas dominantes del clon 232 no fueron afectadas por la intensidad de raleo.

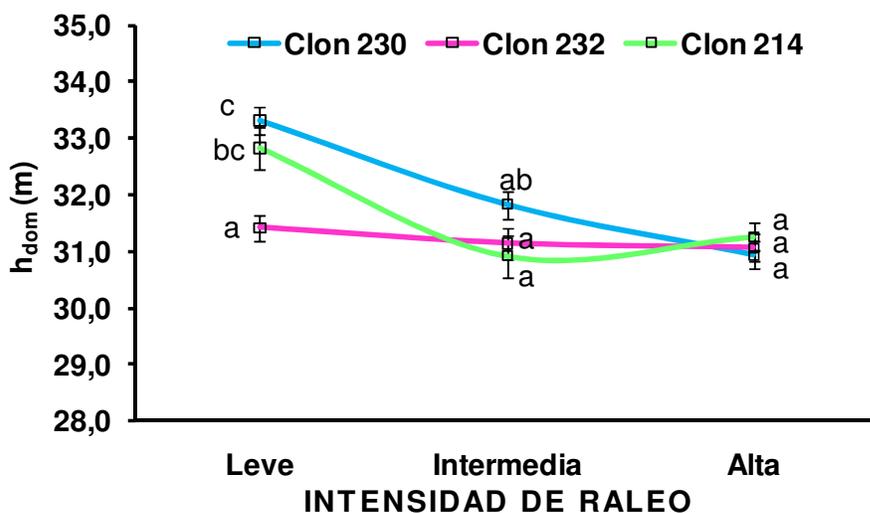


Figura 4.22. Altura dominante (m) de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea según las intensidades de raleos en los clones 230, 232 y 214 a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=12$).

Los resultados encontrados comparativamente con las curvas de índice de sitio desarrolladas por GLADE (1999) (90) para el NE de Entre Ríos y SE de Corrientes, se ubican en una clase de calidad alta.

4.2.2. Diámetro cuadrático medio (Dg) y altura media

En la Tabla 4.20 se presenta el análisis de varianza para la variable del Dg de los árboles de inventario según las intensidades de raleo y estados de competencia de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad. El factor clon resultó tener incidencias altamente significativas en el Dg. Los diámetros de los clones 230 (29,2 cm) y 232 (28,6 cm) no se diferenciaron

significativamente, sin embargo, son estadísticamente diferentes al del clon 214 con un Dg de 29,8 cm.

Tabla 4.20. Resultados del análisis de la varianza para el Dg de los árboles de inventario.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	37,3847	8,9158	0,0002 **
Intensidad de Raleo (R)	2	1034,2571	246,6589	<,0001 **
Estados de competencia (ECC)	1	54,8987	13,0927	0,0003 **
C x R	4	77,8105	18,5569	<,0001 **
C x ECC	2	5,2485	1,2517	0,2872 ns
R x ECC	2	18,7246	4,4656	0,0121 *
C x R x ECC	4	10,5063	2,5056	0,0418 *
Error Residual	376	4,1931		
Total	393			
CV experimental (%)	7,22			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

La Tabla 4.21 muestra los contrastes que corresponden a la interacción significativa C x R. Por su parte, en la Figura 4.23 se muestra los valores medios del Dg y sus respectivos errores estándares de acuerdo a las intensidades de raleo en cada uno de los clones analizados.

Tabla 4.21. Contrastes para el Dg entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo	GL	CM	F	Pr >F	
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	231,3440	55,1730	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	3,1393	0,7487	0,3874 ns
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	1585,9784	378,2384	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	99,5019	23,7301	<,0001 **
214	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	574,3321	136,9719	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	104,1254	24,8328	<,0001 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.23 se manifiestan distintas respuestas de los clones al grado de abertura del dosel (leve y alta). Individualmente cada clon reacciona significativamente a la apertura del dosel, aún en baja densidad de árboles por hectárea se evidencia una competencia por los recursos disponibles en los clones 232 y 214 con diferencias significativas entre las tres intensidades de raleo, en tanto, esta respuesta no es reflejada en el clon

230, donde el Dg no se diferenció en forma significativa entre el raleo intermedio y el raleo de mayor intensidad (Tabla 4.21 y Figura 4.23).

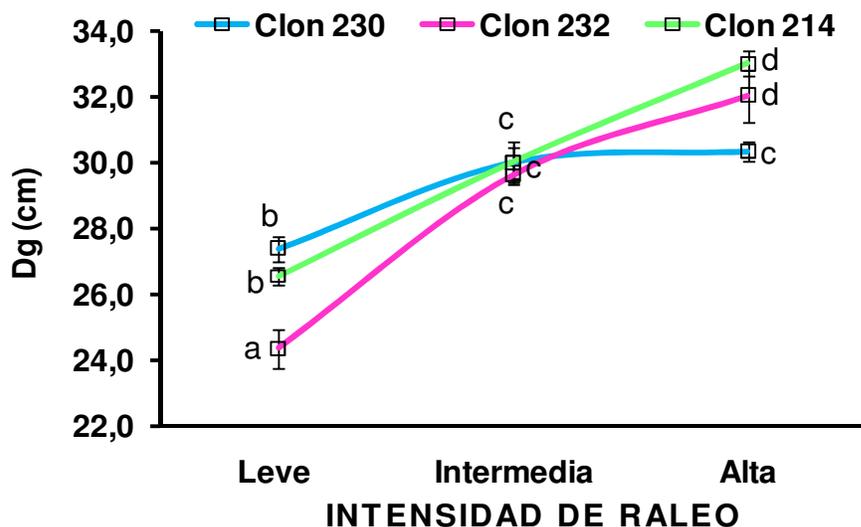


Figura 4.23. Valores de Dg de los árboles de inventario en las intensidades de raleos en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar.

El estado de competencia tiene una influencia altamente significativa en esta variable dendrométrica. En los árboles con CA el Dg, en promedio fue un 2,9% mayor, respecto al Dg de los árboles con CS (Dg=28,8 cm). Sin embargo, la interacción R x ECC resulta altamente significativa (Tabla 4.20). Los contrastes de interés planteados para los niveles de raleo en los estados de competencias son presentados en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Contrastes de medias del Dg para las intensidades de raleo según los estados de competencia de los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

INTENSIDAD DE RALEO	ECC	GL	CM	F	Pr >F
Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	1223,7791	291,858	<,0001 **
Intermedia vs Alta		1	29,5322	7,0431	0,0083 **
Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	839,7747	200,277	<,0001 **
Intermedia vs Alta		1	157,6990	37,609	<,0001 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.24 se presentan los valores de Dg según las intensidades de raleo y estados de competencia contrastantes con sus

respectivos errores estándares. En esta figura se advierten distintas respuestas de los estados de competencia de los árboles al grado de apertura del dosel. En las intensidades de raleo extremas (leve y alta), los árboles con CA aumentan un 3,7% y un 5,3% su Dg en relación a los de CS. En tanto, con el raleo intermedio ambos estados de competencia presentan diámetros similares.

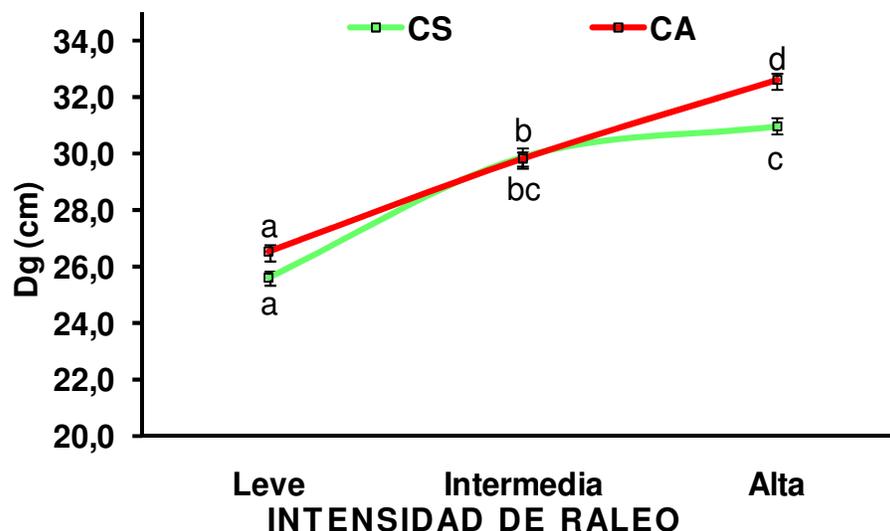


Figura 4.24. Valores de Dg de los árboles de inventario en los estados de competencia de los clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar.

La interacción C x ECC no fue significativa debido a las respuestas de los clones de acuerdo a los niveles de competencia. En este sentido, el Dg de los árboles con CA del clon 230 aumenta sólo un 1,1%, respecto de los de CS con un Dg de 29 cm. En los clones 232 y 214, los incrementos alcanzan un 3,6% y 3,9% respecto de los de CS que promediaron Dg de 28,1 cm y 29,3 cm respectivamente.

La interacción C x R x ECC resultó significativa al 95% de probabilidad. En la Tabla 4.23 se presentan los contrastes para dicha interacción, éstos fueron planteados buscando comparar el nivel de raleo leve con los promedios de los demás y entre valores cercanos entre sí.

Tabla 4.23. Contrastes de medias del Dg para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.

Clon	Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	167,15	39,86	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	4,17	0,99	0,3193 ns
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	72,09	17,19	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	23,99	5,72	0,0172 *
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	852,87	203,40	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	5,65	1,35	0,2464 ns
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	738,40	176,10	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	125,93	30,03	<,0001 **
214	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	373,42	89,06	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	81,59	19,46	<,0001 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	249,45	59,49	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	36,41	8,68	0,0034 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.25 se presentan los valores medios de Dg de los tratamientos (estados de competencia e intensidades de raleo) en los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C) y sus respectivos errores estándares. En estas figuras se observan diferentes respuestas en los niveles de competencia (CS y CA) con los tratamientos de raleo (niveles) en cada clon, corroborando la interacción.

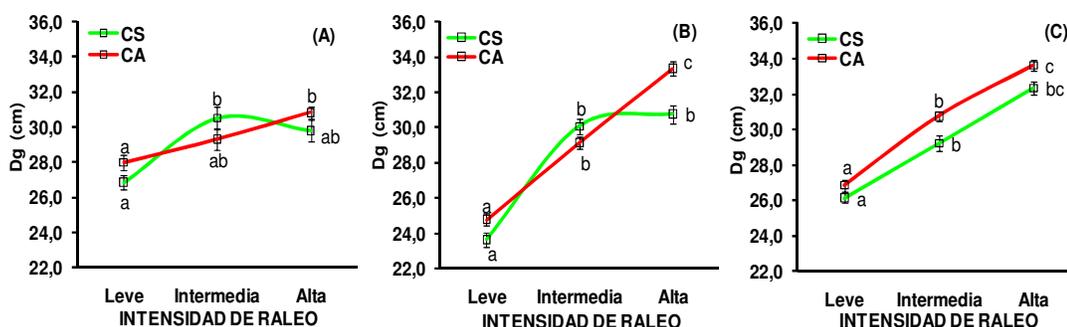


Figura 4.25. Valores medios del Dg según estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleos de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar.

Los estados de competencia de los clones 230 y 232 presentan similares comportamientos con el aumento en el nivel del raleo, los árboles

con CS, no evidencian aumento diametral entre la intensidad de raleo intermedia y alta. En tanto, en los árboles con CA el Dg aumento en forma significativa y lineal con la intensidad de raleo. Por su parte, los Dg en ambos estados de competencia del clon 214 aumentan significativamente con el aumento en la intensidad de raleo.

En la Tabla 4.24 se presenta el análisis de varianza para la variable altura total media de los árboles de inventario según las intensidades de raleo y estados de competencia de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad.

Tabla 4.24. Resultados del análisis de la varianza para la altura media de los árboles de inventario.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	17,0466	11,6448	<,0001 **
Intensidad de Raleo (R)	2	13,6715	9,3392	0,0001 **
Estados de competencia (ECC)	1	0,0002	0,0001	0,9912 ns
C x R	4	33,0325	22,5650	<,0001 **
C x ECC	2	0,0630	0,0430	0,9579 ns
R x ECC	2	0,0804	0,0549	0,9465 ns
C x R x ECC	4	1,4072	0,9612	0,4287 ns
Error Residual	376	1,4639		
Total	393			
CV experimental (%)	3,85			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

Los factores clon e intensidad de raleo resultan altamente significativos. También, la interacción entre estos dos factores resulta altamente significativa, lo que indica que no actúan independientemente. En la Tabla 4.25 se presentan los contrastes para la interacción C x R, en tanto, en la Figura 4.26 se muestra los valores medios de la altura total (m) y sus respectivos errores estándares de acuerdo a las intensidades de raleo en cada uno de los clones.

Tabla 4.25. Contrastes para la altura media entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis* a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo		GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	70,2675	48,0008	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	26,3415	17,9943	<,0001 **
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	25,1213	17,1607	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	0,5383	0,3677	0,5446 ns
214	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	23,8438	16,2881	0,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	7,5252	5,1406	0,0239 *

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.26 se advierten diferentes tendencias de los clones con el grado de abertura del dosel, corroborando de esta manera la interacción. Los árboles del clon 230 muestran una disminución significativa con el aumento de la intensidad del raleo, encontrándose las menores alturas en la intensidad de raleo alta. De la misma forma, en el clon 214 las menores alturas corresponden a las intensidades de raleo intermedia y alta, aunque sin diferenciarse significativamente entre sí. Contrariamente, en el clon 232 la altura aumenta con la intensidad de raleo intermedia y se mantiene sin variación con la intensidad alta.

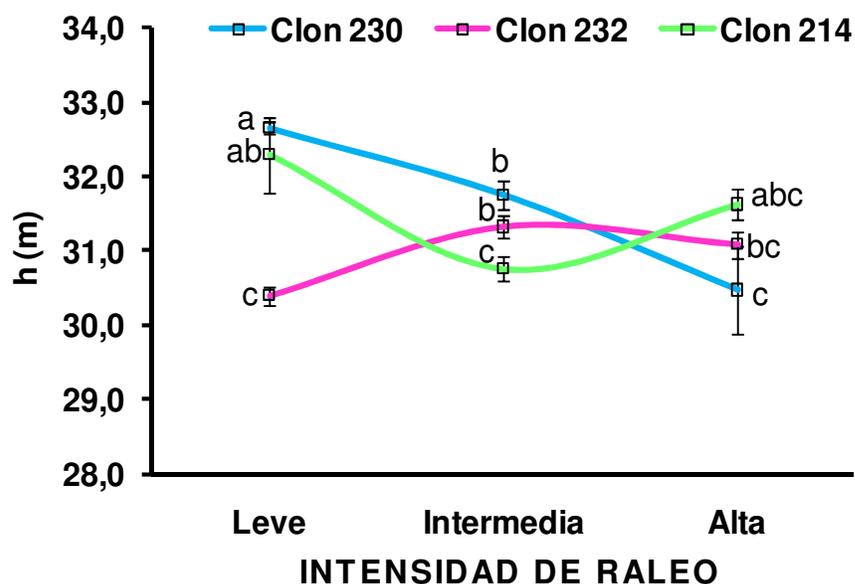


Figura 4.26. Valores de altura total según las intensidades de raleos en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar.

El factor estado de competencia no muestra influencia en el comportamiento de la altura total de los árboles en los tres clones. Las interacciones dobles y triples analizadas para esta variable no fueron significativas.

4.2.3. Volumen total con corteza por hectárea ($m^3 ha^{-1}$)

En la Tabla 4.26 se presenta el análisis de la varianza para la producción volumétrica ($m^3 ha^{-1}$) estimada a partir del inventario según las intensidades de raleo y estados de competencia de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad. En ésta se advierten influencias altamente significativas de los factores clon, intensidad de raleo y estados de competencia. Sin embargo, se deben considerar las interacciones altamente significativas de C x ECC y C x R x ECC.

Tabla 4.26. Resultados del análisis de la varianza para la producción volumétrica ($m^3 ha^{-1}$).

Fuente de Variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	10650,186	7,51	0,0006 **
Intensidad de Raleo (R)	2	99746,933	70,35	<,0001 **
Estados de competencia (ECC)	1	44334,554	31,27	<,0001 **
C x R	4	855,140	0,60	0,6606 ns
C x ECC	2	62757,688	44,26	<,0001 **
R x ECC	2	3336,349	2,35	0,0965 ns
C x R x ECC	4	52787,699	37,23	<,0001 **
Error Residual	376	1417,836		
Total	393			
CV experimental (%)	21,63			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.27 se presentan la producción volumétrica según los estados de competencia en cada clon y sus respectivos errores estándares. En los clones 232 y 214 se registró una mayor proporción de árboles con CS por hectárea, 52,7% y 63,1% respectivamente. La cantidad de árboles influencia significativamente en la producción volumétrica del clon 214. Contrariamente, en el clon 230 se registró una mayor cantidad de árboles con CA, un 53,8% del total de árboles.

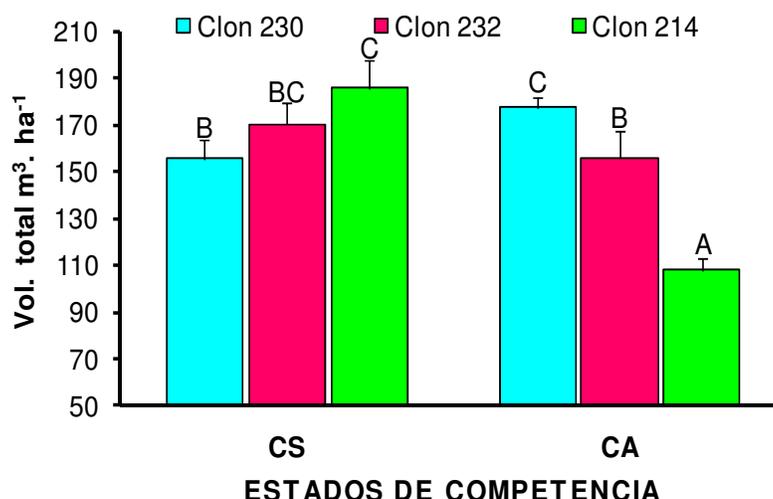


Figura 4.27. Volumen total por hectárea ($m^3 ha^{-1}$) según los estados de competencia en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar.

En la Tabla 4.27 se presentan los contrastes para la interacción C x R x ECC, éstos fueron postulados buscando comparar las producciones volumétricas extremas (máxima o mínima) con los promedios de los demás y entre valores cercanos entre sí.

Tabla 4.27. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.

Clon	Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	49764,24	35,10	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CS	1	17759,43	12,52	0,0005 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	33233,88	23,44	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	226,87	0,16	0,6894 ns
232	Intermedia vs (Leve y Alta)	CS	1	12527,96	8,84	0,0031 **
	Leve vs Alta	CS	1	13529,19	9,54	0,0022 **
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	99507,17	70,18	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	1124,88	0,79	0,3736 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	CS	1	118678,66	83,70	<,0001 **
	Leve vs Alta	CS	1	34817,86	24,56	<,0001 **
	Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	31564,66	22,26	<,0001 **
	Leve vs Alta	CA	1	9562,78	6,74	0,0098 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

La interacción C x R x ECC para la producción volumétrica se presenta en la Figura 4.28. La producción volumétrica en los estados de competencia en los niveles de raleo de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C). Se observan diferentes respuestas en los niveles de competencia (CS y CA) con los tratamientos de raleo (niveles) en cada clon, corroborando la interacción.

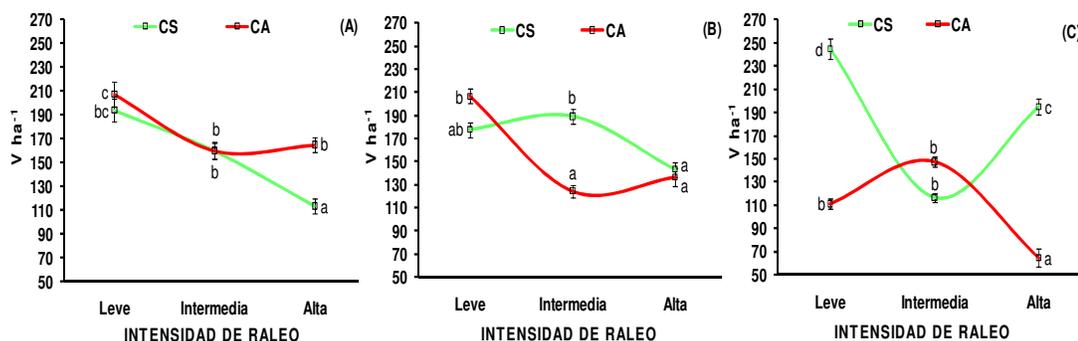


Figura 4.28. Producción volumétrica media ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) según estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar.

La producción volumétrica es influenciada por el número de árboles. Así, en el clon 230 se estiman una producción de $400,8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, $319,7 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ y $278,3 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ en los tratamientos de raleo leve, intermedio y alto respectivamente. En los primeros dos niveles de raleo los estados de competencia tiene similar participación sobre el volumen total, en la intensidad de raleo leve, el 48,3% corresponde a los árboles con CS y el 51,7% a árboles con CA, en tanto, en el raleo intermedio, el volumen total está compuesto por la misma proporción (50%) de CS y CA. Por su parte, en el raleo más intenso los estados de competencia tienen distinto “peso” sobre el volumen total, sólo el 40,8% del volumen total provienen de árboles con CS y el resto corresponden a árboles con CA (59,2%).

En el clon 232 se obtuvo una producción semejante $384,3 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, $313,6 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ y $280 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ en los tratamientos de raleo leve, intermedio y alto respectivamente. En el raleo leve, los árboles con CS representan el 46,2% del volumen total; en el raleo intermedio se encontraron mayor 101

cantidad de árboles con CS, representaron el 60,3% de la producción, en el raleo más intenso, el 51,2% del volumen total estimado corresponde a los árboles con CS.

El clon 214 presenta una producción de 356,2 m³ ha⁻¹, 264,4 m³ ha⁻¹ y 259,7 m³ ha⁻¹ en los tratamientos de raleo leve, intermedio y alto respectivamente. En las intensidades de raleo extremas (leve y alta) se encontraron mayores cantidades de árboles con CS, 68,8% y 75,1% respectivamente, en la intensidad de raleo intermedia se encontraron un 44,2% de árboles con CS.

4.3. Análisis de los Parámetros Dendrométricos de los Árboles Seleccionados

4.3.1. Diámetro medio y altura media

En la Tabla 4.28 se presenta el análisis de la varianza para el DAP de los árboles seleccionados para evaluación de propiedades tecnológicas del fuste según las intensidades de raleo y estados de competencia de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad. En ésta se advierten influencias altamente significativas de los factores clon e intensidad de raleo, así como de la interacción entre ambos factores (C x R).

Tabla 4.28. Resultados del análisis de la varianza para el DAP promedio (cm) de los árboles seleccionados.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	34,89	8,665	0,0004 **
Intensidad de Raleo (R)	2	255,48	63,45	<0,0001 **
Estados de competencia (ECC)	1	11,93	2,964	0,0886 ns
C x R	4	20,77	5,160	0,0009 **
C x ECC	2	9,58	2,380	0,0983 ns
R x ECC	2	1,19	0,295	0,7448 ns
C x R x ECC	4	3,08	0,765	0,5510 ns
Error Residual	90	4,03		
Total	107			
CV experimental (%)	6,84			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

Los contrastes postulados para la interacción C x R están presentes en la Tabla 4.29. En tanto, en la Figura 4.29 se presenta el comportamiento del DAP promedio de los clones con los niveles de raleo y sus errores estándares.

Tabla 4.29. Contrastes para el DAP medio entre los niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Clon	Clon x Intensidad de Raleo	GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	27,8756	6,9234	0,0100 **
	Intermedia vs Alta	1	13,2017	3,2789	0,0735 ns
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	290,8068	72,2272	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	65,6704	16,3105	0,0001 **
214	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	174,8450	43,4260	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	21,6600	5,3797	0,0226 *

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.29 se advierten distintas intensidades de respuestas de los clones al grado de abertura del dosel. Los árboles seleccionados de los clones 232 y 214 muestran aumentos significativos del DAP con el aumento del nivel del raleo. En tanto, los incrementos en DAP de los árboles dominantes y/o codominantes seleccionados en el clon 230 no difieren significativamente entre la intensidad de raleo alta e intermedia, a los 8 años de edad (Tabla 4.29).

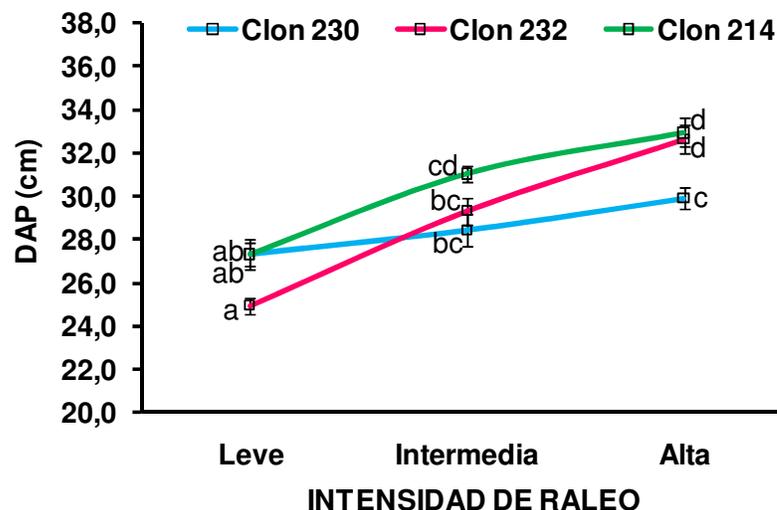


Figura 4.29. DAP medio de los árboles seleccionados según las intensidades de raleo en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan \pm un error estándar ($n=12$).

Los árboles con CA tienen en un mayor DAP promedio (29,6 cm), respecto de los de CS con un DAP de 29,0 cm, aunque según la Tabla 4.28, el factor estado de competencia no presenta influencia significativa al 95% de probabilidad. Tampoco las interacciones dobles C x ECC; R x ECC y la triple C x R x ECC resultaron significativas.

En la Tabla 4.30 se presenta el análisis de la varianza para la altura media de los árboles seleccionados y se advierte que el factor clon tiene un efecto altamente significativo en la altura media. En tanto, los factores intensidad de raleo y estados de competencia no resultan significativos.

Tabla 4.30. Resultados del análisis de la varianza para la altura media (m) de los árboles seleccionados.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	24,7569	62,2943	<,0001 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,3238	0,8148	0,4460 ns
Estados de competencia (ECC)	1	0,0370	0,0932	0,7609 ns
C x R	4	1,2714	3,1991	0,0167 *
C x ECC	2	0,0633	0,1594	0,8529 ns
R x ECC	2	0,0048	0,0121	0,9880 ns
C x R x ECC	4	0,2993	0,7532	0,5585 ns
Error Residual	90	0,3974		
Total	107			
<hr/>				
CV experimental (%)	2,11			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

La interacción C x R resultó significativa al 95% de probabilidad. En la Tabla 4.31 se presentan los contrastes planteados para dicha interacción, por su parte, la Figura 4.30 presenta los valores medios de altura en las intensidades de raleo de cada clon y sus respectivos errores estándares.

Tabla 4.31. Contrastes de media para la altura total entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo		GL	CM	F	Pr >F
230	Intermedia vs (Leve y Alta)	1	0,4786	1,2042	0,2754 ns
	Leve vs Alta	1	1,0292	2,5897	0,1111 ns
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,2713	0,6828	0,4108 ns
	Intermedia vs Alta	1	0,1536	0,3865	0,5357 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	1	3,7996	9,5607	0,0026 **
	Leve vs Alta	1	0,0008	0,0021	0,9639 ns

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.30 los clones presentan distintas direcciones de respuesta a medida que aumentan los niveles del factor raleo. Sin embargo, las alturas de los árboles dominantes y/o codominantes seleccionados no resultan afectados por la intensidad de raleo, en ninguno de los tres clones. Las alturas de los clones 230 y 214 no evidencian diferencias significativas entre sí, en ninguna intensidad de raleo. En tanto, el clon 232 presenta alturas significativamente menores en los tres tratamientos de raleo, evaluados a los 8 años de edad.

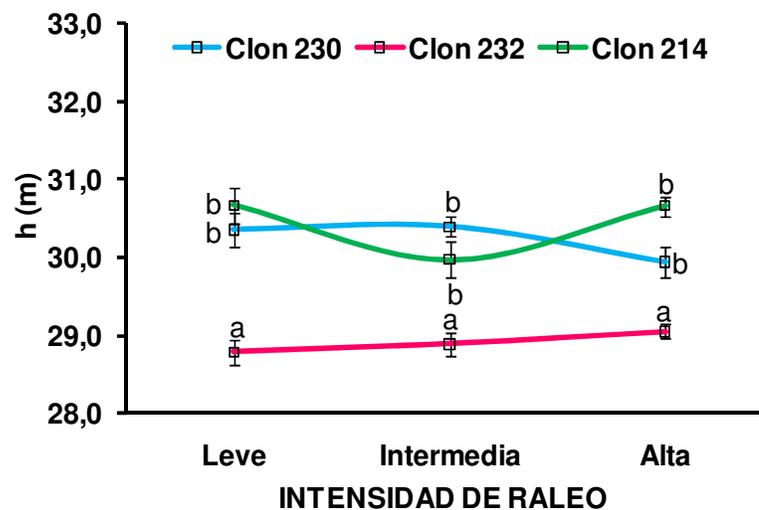


Figura 4.30. Altura total media (m) de los árboles seleccionados según los niveles de raleo en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=12$).

Las interacciones dobles C x ECC; R x ECC y la triple C x R x ECC no resultaron significativas.

4.3.2. Volumen individual total con corteza

En la Tabla 4.32 se presenta el análisis de la varianza para el volumen individual total con corteza (VIndcc) de los árboles seleccionados según las intensidades de raleo y estados de competencia de los clones 230, 232 y 214, a los 8 años de edad.

Tabla 4.32. Resultados del análisis de la varianza para el volumen individual con corteza (m³) de los árboles seleccionados.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,1471	9,4867	0,0002 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,7882	50,8177	<,0001 **
Estados de competencia (ECC)	1	0,0347	2,2353	0,1384 ns
C x R	4	0,0614	3,9588	0,0053 **
C x ECC	2	0,0255	1,6470	0,1984 ns
R x ECC	2	0,0016	0,1025	0,9027 ns
C x R x ECC	4	0,0136	0,8742	0,4827 ns
Error Residual	90	0,0155		
Total	107			
CV experimental (%)	14,18			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

El volumen medio individual con corteza de los árboles seleccionados es influenciado significativamente por el material genético y la intensidad de raleo. Asimismo, la interacción entre ambos factores resultó altamente significativa.

En la Tabla 4.33 se presentan los contrastes planteados para evaluar la interacción C x R. En tanto, en la Figura 4.31 se presenta el comportamiento del VIndcc (m³) de los clones con los niveles de raleo y sus errores estándares.

Tabla 4.33. Contrastes de medias para el volumen individual entre niveles de raleo de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad.

Clon x Intensidad de Raleo		GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,079	5,068	0,0268 *
	Intermedia vs Alta	1	0,039	2,512	0,1165 ns
232	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,803	51,805	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	0,220	14,187	0,0003 **
214	Leve vs (Intermedia y Alta)	1	0,573	36,943	<,0001 **
	Intermedia vs Alta	1	0,108	6,955	0,0098 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.31 se puede advertir que la interacción resulta significativa debido a la diferente respuesta de los clones con el aumento en los niveles de raleo.

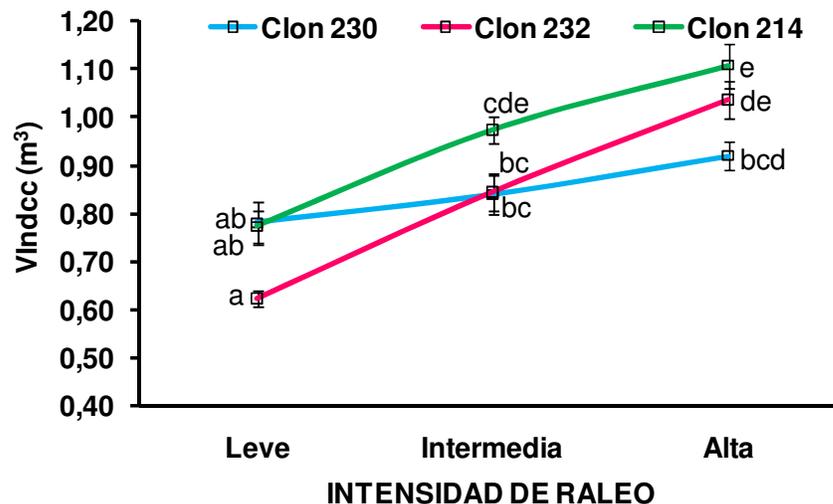


Figura 4.31. Volúmenes medios individuales con corteza (m^3) de los árboles seleccionados según los niveles de raleo en los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=12$).

Las interacciones dobles C x ECC; R x ECC y la triple C x R x ECC no resultaron significativas.

4.4. Forma del Fuste

En la Tabla 4.34 se presenta el análisis de la varianza para el cociente de forma de Hohenadl al 30% de la altura del fuste ($K_{0,30}$) para los tres clones de *E. grandis* a los 8 años de edad. A esta altura del fuste se

encontró influencia altamente significativa del factor intensidad de raleo. Sin embargo, la interacción triple C x R x ECC también resulta significativa al 95% de probabilidad.

Tabla 4.34. Resultados del análisis de varianza para el cociente de Hohenadl $K_{0,30}$.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,0002694	1,533	0,2216 ns
Intensidad de Raleo (R)	2	0,0010781	6,134	0,0032 **
Estados de competencia (ECC)	1	0,0000030	0,017	0,8963 ns
C x R	4	0,0003447	1,961	0,1074 ns
C x ECC	2	0,0003676	2,091	0,1296 ns
R x ECC	2	0,0002269	1,291	0,2801 ns
C x R x ECC	4	0,0005066	2,883	0,0270 *
Error Residual	88	0,00017574		
Total	105			

CV experimental (%) 1,55

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Tabla 4.35 se presentan los contrastes para la interacción C x R x ECC. La Figura 4.32, muestra los valores medios de $K_{0,30}$ de los niveles de competencia en cada nivel de raleo de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C) y sus errores estándares.

Tabla 4.35. Contrastes de medias para la interacción clon x intensidad de raleo x estados de competencia.

Clon	Intensidad de Raleo	ECC	GL	CM	F	Pr >F
230	Leve vs (Intermedia y Alta)	CS	1	0,00088	5,01361	0,0277 *
	Intermedia vs Alta	CS	1	0,00010	0,54816	0,4610 ns
	Leve vs (Intermedia y Alta)	CA	1	0,00005	0,30601	0,5815 ns
	Intermedia vs Alta	CA	1	0,00001	0,06828	0,7945 ns
232	Intermedia vs (Leve y Alta)	CS	1	0,00039	2,23834	0,1382 ns
	Leve vs Alta	CS	1	0,00006	0,34568	0,5581 ns
	Intermedia vs (Leve y Alta)	CA	1	0,00005	0,26570	0,6075 ns
	Leve vs Alta	CA	1	0,000004	0,02324	0,8792 ns
214	Intermedia vs (Leve y Alta)	CS	1	0,00112	6,36577	0,0134 **
	Leve vs Alta	CS	1	0,00064	3,64868	0,0594 ns
	Alta vs (Intermedia y Leve)	CA	1	0,00260	14,80042	0,0002 **
	Intermedia vs Alta	CA	1	0,00175	9,96985	0,0022 **

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.32 se observan diferentes respuestas de los niveles de competencia (CS y CA) con el aumento de la intensidad de (niveles) raleo y clon, corroborando de esta manera la interacción (Tabla 4.34).

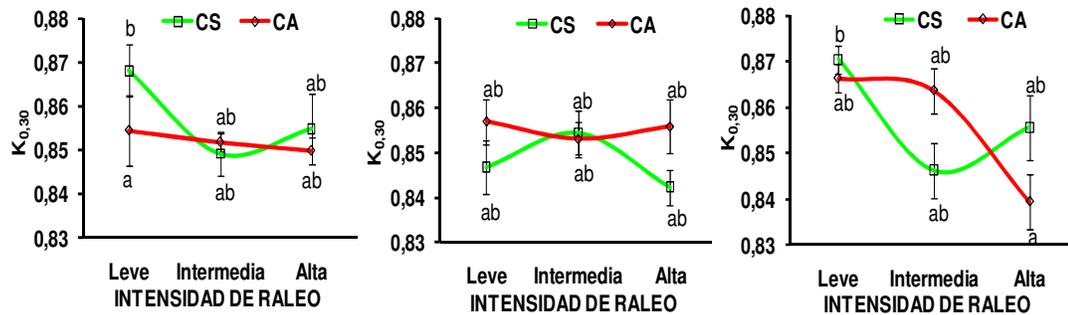


Figura 4.32. Cociente de forma medio $K_{0,30}$ de Hohenadl según los estados de competencia (CS y CA) en las tres intensidades de raleo de los clones 230 (A), 232 (B) y 214 (C), de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- el error estándar.

En la Tabla 4.36 se presenta el análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl al 50% de la altura ($K_{0,50}$). A la mitad de la altura total del árbol, el material genético (factor clon) y la intensidad de raleo afectan significativamente al cociente de forma (Tabla 4.35). En tanto, el factor estado de competencia no presenta ningún efecto sobre el $K_{0,50}$, tampoco muestran efectos significativos las interacciones C x R; C x ECC; R x ECC y C x R x ECC.

Tabla 4.36. Resultados del análisis de varianza para el cociente de Hohenadl $K_{0,50}$.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,0021047	8,457	0,0004 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,0023152	9,304	0,0002 **
Estados de competencia (ECC)	1	0,0000155	0,062	0,8031 ns
C x R	4	0,0000997	0,400	0,8075 ns
C x ECC	2	0,0002911	1,170	0,3150 ns
R x ECC	2	0,0001490	0,598	0,5516 ns
C x R x ECC	4	0,0002150	0,864	0,4888 ns
Error Residual	90	0,00024884		
Total	107			
CV experimental (%)	2,31			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.33 se presentan los valores medios de $K_{0,50}$ para los clones 230, 232 y 214 y sus errores estándares. El cociente de forma del clon 214, fue significativamente mayor que los clones 230 y 232, un 1,4% y 2,3% respectivamente.

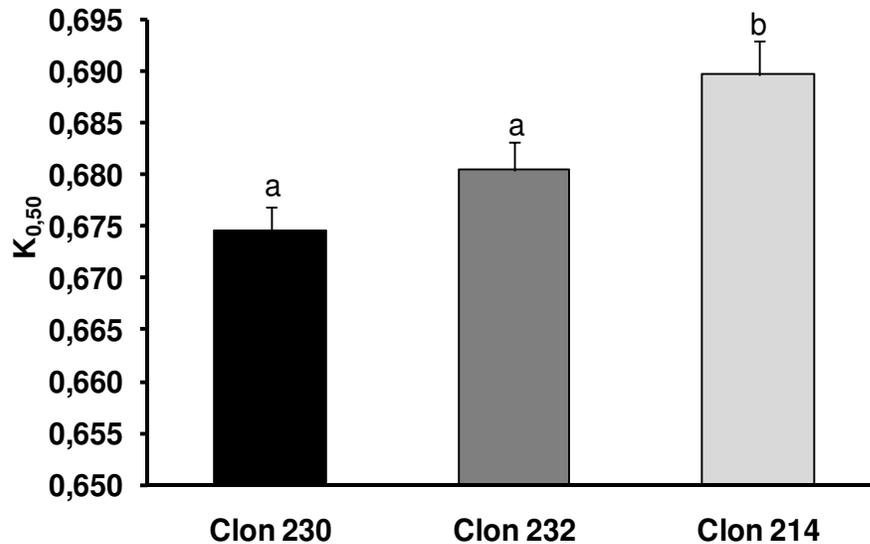


Figura 4.33. Cociente de forma medio al 50% de la altura ($K_{0,50}$) de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=36$).

En la Figura 4.34 se presentan los $K_{0,50}$ medios según las intensidades de raleo y sus errores estándares. Los árboles con raleo leve presentan mejor forma con un $K_{0,50}=0,691$. Esta representa un aumento del 1,7% respecto de la intensidad intermedia y un 2,3% de la intensidad alta. Por su parte los $K_{0,50}$ de los árboles tratados con raleo alto e intermedio no se diferencian entre sí.

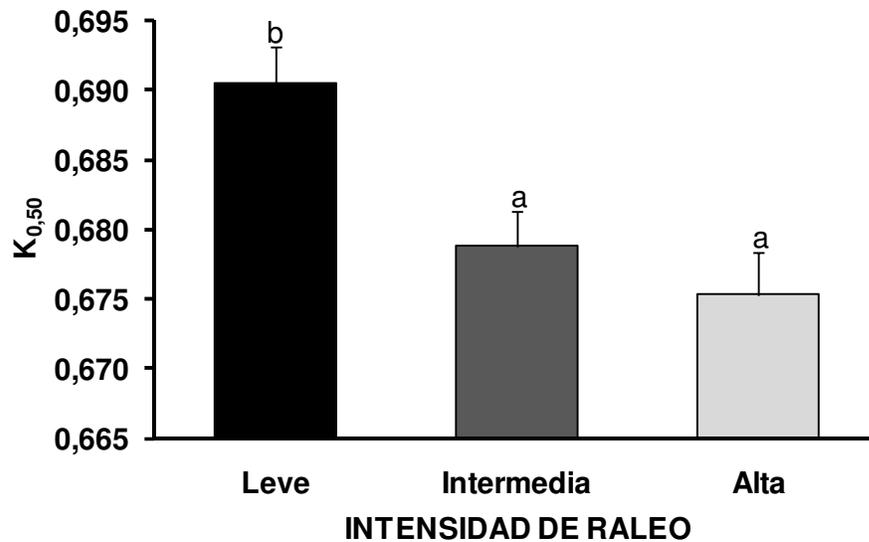


Figura 4.34. Cociente de forma medio al 50% de la altura ($K_{0,50}$) según las tres intensidades de raleo analizados en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=36$).

En la Tabla 4.37 se presenta el análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl al 70% de la altura ($k_{0,70}$). A esta altura del árbol, el factor clon y la intensidad de raleo afectan significativamente a la forma del fuste. En tanto, el factor estado de competencia no afectó al $K_{0,70}$, de la misma manera, no tienen efectos significativos las interacciones C x R; C x ECC; R x ECC y C x R x ECC.

Tabla 4.37. Resultados del análisis de varianza para el cociente de Hohenadl $K_{0,70}$.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,00595091	11,22	<,0001 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,00166637	3,14	0,0481 *
Estados de competencia (ECC)	1	0,00020270	0,38	0,5380 ns
C x R	4	0,00042118	0,79	0,5321 ns
C x ECC	2	0,00018074	0,34	0,7121 ns
R x ECC	2	0,00016769	0,32	0,7297 ns
C x R x ECC	4	0,00036785	0,69	0,5983 ns
Error Residual	88	0,00053030		
Total	105			
CV experimental (%)	5,14			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.35 se presentan los valores medios de $K_{0,70}$ para los clones 230, 232 y 214 y sus errores estándares. El cociente de forma del clon 214 fue significativamente mayor que los clones 230 y 232, un 6% y 3,5% respectivamente.

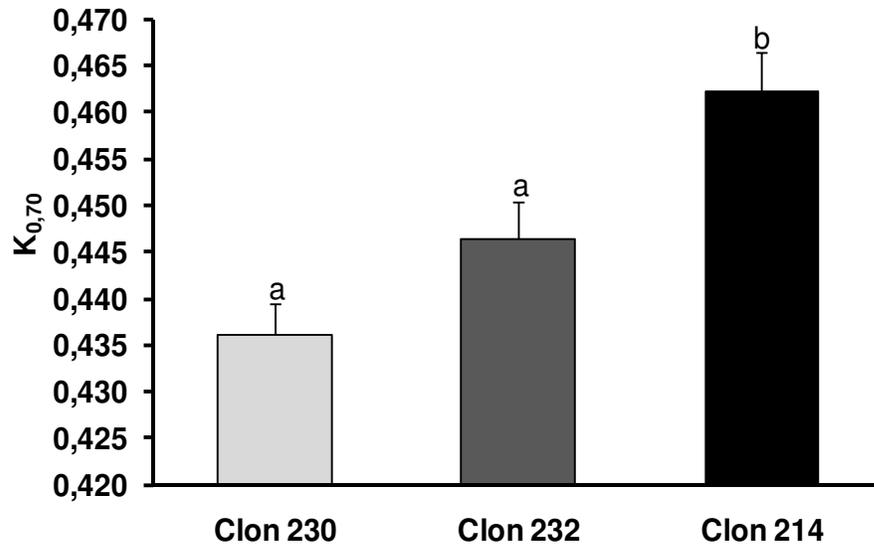


Figura 4.35. Cociente de forma medio al 70% de la altura ($K_{0,70}$) de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (Clon 230 y 232 $n=36$ y Clon 214 $n=34$).

En la Figura 4.36 se presentan los valores medios de $K_{0,70}$ para las tres intensidades de raleo y sus errores estándares. Los fustes de los árboles con raleo leve siguen presentando mejor forma al 70% de la altura. Estos cocientes aumentan un 3% respecto de los tratados con intensidad alta de $K_{0,70}=0,440$. En tanto, respecto de la intensidad intermedia el aumento es insignificante (0,5%). Al mismo tiempo, el $K_{0,70}$ del raleo intermedio aumenta un 2,5% respecto de los tratados con raleo alto, este aumento no resulta suficiente para diferenciarse significativamente (Figura 4.36).

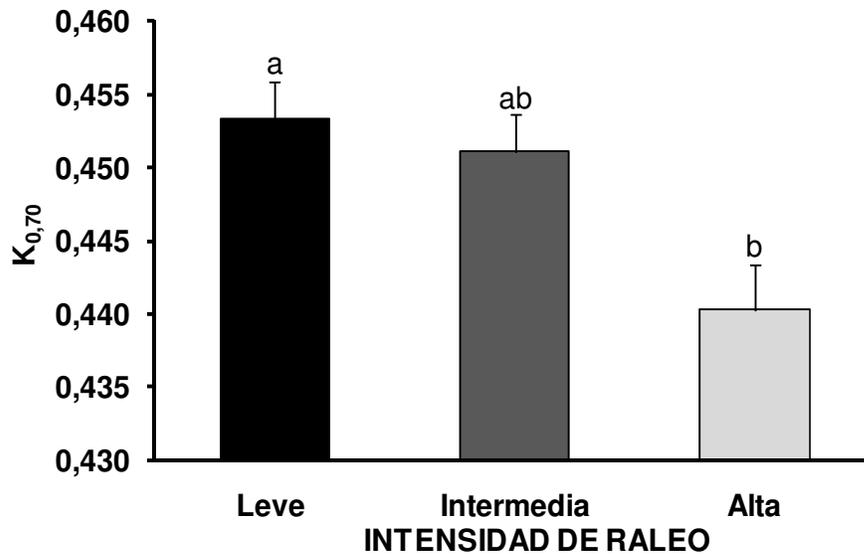


Figura 4.36. Cociente de forma medio al 70% de la altura ($K_{0,70}$) según las tres intensidades de raleos en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=36$).

En la Tabla 4.38 se presenta el análisis de varianza para el cociente de forma de Hohenadl al 90% de la altura ($k_{0,90}$). A esta altura del árbol, el factor clon y la intensidad de raleo afectan significativamente a la forma del fuste. En tanto, el factor estado de competencia no afectó al $K_{0,90}$, de la misma manera, no tienen efectos significativos las interacciones C x R; C x ECC; R x ECC y C x R x ECC.

Tabla 4.38. Resultados del análisis de varianza para el Cociente de Hohenadl $K_{0,90}$.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,000787	13,288316	<,0001 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,000247	4,173135	0,0186 *
Estados de competencia (ECC)	1	0,000110	1,851234	0,1771 ns
C x R	4	0,000080	1,344422	0,2599 ns
C x ECC	2	0,000025	0,427674	0,6534 ns
R x ECC	2	0,000004	0,061892	0,9400 ns
C x R x ECC	4	0,000047	0,787904	0,5361 ns
Error Residual	88	0,000059		
Total	105			
CV experimental (%)	5,18			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.37 se presentan los valores medios de $K_{0,90}$ para los clones 230, 232 y 214 y sus errores estándares. A esta altura del fuste los resultados coinciden con las evaluaciones a 50% y 70% de la altura del árbol (Figuras 4.33 y 4.35). El cociente de forma del clon 214 aumenta, un 6,4% y 4,3%, en relación a los clones 230 ($k_{0,90}=0,144$) y 232 ($k_{0,90}=0,147$) respectivamente.

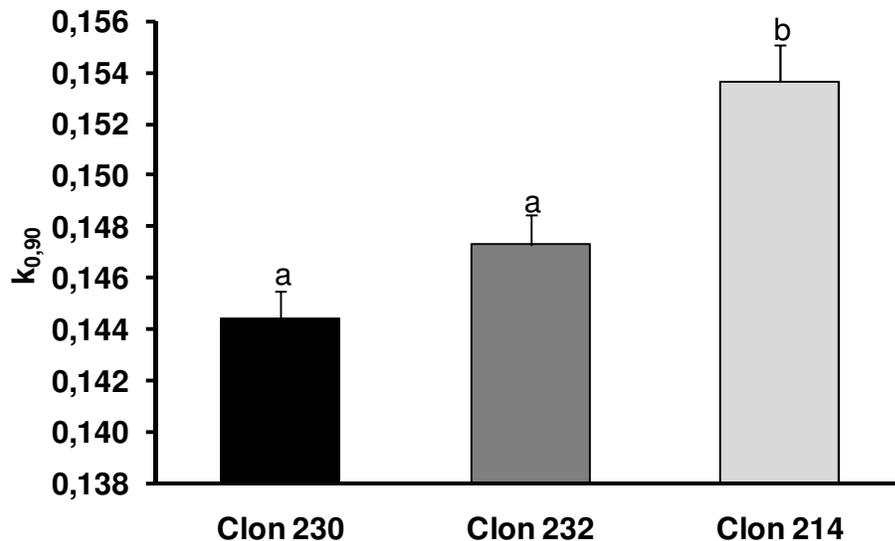


Figura 4.37. Cociente de forma medio al 90% de la altura ($K_{0,90}$) de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (Clon 230 $n=36$ y Clones 232 y 214 $n=35$).

En la Figura 4.38 se presentan los valores medios de $K_{0,90}$ para las tres intensidades de raleo y sus errores estándares. Los resultados coinciden con las evaluaciones al 50% y 70% de la altura del árbol (Figuras 4.34 y 4.36). De esta manera, los fustes provenientes de árboles con raleo leve a esta altura (90% de la altura total) presentan mejor forma, expresados por el aumento del cociente de forma de Hohenadl, un 3,4% respecto de la intensidad alta con $K_{0,90}=0,145$. El cociente de forma de los árboles tratados con raleo intermedio presentan un aumento del 3% respecto de los de raleo alto, aunque sin diferencias significativas (Figura 4.37).

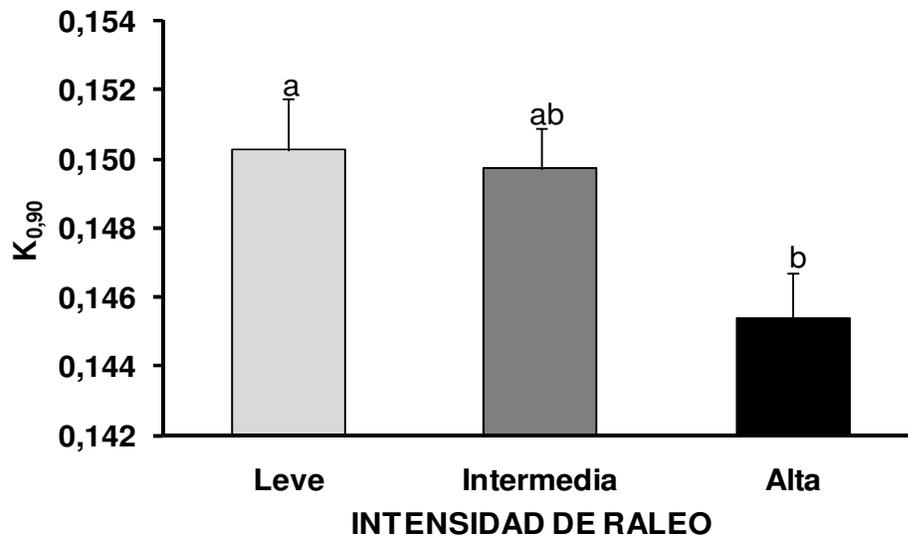


Figura 4.38. Cociente de forma medio al 90% de la altura ($K_{0,90}$) según las tres intensidades de raleo en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (Leve e intermedio $n=36$ y Alta $n=34$).

En la Tabla 4.39 se presenta el análisis de varianza para el factor de forma de Hohenadl ($f_{0,10}$). El factor clon y la intensidad de raleo afectaron altamente significativa, mientras que el factor estado de competencia no influencia al $f_{0,10}$, de la misma manera, tampoco resultaron significativas las interacciones C x R; C x ECC; R x ECC y C x R x ECC.

Tabla 4.39. Resultados del análisis de varianza para el factor de forma de Hohenadl $f_{0,10}$.

Fuente de variación	GL	CM	F	Pr >F
Clon (C)	2	0,00105648	7,85	0,0007 **
Intensidad de Raleo (R)	2	0,00101759	7,56	0,0009 **
Estados de competencia (ECC)	1	0,00002315	0,17	0,6794 ns
C x R	4	0,00006759	0,50	0,7343 ns
C x ECC	2	0,00012870	0,96	0,3883 ns
R x ECC	2	0,00015648	1,16	0,3174 ns
C x R x ECC	4	0,00005370	0,40	0,8090 ns
Error Residual	90	0,00013463		
Total	107			
CV experimental (%)	2,40			

ns= no significativo, ** significativo al 99% de probabilidad, * significativo al 95% de probabilidad.

En la Figura 4.39 se presentan los valores medios de $f_{0,10}$ para los clones 230, 232 y 214 y sus errores estándares. El factor de forma del clon 214 se diferencia en forma significativa respecto a los otros dos clones, resulta un 2,1% y 1,8% mayor, en relación a los clones 230 ($f_{0,10}=0,480$) y 232 ($f_{0,10}=0,481$) respectivamente. Los resultados son de valor práctico si se considera que el $f_{0,10}$ puede representar una síntesis de los cocientes de forma de Hohenadl.

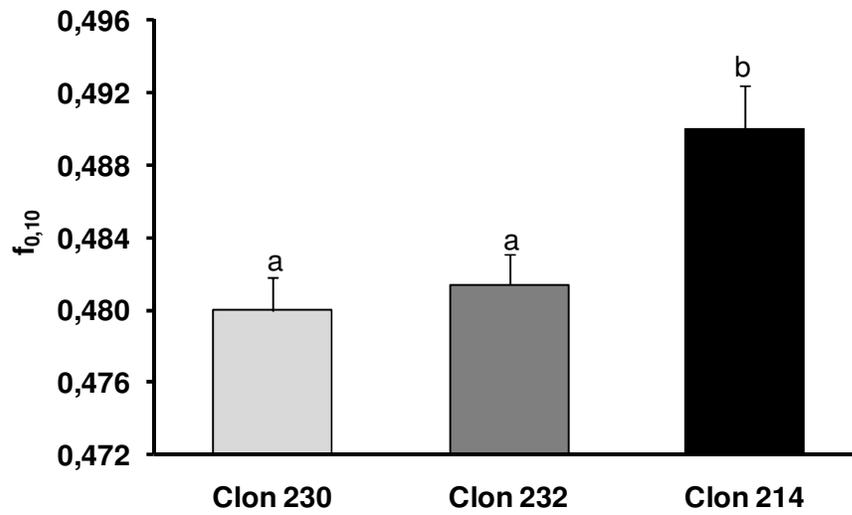


Figura 4.39. Factor de forma natural medio ($f_{0,10}$) de los clones 230, 232 y 214 de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar ($n=36$).

En la Figura 4.40 se presentan los valores medios de $f_{0,10}$ para las tres intensidades de raleo y sus errores estándares. El factor de forma resulta afectado por el aumento de la intensidad de raleo. Los árboles tratados con raleo leve tienen un aumento de sólo un 1,3% respecto de la intensidad intermedia con $f_{0,10}=0,483$. En tanto, este aumento fue significativo, un 2,2% respecto de los árboles tratados con alta intensidad de raleo con $f_{0,10}= 0,478$.

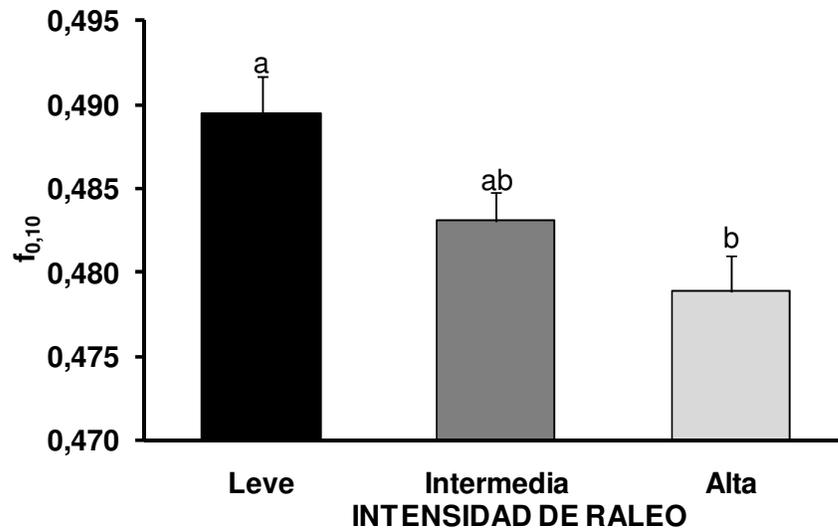


Figura 4.40. Factor de forma natural medio ($f_{0,10}$) según las tres intensidades de raleo en los tres clones de *E. grandis*, a los 8 años de edad. Columnas con letras distintas indican diferencias significativas por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$). Las barras representan +/- un error estándar (n=36).

5. DISCUSION

5.1. Propiedades Tecnológicas del Fuste

5.1.1. Índice de Rajado (IR)

La variación importante en los IR_{trans} de los tres clones, tal como muestra la Figura 4.1, es deseable y coincidiendo con TRUGILHO et al. (2002) (91) a través de la selección de árboles sería posible lograr una disminución significativa en las tensiones de crecimiento. También LOPEZ y PARISI (2002), al evaluar tensiones de crecimiento en árboles dominantes de materiales genéticos de *E. grandis* de 17 años de edad, concluyen que es factible, a través de programas de mejoramiento y clonación mejorar la calidad de la madera para procesos de transformación mecánica.

El general, los resultados señalan un bajo efecto del raleo en las tensiones de crecimiento, sin embargo, este factor no actúa de manera independiente y la respuesta de los clones a las diferentes intensidades de

raleo no fue uniforme. En tal sentido, los clones 214 y 230 no evidencian un diferencial de respuesta en las tensiones de crecimiento por efecto del raleo (Figura 4.5), coincidiendo con estudios realizados por MALAN y HOON (1992) (92) y LIMA et al. (2000). Asimismo, SCHACHT et al. (1998) y LIMA (2005), sugieren que factores como los genéticos, ambientales o ambos, son más eficientes que la intensidad del raleo, en el control de la intensidad de rajaduras.

Por su parte, en el clon 232 se registró una variación significativa en las tensiones de crecimiento por efecto del raleo a edad temprana, donde las menores tensiones se registran en el raleo más intenso ($252 \text{ árboles ha}^{-1}$) (Figura 4.5), coincidiendo con FERRAND (1983) en *E. delegatensis* y *E. nitens* quien verificó una reducción en el nivel de deformación de crecimiento debido a raleos intensos y precoces. También WILKINS & KITAHARA (1991) (93), comprobaron en *E. grandis* de 12,5 años de edad, que por efecto de los raleos aumentó el crecimiento diamétrico y disminuyó el nivel de deformación de crecimiento. Contrariamente, LIMA et al. (2002) (94) encontraron que las tensiones de crecimiento en *E. grandis* de 18 años de edad, variaron en valores de IR de 0,49(%) en un tratamiento sin raleo (testigo) a 0,80(%) en la intensidad de 67% de raleo, encontrando diferencias sólo entre el testigo y los tratamiento de 50 y 67% de raleo, sin embargo las otras intensidades no se diferenciaron entre sí.

Las tensiones de crecimiento evaluadas a diferentes alturas del fuste exhiben una alta variación, con un aumento del 19%, promedio de los tres clones desde el DAP hasta los 6,10 m de altura y un máximo de 24% en los clones 214 y 230. El aumento de las tensiones de crecimiento con la altura del fuste coincide con lo señalado por TRUGILHO et al. (2002), al evaluar las tensiones de crecimiento en *E. grandis* por medio de las deformaciones residuales longitudinales (método indirecto). El conocimiento de las variaciones en la distribución de las tensiones de crecimiento de los clones reflejados en la Figura 4.6, resulta de gran importancia práctica, si se considera que es posible seleccionar árboles con bajas tensiones y/o que se mantengan uniformes a lo largo del fuste.

Las mayores tensiones de crecimiento se localizan en el sector del fuste ubicado entre los 3,70 m y 8,50 m de altura, resultados similares fueron reportados por Yao (1979) citado por KUBLER (1987) en otras latifoliadas, LIMA et al. (2000) (95) en una población de *E. grandis* de 18 años de edad, LOPEZ y ELIES (1997) (96) al evaluar hasta el 85% de la altura total en *E. grandis* de 14 años de edad y LOPEZ y PARISI (2002) al evaluar materiales genéticos de *E. grandis* de 17 años de edad. De acuerdo a LIMA et al. (2002), el aumento de las tensiones de crecimiento en las secciones de la altura media comercial del fuste, se puede deber a una orientación más rectilínea del grano.

Coincidiendo con MAESTRI (2005), el aumento de las tensiones de crecimiento con la altura del fuste, en general, entre los 3,70 m y los 8,50 m puede disminuir el rendimiento y la calidad industrial de la madera. En este sentido, LIMA et al. (2002) detectó en *E. grandis* de 18 años una relación del 50% entre las rajaduras del extremo superior de los rollos con las rajaduras en los extremos de las piezas aserradas. Asimismo, SCANAVACA y GARCIA (2003) (97), al evaluar el rendimiento de madera aserrada en *E. urophylla*, concluyen que las tensiones de crecimiento son mayores en la punta que en la base de los rollos y pueden causar pérdidas en madera aserrada superiores al 20%.

Sin embargo, con los resultados obtenidos pueden considerarse a los patrones o modelos de distribución de las tensiones de crecimiento a lo largo del fuste como caracteres casi exclusivos de cada genotipo, simultáneamente, las intensidades de esas tensiones en las distintas posiciones del fuste pueden ser, aunque con baja magnitud, afectados por la intensidad del raleo (Figura 4.9 B). Esto puede verse también en los estados de competencia analizados, estos tuvieron patrones semejantes (CS y CA) en la distribución de las tensiones a lo largo del fuste; aunque las intensidades de las rajaduras aumentan en promedio un 5% a causa de la CA. Los resultados remarcan la importancia de realizar los raleos considerando la distribución espacial de los árboles, de manera de aumentar

la proporción de árboles con menores tensiones de crecimiento, coincidiendo con lo expuesto por JACOBS (1945) citado por KUBLER (1987), KUBLER (1988) (98) DINWOODIE (1966), ZOBEL (1992), SCHACHT, et al. (1998) (99), TOUZA (2001) y LOPEZ et al. (2006) (100).

Hasta el momento, el factor estado de competencia individual post-raleo no fue incorporado en los análisis del comportamiento de las tensiones de crecimiento. Sin embargo, la competencia tiene una incidencia significativa en los niveles de rajado generados en las caras de los rollos de *E. grandis*. De esta forma, una distribución simétrica entre los árboles post-raleo disminuye en un 5% los valores de tensiones de crecimiento, en relación a árboles con una distribución asimétrica de la competencia. En los tres clones puede observarse este comportamiento, teniendo los mayores IR_{trans} aquellos árboles que crecieron con la CA. Similares resultados fueron reportados por NICHOLSON et al. (1973) y SCANAVACA y GARCIA (2003), al evaluar en *E. regnans* las copas inclinadas y distribuidas en diferentes intensidades en relación al fuste, concluyen que la inclinación y la distribución de la copa influyen las tensiones de crecimiento.

En el presente trabajo puede advertirse que cada genotipo presenta una respuesta particular a las condiciones generadas en su entorno, el mayor o menor grado de apertura del dosel y la distribución espacial de los árboles respecto de sus competidores inmediatos (simétrica ó asimétrica) influyen notablemente el comportamiento de las tensiones de crecimiento. Así, los resultados muestran al clon 230, como el más expresivo a las condiciones de competencia generadas post-raleo, pudiéndose lograr disminuciones significativas (11,4% y 10,2%) de las intensidades de rajado en las caras de los rollos al no modificar substancialmente, a edad temprana, las condiciones ambientales de crecimiento en el rodal, es decir, realizando raleos leves a intermedios dejando individuos distribuidos homogéneamente en el rodal (CS). Con la mayor apertura del dosel, el estado de competencia en los árboles muestras dejan de tener incidencia en el *control* de las tensiones de crecimiento, observándose niveles de rajado similares entre los árboles con CS y los árboles con CA (Figura 4.8 A).

En el clon 232, los árboles con CS y CA tienen niveles semejante de tensiones de crecimiento ($IR \approx 0,80(\%)$) en la intensidad de raleo leve, el mayor acercamiento de las copas en la parcela con 609 árb ha^{-1} , no permite un desarrollo de copa excesivamente desbalanceada y mayores tensiones en árboles con CA. Sin embargo, al aumentar la apertura del dosel, los niveles de rajado de los árboles con CS descienden sistemáticamente, inicialmente un 10,8% con el nivel de raleo intermedio ($IR=0,72(\%)$) y un 3,9% más con el raleo alto ($IR=0,69(\%)$). En estas intensidades de raleo, las tensiones de los árboles con CS presentan una disminución del 9,5% y del 8,4% respecto de los mismos árboles con CA (Figura 4.8 B).

Por último, el clon 214 los IR_{trans} de los árboles con CS presentan disminuciones de apenas un 3% y un 5,2%, respecto de los árboles de CA en las intensidades de raleo leve e intermedia, con IR_{trans} de 0,98(%) y de 0,96(%) respectivamente. También, en el raleo de alta intensidad los árboles con CS y CA presentan niveles semejantes de rajaduras en las caras de los rollos ($IR=0,98(\%)$). Si bien este clon fue el de mayor rajado en los tres tratamientos de raleo (Figura 4.8 C), también es, proporcionalmente el menos afectado por la competencia asimétrica post-raleo y la apertura del dosel, potencialmente beneficiado por el mayor distanciamiento inicial, que según ZOBEL (1992) evitaría cambios abruptos en condiciones de luminosidad, humedad y competencia entre árboles, evitando alteraciones súbitas en la calidad de sus maderas. Sin embargo, según MAESTRI (2005) este mayor espaciamiento disponible, permite mayor expansión de la copa, y el mayor peso de ésta somete al árbol a mayores esfuerzos, en coincidencia con SCHNEIDER (1993), MENDOÇA (2006), COUTO et al. (1997) y DANIEL et al. (1982) considerando el efecto del espaciamiento en el eucalipto.

Los párrafos anteriores son de importancia práctica para el silvicultor, desde el punto de vista de las tensiones de crecimiento, ellos demuestran que cada genotipo reacciona de manera singular a los estímulos generados (natural o artificialmente) en el rodal, a las diferentes intensidades de raleo y principalmente a los estados de competencia post-raleo, factor que en

algunos casos puede controlar o atenuar valiosamente las rajaduras en las caras de los rollos. Coincidiendo con TRUGILHO et al. (2002), esta importante variabilidad entre los distintos materiales genéticos es deseada, así como también, sus respuestas al raleo y al estado de competencia, permitiendo seleccionar y generar un esquema de manejo para cada clon en función del objetivo de producción.

5.1.2. Excentricidad de medula (EM)

La medula excéntrica se generó en los tres clones analizados. En tanto, es posible obtener beneficios mediante la selección de árboles menos proclives a la excentricidad (Figura 4.10). En este sentido, la baja excentricidad de medula que presentan los árboles del clon 230, respecto de los otros dos clones, debido a la menor tendencia al arqueamiento o inclinación del fuste. Vale destacar que a pesar de no ser evaluada la inclinación de los fustes, éstos fenotípicamente se mostraron menos proclives a la inclinación, tanto en los niveles de competencia (asimétrica), como en los niveles de raleo (intensidades). Coincidiendo con FERREIRA et al. (2008) (101), una menor inclinación del fuste puede reducir los niveles de excentricidad de medula. Los mismos autores analizando clones creciendo en distintas condiciones de topografía (valle, pendiente suave y fuerte), encontrando diferencias entre clones y condiciones de pendiente del terreno.

En general, la excentricidad de medula tiende a aumentar con el aumento de la intensidad de raleo (Figura 4.11), aunque sólo se diferenciaron significativamente los tratamientos de raleo leve y alto. Los árboles con el raleo más intenso presentan la medula un 8% más excéntricas, respecto de la excentricidad presentada por los árboles con raleo leve ($EM_{trans}=0,96$ cm). Indicando que los raleos muy intensos efectuados precozmente podrían inducir al aumento de la excentricidad de medula, probablemente a causa de las nuevas condiciones ambientales generadas en el rodal que inducen a la inclinación del fuste, sea por reorientación de copas causada por competencia asimétrica o bien por una excesiva apertura del dosel, exponiendo a los árboles a una mayor

incidencia de vientos. En relación a ello, FERREIRA (2008) sostiene que los vientos dominantes pueden generar inclinación del fuste y producir medulas excéntricas. Sin embargo, LIMA et al. (2007) en *E. grandis* de 21 año de edad, no encontraron diferencias significativas en la excentricidad de medula entre intensidades de raleo de 37%, 50% y 75%. Por el contrario, los menores niveles de EM registraron en los árboles provenientes de intensidades de raleo de 50% (0,73 cm) y 75% (0,77 cm). ROSSO y NININ (1998) en *T. grandis* (Teca) encuentran una mayor excentricidad de medula en el estrato de menor densidad arbórea (120 – 360 árb ha⁻¹), también en este estrato la variabilidad fue mayor, respecto del estrato de mayor densidad arbórea (720 – 840 árb ha⁻¹).

Si bien en este estudio, la mayor excentricidad se encuentra en el raleo más intenso, cada clon fue afectado en forma diferente por el nivel de apertura del dosel y el estado de competencia. En este sentido, el estado de competencia de los árboles en relación a los vecinos, tuvo una incidencia significativa en los niveles de excentricidad. Cuando los árboles tienen un mayor espacio de un lado que de otro, generan desarrollo desproporcional de la copa e inclinación de su fuste (Figura 3.3), esto ya fue sugerido por ZOBEL (1989) citado por ROSSO y NININ (1998) y MENDONÇA (2006). En árboles seleccionados con este estado de competencia (CA) la EM_{trans} aumenta en promedio un 7,5%, en relación a los árboles con CS.

Los resultados demuestran que, raleos ejecutados sin considerar la distribución espacial de los árboles en el rodal, comprometen un aumento de la excentricidad de medula causada por la desigual competencia, coincidiendo con LIMA et al. (2007) y FERREIRA et al. (2008). Además, debe considerarse que junto con el aumento en el crecimiento del DAP de los árboles, también aumenta la EM, aunque en menor proporción en árboles con CS (Figura 4.12).

Al evaluar el comportamiento de la excentricidad de medula en las distintas alturas del fuste, se observa que en los tres genotipos las mayores EM se encontraron en la porción basal del fuste (Figura 4.13). Se genera un

aumento del 6,3% desde los 1,30 m hasta los 3,70 m, altura de máxima excentricidad con 1,12 cm. El raleo a desecho resultó beneficioso, permitiendo que por encima de los 3,70 metros de altura, la medula tienda a aproximarse al baricentro de la sección disminuyendo significativamente la excentricidad, un 11% hasta los 6,10 m. En las siguientes alturas, la EM disminuye progresivamente, aunque sin diferenciarse estadísticamente. Estos resultados coinciden con los de LIMA et al. (2007) que encuentran mayores niveles de excentricidad en el primer rollo de 3 m de longitud, a partir de 1,70 m hasta 4,70 m.

Los estados de competencia tienen patrones semejantes en la excentricidad de medula a lo largo de los fustes de los tres clones; aunque los niveles de excentricidad aumentan en promedio un 8% a causa de la CA y por lo cual, según COSTA (2001) (102), es esperable obtener fustes elípticos y las tablas derivadas de éstos con estructuras anatómicas desuniformes, pudiendo causar resultados inesperados en el proceso industrial.

5.1.3. Relación albura-duramen (RA/D)

El factor clon tuvo un efecto altamente significativo en el comportamiento de la RA/D_{trans} . Estos resultados indican que a través de la selección, se pueden obtener individuos con baja o aceptable proporción de albura en el fuste, considerando que una baja RA/D_{trans} siempre es deseable para mejorar el rendimiento durante el procesamiento mecánico de los rollizos.

En general, la RA/D_{trans} aumenta con el aumento de la intensidad de raleo y en coincidencia con lo reportado por MIRANDA et al. (2009) (103) y GOMINHO y PEREIRA (2005), el balance de la producción de albura y duramen puede ser afectada por la cantidad de plantas por unidad de superficie. A su vez, esta relación puede ser modificada sustancialmente con el distanciamiento inicial y el reespaciamiento precoz, también MIRANDA et

al. (2007) (104) reportan influencia de la calidad del sitio y del riego, y la fertilización (MIRANDA et al., 2006 (105)).

Sin embargo, las respuestas de los clones a los niveles de raleo no fueron uniformes (Figura 4.15). En este sentido, el clon 230 de mayor RA/D_{trans} , fue afectada significativamente por el nivel de raleo intermedio, en esta intensidad de raleo la RA/D_{trans} resulta un 4,6% mayor respecto del raleo leve, probablemente debido al pequeño aumento exhibido por el área del duramen (4,1%) y de un considerable aumento del área de albura (12,4%). Por su parte, en la intensidad alta el aumento de la sección del duramen fue de un 10,8% (Tabla 4.10), lo que generó en consecuencia, un mínimo aumento de la RA/D_{trans} , apenas un 0,9% en relación al raleo intermedio. En el clon 232, el aumento de la RA/D_{trans} con el aumento de la intensidad de raleo no fue significativo (Tabla 4.9), probablemente por los similares aumentos de la SA y la SD (Tabla 4.10). MIRANDA et al. (2009) encontraron que el espesor de albura varió poco con el DAP, en tanto, el área de la albura varía exponencialmente. También, WILKINS (1991) (106) encuentra mayores áreas de albura y mayor desarrollo de duramen a causa de una combinación de tratamientos que indujeron el rápido crecimiento de los árboles. MAESTRI et al. (2005), informan que el área de la albura aumenta levemente con el mayor crecimiento del diámetro.

Los menores valores de RA/D_{trans} en las intensidades de raleo extremas (leve y alta) del clon 214 (Figura 4.15), se habrían generado, por el mayor distanciamiento inicial que junto al reespaciamento temprano producen mayores áreas de duramen en las tres intensidades de raleo; al mismo tiempo, la sección de albura habría presentado sólo un aumento equivalente a 7,1% en el raleo más intenso (Tabla 4.10), probablemente debido al cambio en la relación entre el área de la albura y a un menor desarrollo de la copa (área foliar) en esta intensidad de raleo, de manera de restablecer el equilibrio entre oferta y uso del agua en la subocupación del sitio (parcela) a causa de la mayor intensidad de raleo, esto es sugerido por MIRANDA et al. (2009). En este sentido, algunos trabajos indican que la tasa de transpiración del follaje es proporcional al área foliar y la provisión de

agua es proporcional al área del tejido conductor, derivando en el “modelo de tubos” propuesto por SHINOZAKI et al. (1964 a y b) (107 - 108) y corroborados por OOHATA y SHINOZAKI (1979) (109); CHIBA (1990 y 1991) (110 - 111), para la región norte de Misiones FASSOLA et al. (2008) (112), concluyeron que esta teoría de los tubos es aplicable para el *Pinus taeda* en distintos rangos de edad.

El estado de competencia tuvo un efecto altamente significativo en el comportamiento de la RA/D_{trans} . Así, la RA/D_{trans} de los árboles con CA aumenta un 4% en relación a los árboles con CS, debido al aumento observado del espesor de albura (y naturalmente de la SA), que se localiza en la porción del fuste que limita al nuevo *claro* creado en el monte y hacia donde se advierte un mayor desarrollo de copa (Figura 3.4). Este aumento puede ser advertido en la Figura 4.19 dispuesta en el Anexo I, donde se presentan secciones transversales de rollos de árboles con CS y CA. La Figura 4. 19 B señala el aumento localizado en el espesor de albura en las secciones de los fustes, identificada en las caras de los rollos con una “V”³, y en la Figura 4.19 A se muestra la sección transversal de un árbol con CS, el que conserva un espesor de albura relativamente constante en toda la sección. Al respecto, GONÇALVES (2008) sostiene es conveniente tener un espesor de albura constante, cuando se produce madera que va a ser preservada químicamente.

Los niveles de competencia entre los árboles (CS y CA) pueden afectar la RA/D_{trans} , en tanto, este factor está sujeto principalmente a la intensidad de raleo (Figura 4.18) y en menor medida al material genético (Figura 4.20). En general, los mayores espesores de albura se presentan en los árboles con CA en los niveles de raleo leve e intermedia. Por su parte, en la intensidad de raleo alta los espesores de albura fueron semejantes en ambos los estados de competencia (Tabla 4.16), y debido al mayor diámetro de duramen producido en los árboles con CA, disminuyen su RA/D_{trans}

³ Indica el “vacío o claro” generado por algún/nos raleo/os alrededor del árbol seleccionado, hacia donde se desarrolla desproporcionalmente la copa y hacia donde tiende a inclinarse el fuste.

(Figura 4.20 A y B). Los niveles de competencia en el clon 214 presentaron EA semejantes en la intensidad de raleo leve; sin embargo, en ambos estados de competencia los EA aumentaron en la intensidad intermedia y se mantuvieron sin variación en la intensidad alta, generando también una menor RA/D_{trans} por un aumento satisfactorio del diámetro del duramen (Tabla 4.16). Los mayores diámetros del duramen fueron registrados en los árboles con CA, beneficiados por el micro aumento del espacio vital dentro del rodal por la falta de competencia de algún/os árbol/es a su alrededor (Tabla 4.14 y 4.16).

La RA/D_{trans} , en general, aumenta con la altura del fuste, sin embargo, la forma de incrementarse esta relación puede variar con el genotipo y el tratamiento silvícola (Figura 4.16 y Figura 4.20). Similares resultados fueron encontrados por GOMINHO y PEREIRA (2005), señalando al nivel de altura de evaluación como la principal fuente de variación. En este sentido, en los primeros 4,80 m analizados en el clon 232, la RA/D_{trans} se mantiene relativamente constante ($RA/D_{trans} \approx 0,77$), en los siguientes 2,40 metros de altura la RA/D_{trans} aumenta un 7,5% y otros 4,2% hasta los 10,90 m. En tanto, para los primeros 4,80 metros de altura, en los clones 230 y 214 ya presentan aumentos significativos del 14,1% y 13,6% respectivamente. La menor RA/D_{trans} del clon 232 hasta los 6,10 m, puede ser explicada por la menor conicidad del duramen (0,6 cm/m). Para esta porción del fuste, los clones 230 y 214 tienen una conicidad media del duramen de 0,7 cm/m y 0,8 cm/m respectivamente; además estos clones tienen EA mayores (Tabla 4.12). MORAIS y PEREIRA (2007) evaluaron la variación de la albura y el duramen en a distintas alturas del fuste en *E. globulus*, y de manera general encontraron que la proporción del duramen disminuyo desde la base hacia el ápice, en tanto, el espesor de albura fue de 38 mm y se mantuvo relativamente constante desde la base hasta el 55% de la altura del fuste. Otros trabajos indican espesores de albura constantes hasta el inicio de la copa *Pinus contorta* YANG (1992) citado por MORAIS y PEREIRA (2007), para *P. pinaster* KNAPIC y PEREIRA (2005) (113) y PINTO et al. (2004) (114). Para *E. grandis* WILKINS (1991) encontró espesores de albura entre 9 mm y 48 mm, para *E. globulus* se han reportado espesores de entre 15 mm

y 37 mm (GOMINHO y PEREIRA, 2005; MIRANDA et al., 2006 y MORAIS y PEREIRA, 2007).

SILVA (2002) (115), al caracterizar la madera de *E. grandis* para usos en mueblería, encuentra valores de espesor de albura parecidos a los señalados para los clones 232 y 214, variando de 2,5 cm a 3,5 cm para los primeros 6 metros (2 rollos de 3 m), en árboles con edades entre 10 y 25 año. En tanto, GONÇALVES (2008) encuentra valores similares a los del clon 230, con la espesor de albura variando de 2,85 cm a 3,06 cm en híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* en un estrato con un sólo raleo, también para los primeros 6 metros, pero evaluados cada 3 metros desde la base ($h_i=0$). Sin embargo, desde el punto de vista tecnológico, SILVA (2002) sostiene que la cuantificación de la relación duramen-albura es más importante que el espesor de la albura.

5.2. Parámetros Dendrométricos y Forma del Fuste

5.2.1. Características dendrométricas de los árboles de inventario y su producción en los tratamientos

Conforme a la clasificación de las curvas de índice de sitios desarrollada por GLADE (1999), para el NE de Entre Ríos y SE de Corrientes y con las alturas dominantes expuestas en la Figura 4.22, se pueden ubicar al sitio donde se desarrolló el trabajo en una clase de sitio de calidad alta. Al mismo tiempo, la variación en la h_{dom} entre los clones 230 y 214, respecto del 232 en el raleo leve es evidente, a pesar de estar en la misma calidad de sitio y con el reespaciamiento realizado en la misma oportunidad (Tabla 3.1), esto podría ser atribuido a factores ambientales según VALERA y KAGEYAMA (1988) (116) y FONSECA et al. (1996) citado por BERGER (2000) (117). En este sentido, quizás un número muy distinto de árboles remanentes post-raleo en los tratamientos evaluados haya influido en la h_{dom} de los clones (genotipo-ambiente) (Tabla 3.3), este interrogante generado es debido a la naturaleza de la presente investigación, iniciada mediante muestreo y no a partir de un ensayo, quedando en evidencias las limitantes de tener buen control local. Así, en el tratamiento de

raleo leve se cuantificaron 455 árb ha⁻¹ de los clones 230 y 214 y 609 árb ha⁻¹ en el clon 232. Además, es importante considerar que conjuntamente de las pequeñas alteraciones ambientales y de sitios, otros factores pueden tener un gran efecto sobre las características fenotípicas de los árboles, por ejemplo la variación en la calidad del plantín, forma de plantación y pisoteo de animales (FLORES 1999 (118) y VALERA y KAGEYAMA 1988).

La h_{dom} del clon 232 no se vio afectada por el aumento de la intensidad del raleo, coincidiendo con los resultados obtenidos por CANIZA y APARICIO (2006) (119), CRECHI et al. (2003), SMITH y LOPEZ (1991) y FRIEDL et al. (1991) (120) en *Araucaria angustifolia*. Por su parte, la altura dominante del clon 230 tendió a disminuir sistemáticamente con el aumento de la intensidad de raleo, también la h_{dom} del clon 214 presentó alturas significativamente menores en las intensidades de raleo intermedia y alta, respecto al raleo leve (Tabla 4.19).

Las diferencias significativas entre el DAP medio de los clones 230 y 214, respecto del clon 232 en la intensidad de raleo leve (Figura 4.23), debe ser atribuida a la gran diferencia de árboles por hectárea entre tratamientos en el mismo nivel de raleo considerado (Tabla 3.3). Según DANIEL et al. (1982), un pequeño aumento en la densidad de la población puede resultar en una reducción considerable del DAP medio. Esta diferencia puede tornarse todavía más pronunciada con el aumento de la edad (LISITA et al., 1997).

De manera general, el DAP muestra una tendencia significativa de aumento al grado de abertura del dosel (intensidad de raleo) confirmando la mayoría de los trabajos de distanciamiento iniciales e intensidad y oportunidad de raleo encontrados para la misma especie en la eco región DALLA TEA (1995) (121) CANIZA y APARICIO (2006), CRECHI et al. (2003), SMITH y LOPEZ (1991) (122) y evaluando el crecimiento en *E. saligna* BERGER (2000).

En referencia a los efectos de los diseños geométricos de distintos distanciamientos en plantaciones clonales, STAPE y SILVA (2007) (123) sostienen que un mayor espaciamiento se refleja en mayor disponibilidad de recursos naturales por árbol, como agua, nutrientes y luz. Esto es observado claramente en los tres clones del presente estudio, una tendencia creciente con el aumento del nivel de raleo en árboles con estados de competencia simétrica o asimétrica (Figura 4.24), y donde el mayor DAP se alcanza en los árboles con mayor espacio vital disponible, es decir, árboles con CA por falta de algún/os vecinos a su alrededor en la intensidad de raleo alta.

Los estados de competencia en los clones 230 y 232 presentan comportamientos similares con el aumento del nivel de raleo, mientras los árboles con CS no evidencian diferencias en crecimiento del Dg entre las intensidades de raleo intermedia y alta, en los árboles con CA, se advierte una tendencia creciente todavía en la intensidad de raleo alta (Figura 4.25 A y B), beneficiados por la falta de competencia en alguno de sus lados, CANIZA y APARICIO (2006) destacan la sensibilidad de esta especie a la apertura del dosel. Por su parte, en el clon 214 ambos estados de competencia presentan similares tendencias en aumento del Dg, favorecidos por el mayor espaciamiento inicial (4 x 4 m) que conjuntamente con el reespaciamiento mantiene a los árboles con un mayor espacio vital, inclusive a los árboles con CS a los 8 años de edad. En la Figura 4.25 C puede advertirse que para un mismo nivel de raleo, el micro aumento del espacio vital generan mayores diámetros medios en los árboles que crecen con la competencia asimétricamente distribuida.

La altura media de los árboles resulta afectada significativamente por el material genético (Clon) y la intensidad de raleo. De manera general, la altura media de los clones 230 y 214 presentan la misma tendencia de disminución que muestran sus h_{dom} (Figura 4.26). Contrariamente, en el clon 232 se obtuvo la menor altura en la intensidad de raleo más leve (609 árb ha^{-1}), resultados similares fueron reportados por CRECHI et al. (2003), BERGER (2000) en *E. saligna* y FRIEDL et al. (1991) en *Araucaria angustifolia*. Según SMITH y LOPEZ (1991), esto puede deberse al nivel de

competencia entre los individuos, que debido al mayor número de árboles dominados, ocasionan una tendencia de alturas medias menores en rodales más densos. En tanto, SILVA (1990) citado por BERGER (2000) y ASSIS (1999) (124) sostienen que los árboles que crecen en espacios más reducidos, como estrategia para llegar a la luz, presentan mayor crecimiento en altura.

En relación a la producción volumétrica evaluada, resulta importante tener presente que la Figura 4.27 fue generada con datos observados en las parcelas. Como naturalmente hay influencia de la cantidad de árboles por hectárea en la producción de los clones, tratamientos de raleo y estados de competencia, dicha figura puede ser válida para considerar la interacción entre la configuración inicial de plantación y el reespaciamento comercial y su incidencia en la cantidad de árboles por hectárea con CS. De esta manera, la mayor proporción de árboles con CS se encuentran en el clon 214 (63,1%) que responde directamente por la mayor producción volumétrica, respecto del mismo estado de competencia en los clones 230 con un 46,2% y el 232 con el 52,7%.

La producción volumétrica es influenciada naturalmente por el número de árboles por hectárea, coincidiendo con VITAL & DELLA LUCIA (1987) citado por BERGER (2000), SMITH y LÓPEZ (1991), GARCIA et al. (1991) (123), LISITA et al. (1997), CRECHI et al. (2003) y BERGER (2000), los cuales reportan influencias de la densidad de plantación sobre el volumen total ha^{-1} . Si bien estos trabajos no son totalmente comparables, en todos los casos encuentran una tendencia de decrecimiento del volumen total con el aumento del espaciamiento. MARCÓ et al. (1988) (126) y LAROCCA et al. (2002) (127) coinciden que con la práctica del raleo, la producción de madera aserrable (madera gruesa) tiende a ser mayor y las tablas obtenidas serán además de mayor calidad. En tal sentido, los resultados de la Figura 4.27 permiten afirmar que la producción está regida por la cantidad de árboles por hectárea (tratamiento de raleo) y no por el estado de competencia, ya que en las intensidades de raleo donde las proporciones de

árboles con CS y CA son similares, la producción no se diferenció significativamente.

Según DANIEL et al. (1982) el efecto esperado del raleo es reducir el volumen total en un momento dado y el silvicultor puede hacer poco para aumentar el volumen total, sin introducción de un genotipo superior o sin aumentar la capacidad productiva del sitio. En coincidencia con lo expuesto por BERGER (2000), se puede optar por cualquier geometría espacial considerando aspectos técnicos y económicos respecto al establecimiento de plantación, cosecha y transporte de madera, que disminuye considerablemente con los espaciamientos más amplios; además como se advierte en la Figura 4.28, es posible encontrar una mayor proporción de árboles con CS cuando la plantación se establece con una geometría regular (4 x 4 m), esto es de considerar cuando el objetivo es la producción de madera de calidad.

5.2.2. Características dendrométricas de los árboles seleccionados en los tratamientos

La apertura del dosel afectó significativamente el DAP de los árboles dominantes y/o codominantes, aún en baja densidad de árboles ha^{-1} (intermedia y alta) se evidencia una competencia por los recursos disponibles en el clon 232 (Figura 4.29). Sin embargo, esta respuesta varía en intensidad según el clon, así, en los clones 230 y 214 el incremento del DAP de la intensidad intermedia para la alta no resultó significativo. CANIZA y APARICIO (2006) al evaluar la evolución del DAP de los 300 árboles mayores de cada tratamiento de raleo, encontraron diferencias significativas sólo entre los tratamientos extremos (sin raleo y 300 árb ha^{-1}) y señalando que los árboles dominantes son los menos afectados en la competencia por los recursos biológicos. La Figura 4.29 no es contundente, en relación del aumento del DAP por una configuración de mayor espaciamiento inicial (4 x 4 m) en el clon 214, respecto de los otros clones con un distanciamiento inicial de 4 x 3 m.

Las alturas de los árboles seleccionados (dominantes y codominantes) no resultan afectadas por la intensidad de raleo, en ninguno de los tres clones, coincidiendo con los resultados obtenidos por CANIZA y APARICIO (2006), CRECHI et al. (2003), SMITH y LOPEZ (1991) y FRIEDL et al. (1991) en *Araucaria angustifolia*. Las alturas de los clones 230 y 214 no evidencian diferencias significativas entre sí, en ninguna intensidad de raleo, en tanto, en el clon 232 la altura fue significativamente menor en los tres tratamientos de raleo a los 8 años de edad (Figura 4.30).

Las discrepancias de los resultados relativo al efecto de la intensidad de raleo sobre la variable h_{dom} obtenidos en las parcelas de inventario (Tabla 4.18) versus los árboles seleccionados (también dominantes y codominantes), pueden deberse entre otras razones, al error de muestreo por tratarse de dos muestras independientes (parcelas versus árboles aislados) y a los métodos de medición aplicados (indirectos y directo sobre el árbol apeado).

En los clones 232 y 214 (Figura 4.31), el volumen medio individual con corteza de los árboles seleccionados presentan aumentos significativos con la intensidad del raleo. Similares resultados fueron encontrados por CANIZA y APARICIO (2006) y al ser árboles de clases mayores (dominantes y/o codominantes), es esperable según LISITA et al. (1997), que estos respondan por gran parte de la producción total y que la reducción de la competencia genera altas tasas de crecimiento por un periodo más prolongado en los rodales reespaciados, estos son efectos deseables ya que los mayores rollos son los utilizados para aserrado y laminación.

5.2.3. Forma del Fuste

Los cocientes de forma de Hohenadl presentan la gran ventaja de ser comparables entre árboles de diferentes dimensiones. El cociente de forma de Hohenadl al 30% de la altura del fuste ($K_{0,30}$) fue afectado significativamente por el factor intensidad de raleo. Sin embargo, este factor no actúa de manera independiente ya que pueden advertirse

comportamientos distintos en el sentido y en la intensidad de respuesta de los estados de competencia con el aumento de la intensidad de raleo y que depende a su vez del material genético (Figura 4.32). ASSMAN (1970) citado por FERREIRA (1999) advierte el cambio de forma del tronco (en Abeto) a causa del aumento de la edad y la altura, estas son debido principalmente por el aumento de la base del árbol. La presión estática en las secciones transversales del tronco cerca del suelo y que crece con el aumento de la altura del árbol, resulta en un engrosamiento continuo de la base del tronco, con el cual el punto de inflexión de la curva del tronco cerca del suelo no es captado por la serie de cociente de forma de Hohenadl, sugiriendo tomar medidas adicionales como a 2,5% y 12,5% de la altura del suelo.

De manera general, los demás cocientes naturales $k_{0,50}$, $k_{0,70}$ y $k_{0,90}$ fueron afectados por los factores clon e intensidad de raleo. En todos ellos, los clones 230 y 232, establecidos con un espaciamiento 4 x 3 m presentaron similares valores, sin diferenciarse entre sí. Por su parte, en el clon 214, plantado a una configuración 4 x 4 m los cocientes fueron significativamente mayores respecto de los otros dos clones (Figuras 4.33, 4.35 y 4.37). En este sentido, SCOLFORO y FILHO (1998) sostienen que en espaciamientos más reducidos, los árboles tienen tendencia a ser menos cónicos que en los espaciamientos mayores. Asumiendo entonces, que cuanto más denso es el rodal o cuanto mayor la competencia entre los árboles, mejor es la forma de los árboles. En forma coincidente, los cocientes de forma del presente estudio tienen una tendencia a disminuir sus valores con el aumento de la intensidad de raleo, es decir, tienden a ser árboles más cónicos (Figuras 4.34, 4.36 y 4.38). En referencia a esto SCOLFORO y FILHO (1998) y MÄKINEN e ISOMÄKI (2004) (128) sostienen que poblaciones raleadas tienden a presentar árboles menos cónicos que aquellas no raleadas, en las primeras ocurre, proporcionalmente, un crecimiento mayor en la base de la copa que a nivel del DAP. Sin embargo, esto ocurre cuando los raleos son leves, a medida que se implementan raleos más intensos, hay una peor forma de los árboles.

El factor de forma de Hohenadl ($f_{0,10}$), derivado de cada serie natural, se ve afectado por los factores clon e intensidad de raleo. De esta manera puede utilizarse a este factor de manera confiable como un factor indicador de la forma de los fustes. De la misma manera que los cocientes de forma, el factor de forma se ve perjudicado con el aumento de la intensidad de raleo. FRIEDL (1989) encontró que los factores que afectan la forma de la *Araucaria angustifolia*, expresada por el $f_{0,10}$ son: la edad, la clase sociológica y en menor medida la calidad de sitio. También FERREIRA (1999) y PIENNAR (1965) citado por FERREIRA (1999) indican que la edad afecta el factor de forma natural y que éste tiene un comportamiento similar al factor de forma absoluto, es decir, crece con el aumento de la edad. Según FERREIRA (1999) para *E. grandis* y *E. Cloeziana* y MACHADO et al. (1991) citado por FERREIRA (1999) para *P. taeda*, se puede considerar que el factor de forma natural varía con el aumento o disminución de las dimensiones del árbol, utilizando una ecuación cuadrática para describir dicho comportamiento en relación de las clases de diámetro de los árboles (tendencia creciente hasta la clase de diámetro de 15 a 20 cm, decreciendo en las últimas dos clases).

6. CONCLUSIONES

En relación a los resultados obtenidos, a las consideraciones expuestas y de acuerdo a las condiciones en las que se realizó el presente estudio, se pueden presentar las siguientes conclusiones:

- *En relación a los caracteres de importancia de la madera para uso sólido:*

Los tres clones evaluados expresaron, en forma comparativa, variaciones importantes en las tensiones de crecimiento, excentricidad de medula y relación albura-duramen, estableciendo que a través de la selección de árboles es posible lograr una disminución significativa en estos caracteres de interés para uso sólido de la madera de *E. grandis*.

En términos de tensiones de crecimiento, los clones tienen una respuesta diferencial a los grados de apertura del dosel, los clones 230 y 214 se manifiestan poco afectados por las intensidades de raleo estudiadas, mientras que el clon 232 presenta una tendencia significativa a disminuir las intensidades de las rajaduras en las caras de los rollos a medida que la intensidad del raleo aumenta. Por su parte, en los tres clones la excentricidad de medula y la relación albura-duramen, en general, presentan una tendencia a aumentar a causa de la combinación de tratamientos que indujeron el rápido crecimiento de los árboles.

La generación de nuevas condiciones en la competencia entre los árboles de un rodal post-raleo, pueden influir significativamente en los caracteres de interés para el uso sólido de madera de *Eucalyptus* corroborando las hipótesis propuestas por Kubler (1988) y Touza (2001). En este sentido, los árboles que mantienen la competencia asimétricamente distribuida a su alrededor muestran una tendencia a tener mayores tensiones de crecimiento (rajaduras en las caras de los rollos), medula más excéntrica y una mayor relación albura-duramen, en relación a los árboles creciendo con la competencia simétricamente distribuida a su alrededor.

Se evidencian variaciones significativas de los caracteres de interés de la madera (tensiones de crecimiento, excentricidad de medula y relación albura-duramen) con las alturas del fuste, por lo cual el rendimiento industrial tenderá a ser menor a partir del segundo o tercer rollo y las tablas obtenidas podrán tener menor calidad. No obstante, la diferencia detectada en el patrón de distribución, la uniformidad y la magnitud de los caracteres de la madera de los tres clones a lo largo del fuste, permiten inferir que a través de la selección de árboles y mediante un correcta ejecución del régimen de raleo adoptado, es posible la adición de valor en la madera, mediante el crecimiento y control ó reducción de las tensiones de crecimiento, la excentricidad de medula y la relación albura-duramen a lo largo del fuste. Estas respuestas junto con el objetivo de producción, deben orientar al silvicultor a planificar actividades culturales diferenciales para cada genotipo,

sitio, tecnología disponible, etc., para permitir desplegar las características superlativas de cada clon en rotaciones relativamente cortas.

➤ *En relación a los parámetros dendrométricos y forma del fuste:*

De manera general, el Dg es afectado por la cantidad de árboles por hectárea y muestra una tendencia significativa de aumento con la mayor abertura del dosel, confirmando la mayoría de los trabajos de distanciamiento iniciales e intensidad y oportunidad de raleo. Al mismo tiempo, individualmente los árboles con competencia asimétrica post-raleo tienden a alcanzar mayores diámetros medios, capitalizando el micro aumento del espacio vital disponible por la falta de algún/os vecinos a su alrededor, con aumentos promedios de 3,7% y de 5,3%, en relación a los de CS, en las intensidades de raleo leve y alta.

La densidad de plantación influencia significativamente la producción volumétrica de los clones evaluados. El clon 214 de mayor distanciamiento inicial presentó menor volumen por hectárea, resultado coincidente con los encontrados en la literatura. Al mismo tiempo, en este clon establecido con una geometría espacial 4 x 4 m, es posible alcanzar una mayor proporción de árboles con CS por hectárea, en promedio un 63,1% y llegando a proporciones de árboles con CS de 68,8% y 75,1% en las intensidades leve y alta respectivamente. En los clones con una configuración inicial de 4 x 3 m, se alcanzan menores proporciones de árboles con CS, promediando un 46,2% y un 52,7% respectivamente.

El estado de competencia individual no influye en el volumen de madera individual de los árboles ni en la forma del fuste. Sin embargo, la forma del fuste es afectado por el material genético y por las intensidades de raleo. Estas últimas, cuando son muy intensas deterioran la forma del fuste, coincidiendo con lo citado por la literatura. En tanto, subsisten interrogantes en cuanto al efecto del factor clon y/o los distintos espaciamientos iniciales que poseen los clones evaluados. En este sentido, los clones 230 y 232, dispuestos con un espaciamiento inicial de 4 x 3 m presentaron similares

valores de cociente de forma y factor de forma natural, sin diferenciarse entre sí. Por su parte, el clon 214 establecido con una configuración 4 x 4 m, mantiene mayores valores de los cocientes de forma evaluados y de su factor de forma derivado, indicando una mejor forma del fuste, respecto de los otros dos clones.

7. RECOMENDACIONES

El presente trabajo es una investigación inicial y con las evidencias aportadas en cuando a las variaciones de los caracteres de importancia de la madera del *Eucalyptus*, por efecto de los estados de competencias estudiados, sobresale la importancia de incorporar el criterio del espaciamiento simétrico de los árboles al momento del marcado del raleo e incluir a esta variable (estado de competencia) en las evaluaciones de nuevos materiales genéticos.

En este contexto, sería importante estudiar a los mismos clones comerciales (del INTA y otras empresas), dispuestos en distintos distanciamientos iniciales y en combinación con distintos esquemas de raleos (oportunidad, intensidad y edad de inicio), evaluar la dinámica de copa (estructura de ramas y distribución de área foliar), los parámetros dendrométricos, la forma de los fustes y el porcentaje de árboles con CS por ha^{-1} , buscando relacionar los estados de competencias individuales por medio de índices con los caracteres de interés para la producción de madera de calidad para uso sólido y sus rendimientos durante su procesamiento mecánico.

Sin embargo, las evaluaciones económicas de los distintos regímenes de manejo (distanciamientos iniciales y esquemas de raleos) aplicados deben complementar el estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION); "Situación de los Bosques del Mundo 2009", Publicación electrónica, ISBN: 978-92-5-306057-3 disponible en www.fao.org/docrep/011/i0350s/i0350s00.HTM. Roma, Italia (2009).
- (2) BROWN, A.; "Cuando el Bosque no te Deja Ver el Árbol", Publicación electrónica Fundación ProYungas disponible en <http://www.proyungas.org.ar/informes/pdf/Cuando%20el%20bosque%20no%20te%20deja%20ver%20el%20arbol.pdf> Argentina (2009).
- (3) EVANS, J.; "Planted Forests: Uses, Impacts and Sustainability", Ed., CABI/FAO, Oxfordshire, UK, pp 1 - 33 (2009).
- (4) APARICIO, J. L; LAROCCA, F. y DALLA TEA, F.; "Silvicultura de Establecimiento de *Eucalyptus grandis*", IDIA XXI Forestal Ed., INTA 5 (8): 66 - 69 (2005).
- (5) MARCÓ, M. A. y SHIELD, E.; "Eucalyptus de Rápido Crecimiento para Usos Sólidos", IDIA XXI Forestal Ed., INTA 5 (8): 184 - 185 (2005).
- (6) PAULO DE AZEVEDO, C.; "Predição da Distribuição Diamétrica de Povoamentos Florestais Inequiâneos pelo Emprego da Matriz de Transição", Tese Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Brasil (1993).
- (7) SCOLFORO, J. R. S.; "Manejo Florestal", Ed., UFLA/FAEPE, Lavras (MG), Brasil, pp 381 - 405 (1998).
- (8) CRECHI, E.; FERNANDEZ, R.; FASSOLA, H.; FRIEDL, A.; REBORATTI, H. y KUZDRA, H.; " Efecto de la Densidad de Plantación Sobre el Crecimiento en *Eucalyptus Grandis* Hill Ex Maiden a la Edad de 6 Años", X Jornadas Forestales y Ambientales de Eldorado, FCF – UNaM/INTA Montecarlo, pp. 12 CD-ROM (2003).
- (9) COZZO, D.; "Tecnología de la Forestación en Argentina y América Latina". Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina pp. 380–393, 405–435, 582 - 584 (1976).
- (10) LISITA, A.; LEITE, H. G.; C CAMPOS, J. C.; REGAZZI, A. J. y DOS SANTOS LELLIS, V. G.; "Efeitos de Reespaçamentos na Produção, no Diâmetro Médio e na Estrutura de Povoamentos de *Eucalyptus camandulensis*", Revista Árvore 21 (4): 473 - 482 (1997).
- (11) LIMA, I. L; "Influencia do Desbaste e da Adubaçao na Qualidade da Madeira para Serrada de *Eucalyptus grandis* Hill. ex Maiden". Tese Doutorado. Universidade de São Paulo. Brasil (2005).

- (12) SANCHEZ ACOSTA, M.; "Experiencia Argentina en el Uso de la Madera de Eucalipto", Anais Seminário Internacional de Utilização da madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP pp. 74 - 91 (1995).
- (13) SAGPyA; "Consulta de internet: Ley 26.432 Prórroga y Reforma de la Ley 25.080", disponible en Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación www.sagpya.mecon.gov.ar (18 diciembre 2009).
- (14) ELIZONDO, M. H.; MESTRES, J. M.; GIMÉNEZ, J. E.; C MORENO, J.; WABO, E. y CHAUCHARD, L. M.; "Primer Inventario Forestal de la Provincia de Corrientes: Metodología, Trabajo de Campo y Resultados", CFI/Prov. Corrientes pp. 70. CD-ROM (2009).
- (15) APARICIO J. L. y LÓPEZ, J. A.; "Potencial de *Eucalyptus grandis* en los Suelos del Sudeste de la Provincia de Corrientes y Algunos Factores Edáficos Relacionados con la Producción de Madera", Simposio Manejo Nutritivo de Plantaciones Forestales, IUFRO (1995).
- (16) VERA, L. y LAROCCA, F.; "Evaluación Económica de la Producción de Madera de Eucalipto en el Nordeste de Entre Ríos: Manejo Tradicional vs Manejo con Raleos" Ed. INTA EEA Concordia, Argentina pp. 19 (2004).
- (17) SANCHEZ ACOSTA, M.; "Estado de la Tecnología en Usos no Tradicionales de la Madera de Eucalipto en el Mercosur y Otros Países", SIMATEC 98. I Encuentro sobre Tecnologías Apropriadas e Desdoble, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, SIF/UFV/DEF (1998).
- (18) PONCE, R. H.; "Madeira Serrada de Eucalipto: Desafios e Perspectivas". Anais Seminário Internacional de Utilização da madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP pp. 50 - 58 (1995).
- (19) BRAIER, G.; "Perspectivas del Sector Forestal en Entre Ríos y Corrientes". XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, INTA Concordia pp. 8 (2005).
- (20) WEST, P. W.; "Growing Plantation Forests", Ed., Springer, Berlin Heidelberg New York (2006).
- (21) SHIELD, E. y MASTRANDREA, C.; "Reglas de Tipificación de Madera Aserrada y Secada en Horno de *E. grandis* en la Mesopotamia, Argentina". Ed., INTA - EEA Concordia, Argentina (2007).
- (22) LÓPEZ, J. A.; "Mejoramiento Genético de la Calidad de la Madera", I Jornada Sobre Potencial Foresto-Industrial del Eucalipto en Santiago del Estero, FCF - UNSE pp. 6 (2005).
- (23) COUTO, H. T. Z.; "Manejo de Florestas e suas Utilizações em Serraria", Anais Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP pp. 20 - 30 (1995).

- (24) ROSSO, F. y NININ, P.; “Variabilidad de los Defectos de Trozas de la Especie Teca (*Tectona grandis* L.F) en Diferentes Densidades Arbóreas en la Unidad Experimental de la Reserva Forestal de Ticoporo, Barinas-Venezuela”. Rev. Forest. Venez. 42 (2): 103 - 112 (1998).
- (25) CHIES, D.; “Influência do Espaçamento Sobre a Qualidade e o Rendimento da Madeira Serrada de *Pinus taeda* L.”, Tese Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Brasil pp. 137 (2005).
- (26) ZOBEL, B.; “Wood quality from fast-grown plantations”, TAPPI 64(1): 71 - 74 (1981).
- (27) CORONEL, E. O.; “Fundamentos de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas. Aspectos Teóricos y Prácticos para la Determinación de las Propiedades y sus Aplicaciones”, Ed., ITM/El Liberal, Santiago del Estero, Argentina pp. 187 (1994).
- (28) MAESTRI, R.; “Ganhos Tecnológicos na Produção de Madeira Reflorestada Sob Manejo”. SIF, III Seminário de Produtos Sólidos de Madeira de Eucalipto, pp. 19 (2005).
- (29) GONÇALVES G, F.; “Avaliação da Qualidade da Madeira de Hibrido Clonal de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* para Produtos Sólidos”, Tese Mestrado, Universidade Federal de Espírito Santo. Brasil pp. 169 (2006).
- (30) CHAN, M. H. M.; ARAUJO M, O. y AZUETA G, M.; “Los Defectos Naturales en la Madera Aserrada”, Ingeniería 6 (1): 29 - 38 (2002).
- (31) MENDOÇA, A. R.; “Avaliação de uma Metodologia para Otimização do Volume de Toras Comerciais de *Eucalyptus* sp. em Função da Qualidade do Fuste”, Tese Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo. Brasil pp. 91 (2006).
- (32) SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, C. R. H. y GUIMARÃES F, C. A.; “Influência de Diferentes Intensidades de Desrama sobre a Porcentagem de Lenho Tardio e Quantidade de Nós da Madeira de Primeiro Desbaste de *Pinus Elliottii* Engelman”, Revista Ciência Florestal 8 (1): 115 - 127 (1998).
- (33) SEITZ, R. A.; “Manual da Poda de Espécies Arbóreas Florestais”, Ed., FUPEF. Brasil PP. 5 - 12 (1995).
- (34) NUTTO, L.; TOUZA, M. C. V. y DELGADO, J. L.; “Producción de Madera de Calidad de Eucalipto”, Revista CIS – Madera pp. 35 - 45. www.cismadera.com/castelan/downloads/cismadera11poda.pdf (15 octubre 2009).
- (35) MALAN, F. S.; “Eucalyptus Improvement for Lumber Production”, Anais Seminário Internacional de Utilização da madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP pp. 1 - 19 (1995).

- (36) WAUGH, G.; "Sawing of Young Fast Growing Eucalypts", SIMATEC 98. I Encontro Sobre Tecnologias Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto, SIF/UFV/DEF, pp. 69 - 81 (1998).
- (37) DINWOODIE, J. M.; "Growth Stresses in Timber: a Review of literature", Forestry London 39 (2): 162 - 270 (1966).
- (38) GARCIA, J. N.; "Técnicas de Desdobro de Eucalipto", Anais Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria LCF/IUFRO/ESALQ/USP pp. 59 - 67 (1995).
- (39) FERRAND, J. CH.; "Growth Stresses and Silviculture of Eucalypts", Australian Forest Research 13 (1): 75 - 81 (1983).
- (40) KUBLER, H.; "Growth Stresses in Trees and Related Wood Properties", Forest Products Abstracts 10 (3): 61 - 119 (1987).
- (41) LOPEZ, J. A. y PARISI, L.; "Tensiones de Crecimiento del Estrato Dominante de Algunos Orígenes y Procedencias de *Eucalyptus grandis* a los 17 Años de Edad en 2 Sitios del Oeste de la Provincia de Corrientes, Argentina", Jornadas Forestales de Entre Ríos, INTA Concordia pp. 11 (2002).
- (42) SCHAITZA, E. G. y PEREIRA, J. C. D.; "Tensões de Crescimento em *Eucalyptus* spp", Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, IUFRO/EMBRAPA pp. 16 (1997).
- (43) DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R. y SOUZA, M. R.; "Consecuencias de las Tensiones de Crecimiento en la Producción de Madera Aserrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y de *E. cloeziana* F. Muell", IUFRO. Valdivia, Chile (1998).
- (44) TOUZA, M. C. V.; "Proyecto de Investigación Sobre Sistemas de Aserrado Adecuado para Procesar *Eucalyptus globulus* con Tensiones de Crecimiento", Revista CIS - Madera 6: 8 - 37 (2001).
- (45) SCHACHT, L. y GARCIA, J. N.; "Variação Entre e Intra Clones nas Rachaduras de Topo em *Eucalyptus urophylla* S. MT. Blake", Conference on Siviculture and Improvement of Eucalypts. IUFRO/EMBRAPA 3: 401 - 404 (1997).
- (46) DOS SANTOS, P. E. T.; "Avaliação de Características Tecnológicas de Madeira para Serraria em Progênieis de Polinização Aberta de Eucalipto e Aplicações para o Melhoramento Genético", Tese Doutorado, Universidade de São Paulo. Brasil pp 174 (2002).
- (47) NICHOLSON, J. E.; "Growth Stress Differences in Eucalypts", Forest Science 19 (3): 169 - 174 (1973).
- (48) MALAN, F. S.; "The Wood Properties and Qualities of Three South African-Grown Eucalypt Hybrids", South African Forestry Journal 167: 35 - 44 (1993).

- (49) MALAN, F. S. y VERRY, S. D.; "Effect of Genotype-by-Environment Interaction on the Wood Properties and Qualities of Four-year-old *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* Hybrids", South African Forestry Journal 176: 47 - 53 (1996).
- (50) MALAN, F. S.; "The Control of end Splitting in Sawlogs: A Short Literature Review", South African Forestry Journal 109:14 - 79 (1979).
- (51) LARSON, P. R.; "Stem Form Development of Forest Trees". For. Sci. Monogr. 5, 42 (1963).
- (52) MUHAIRWE, C. K.; Examination and Modelling of Tree Form and Taper Over Time for Interior Lodgepole Pine", Thesis of Doctor of Philosophy, University of British Columbia. Canadá pp. 192 (1993).
- (53) SCHNEIDER, P. R.; "Introdução ao Manejo Florestal", UFSM/CEPEF/FATEC, Santa Maria, Brasil, pp. 348 (1993).
- (54) PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, R. y REAL, P.; "Mensura Florestal", Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible IICA/GTZ, San José, Costa Rica, pp. 32 - 79 (1997).
- (55) SCOLFORO J. R. S. y FILHO, F. A.; "Biometria Florestal: Medição e Volumetria de Arvores", UFLA/FAEPE, Lavras (MG), Brasil, pp. 310 (1998).
- (56) FERREIRA, S. O.; "Estudo da Forma do Fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus Cloeziana*", Tese Mestrado, Universidade Federal de Lavras. Brasil pp. 132 (1999).
- (57) MASTRANDREA, C.; "Optimización del Recurso Maderero en la Industria del Aserrado", Serie de Extensión Nº 4, Ediciones INTA, Concordia, pp. 5 - 10 (2008).
- (58) EHRENBERG, C.; "Búsqueda en internet: Mejora de la Calidad de los Troncos", Información Disponible en FAO Departamento de Montes <http://www.fao.org/docrep/a2173s/a2173s04.htm> (19/11/2007).
- (59) BORSOI, G. A.; "Subsídios para o Manejo de uma Floresta Ombrófila Mista em Estágio Avançado de Regeneração Natural", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria. Brasil pp. 186 (2004).
- (60) VALE, R. S.; MACEDO G, R. L.; VENTURIN, N.; MORI, F. A. y MORAIS, A. R.; "Efeito da Desrama Artificial na Qualidade da Madeira de Clones de Eucalipto em Sistema Agrossilvipastoril", Revista Árvore 26 (3): 285 - 297 (2002).
- (61) CALLIEZ, F.; "Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento con Referencia Especial a los Trópicos", Vol. 1 ONU/FAO Montes, Roma, Italia, pp. 38 - 52 (1980).

- (62) HUSCH, B.; MILLER, C. L. and BEERS, T. W.; "Forest Mensuration", 3th Ed., John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, USA, pp. 410 (1982).
- (63) SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S. y OLIVEIRA, A. D.; et al. "Acuracidade de Equações de Afilamento para Representar o Perfil do Fuste de *Pinus elliottii*", Revista Cerne 4 (1): 100 - 122 (1998).
- (64) FRIEDL, R. A.; "Dinâmica e Prognose da Forma dos Fustes em Povoamentos Plantados de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze." Tese Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Brasil pp. 181 (1989).
- (65) GONÇALVES J. L.; STAPE, J. L.; LACLAU, J.; SMETHURST, P y GAVA, J. L.; "Silvicultural Effects on the Productivity and Wood Quality of Eucalypt Plantations", Forest Ecology and Management 193: 45 - 61 (2004).
- (66) LOPEZ, J. A. y APARICIO, J. L.; "Crecimiento y Producción de *Eucalyptus grandis* con Diferentes Densidades de Plantación (Información hasta el 120 año de edad)", Informe Técnico N° 8 INTA, Bella Vista, pp.12 (1995).
- (67) SANQUETTA, C. R.; FILHO, P. C. O.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; DURIGAN, M. E.; KLECHOWICZ, N. A. y NISGOSKI, S.; "Efeito do Espaçamento de Plantio em Reflorestamentos I. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden y *Eucalyptus saligna* Sm. Em Itararé-SP", Revista Acadêmica UFPR. 41 - 52 (1998).
- (68) MELLO, H. do A.; SIMOES, J. W.; FERREIRA, C. A. y BRASIL, U. M.; "Influencia do Espaçamento e da Idade de Corte na Produção de Madeira de Eucalipto em Solo de Cerrado", IPEF 13: 143 - 162 (1976).
- (69) ZOBEL, B. "Silvicultural Effects on Wood Properties", IPEF Internacional 2: 31 - 38 (1992).
- (70) DANIEL, T. W.; HELMS, J. A. y BACKER F. S.; "Principios de Silvicultura", 2^{da} ed., Mac. Graw-Hill, México, pp 492 (1982).
- (71) LIMA, I. L.; FLORSHEIM, S. M. B. y LONGUI, E. L.; "Influencia do Espaçamento em Algumas Propriedades Físicas da Madeira de *Tectona grandis*", Cerne 5 (2): 244 - 250 (2009).
- (72) MORAIS, M. C. y PEREIRA, H.; "Heartwood and Sapwood Variation in *Eucalyptus globulus* Labill. Trees at the End of Rotation for Pulpwood Production", Ann. For. Sci. 64: 665 - 671 (2007).
- (73) GOMINHO, J. y PEREIRA, H.; "The Influence of Tree Spacing In Heartwood Content In *Eucalyptus globulus* Labill", Wood and Fiber Science 37 (4): 582 - 590 (2005).
- (74) HEIN, S.; WEISKITTEL, A. y KOHNLE, U.; "Effect of Wide Spacing on Tree Growth, Branch and Sapwood Properties of Young Douglas-fir

- [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb. Franco)] in South-Western Germany”, Eur. Jor. Forest Res. 127: 481 - 493 (2008).
- (75) MÄKINEN, H. y HEIN, S.; “Effect of Wide Spacing on Increment and Branch Properties of Young Norway Spruce”, Eur. Jor. Forest Res. 125: 239 - 248 (2006).
- (76) MIRANDA, I.; GOMINHO, J. y PEREIRA, H.; “Impacto do Número de Árvores por Hectarea no Cerne de Árvores de *Eucalyptus globulus* Labill.”, 5^o Congresso Florestal Nacional (2005) disponible en <http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T4-36.pdf>.
- (77) HUSCH, B.; BEERS, T. W. y KERSHAW, J. A.; “Forest Mensuration”, 4th Ed., John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, USA, pp. 110 - 112 (2003).
- (78) ARCE, V. y WILLIAM, F. G.; “Relación Albura-Duramen y Características Físicas de la Madera de *Tectona grandis* L. F. en Plantaciones de Diez Años con Diferente Densidad de Siembra, Guanacaste, Costa Rica”, Seminario “La Industria de la Madera y Comercialización de Productos Forestal en Latinoamérica” INISEFOR (1): 125 – 133 (2003).
- (79) SGS, “Búsqueda en internet: Informe de Certificación de Manejo Forestal”, <http://www.forestry.sgs.com/documents/sgs-7087-artapebicua-sa2009-23-ad36a-gm-psummary-pt-10.pdf> (10/04/2010).
- (80) ESCOBAR, E. H.; LIGER, H. D.; MELGAR, R.; MATTEIO, H. R. y VALLEJOS, O.; “Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes, 1:500.000”, Sub. Rec. Nat. y M. Ambiente/INTA Corrientes pp. 432 (1996).
- (81) LIGIER, H. D.; KURTZ, D.; PERUCCA, R.; GIMÉNEZ, L.; LÓPEZ, J. A.; MATTEIO, H. y VALLEJOS, O.; “Identificación de Calidad de Sitio para Pino y Eucalipto, Según Características Fisiográficas y Edáficas por Series de Suelo con Apoyo de Imágenes Landsat 5 TM, en la Región del Uruguay (Corrientes)”, INTA Sombrerito, Recursos Naturales, Corrientes, pp. 86 (2000).
- (82) JORGE, L. A. C. y CRESTANA, S.; “SIARCS 3.0: Novo Aplicativo para Análise de Imagens Digitais Aplicados a Ciência do Solo”, Congresso latinoamericano de ciência do solo pp. 5 (1996).
- (83) LIMA, I. L.; “Variação de Propriedades Indicativas da Tensão de Crescimento em Função da Posição na Arvore e da Intensidade de Desbaste”, Tese Mestrado, Universidade de São Paulo. Brasil pp. 90 (2000).
- (84) LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. y STAPE, J. L.; “Influência do Desbaste e da Fertilização no Deslocamento da Medula y Rachaduras na Extremidade da Tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden”, Cerne 13 (2): 170 - 177 (2007).

- (85) FASSOLA H. E.; CRECHI E. H.; KELLER A. E.; BARTH S. y FERNANDEZ T. E.; "Funciones y Algoritmos Dasométricos para Manejo Silvícola Intensivo, de Aplicación en Plantaciones Forestales Orientadas a Producción de Madera de Alto Valor Agregado para la Región Mesopotámica", PAN 571- Informe Técnico N° 61, INTA Montecarlo pp. 103 (2007).
- (86) FERREIRA, P. V.; "Estatística Experimental Aplicada à Agronomia", FUNDAC/UFAL/FUNDEPES Maceió, Alagoas, Brasil pp. 440 (1991).
- (87) MONTGOMERY, D; "Design and Analysis of Experiments", 4th Ed., John Wiley & Sons, New York, U.S.A., pp. 228 - 289 (1997).
- (88) BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J. A. y ROBLEDO, C. W.; "Manual del Usuario Software InfoStat", Editorial Brujas, Córdoba, Argentina pp. 109 - 113 (2008).
- (89) SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide. Release 8.00 Edition. Sitio: INTA 14759001 (2008).
- (90) GLADE, J. E.; "Curvas de Índice de Sitio para *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos", Informe Forestal N° 1 INTA Concordia, pp. 8 (1999).
- (91) TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C.; MENDES, L. M.; MORI, F. A. y SOUZA, M. A.; "Avaliação da Tensão de Crescimento em Clones de *Eucalyptus*", Revista Floresta e Ambiente 9 (1): 38 - 44 (2002).
- (92) MALAN, F. S. y HOON, M.; "Effect of Initial Spacing and Thinning on Some Wood Properties of *Eucalyptus grandis*", South African Forestry journal 163: 13 - 20 (1992).
- (93) WILKINS, A. P. y KITAHARA, R.; "Silvicultural Treatments and Associated Growth Rates, Growth Strains and Wood Properties in 12.5-Year-old *Eucalyptus grandis*", Australian Forestry 54 (1 & 2): 99 - 104 (1991).
- (94) LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. y STEFANO, S. M.; "Rachaduras de Extremidades de Tora e sua Implicações nas Rachaduras da Madeira Serrada", Scientia Forestalis 61: 13 - 24 (2002).
- (95) LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. y NOGUEIRA, M. S.; "Influência do Desbaste nas Tensões de Crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden", Scientia Forestalis 59: 111 - 125 (2000).
- (96) LOPEZ, J. A. y ELIES, G.; "Índice de Rajado de *Eucalyptus grandis* en Diferentes Posiciones de Altura. Resultados y Actividades 1996", Informe Técnico N°10 EEA Bella Vista, pp. 3 - 4 (1997).
- (97) SCANAVACA, J. L. J. y GARCIA, J. N.; "Rendimento em Madeira Serrada de *Eucalyptus urophylla*", Scientia Forestalis 63: 32 - 43 (2003).

- (98) KUBLER, H.; "Silvicultural Control of Mechanical Stresses in trees", Canadian Journal of Forest Research. 18 (10): 1215 – 1225 (1988).
- (99) SCHACHT, L; GARCIA, J. N. y VENCOVSKY, R; "Variação Genética de Indicadores de Tensão de Crescimento em Clones de *Eucalyptus urophylla*", Scientia Forestalis 54, 55 - 68 (1998).
- (100) LOPEZ, J. A.; APARICIO, J. L. y GENES, P. Y.; "Efecto de Diferentes Intensidades de Raleo en la Densidad de la Madera y en las Tensiones de Crescimento de *Eucalyptus grandis*", Jornada Forestal Las Taperitas/INTA Bella Vista. Ed. INTA Bella Vista: 32 - 42 (2006).
- (101) FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. y MONTEIRO, T. C.; "Excentricidade da Medula em Caules de Clones de *Eucalyptus* Cultivados em Diferentes Topografias", Cerne 14 (4): 335 - 340 (2008).
- (102) COSTA, A.; "Anatomia da Madeira", Joinville: UDESC pp. 42 (2001).
- (103) MIRANDA, I; GOMINHO, J y PEREIRA, H.; "Variation of Heartwood and Sapwood in 18-Year-Old *Eucalyptus globulus* Tree Grown with Different Spacings", Trees: Structure and Function 23: 367 - 372 (2009).
- (104) MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; LOURENCO, A. y PEREIRA, H.; "Heartwood, Extractives and Pulp Yield on Three *Eucalyptus globulus* Clones Grown in Two Sites", Appita Jor. 60 (6): 485 - 489 (2007).
- (105) MIRANDA, I; GOMINHO, J; LOURENÇO, A y PEREIRA, H.; "The Influence of Irrigation and Fertilization on Heartwood and Sapwood Contents in 18-Year-Old *Eucalyptus globulus* Trees", Can. Jor. Res. 36: 2675 - 2683 (2006).
- (106) WILKINS, A. P.; "Sapwood, Heartwood and Bark Thickness of Silviculturally Treated *Eucalyptus grandis*", Wood Sci. Technol. 25: 415 - 423 (1991).
- (107) SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K y KIRA, T.; "A Quantitative Analysis of Plant Form - the Pipe Model Theory I. Basic Analyses", Japanese Journal of Ecology 14: 97 - 105 (1964 a).
- (108) SHINOZAKI, K.; YODA, K.; HOZUMI, K. y KIRA, T.; "A Quantitative Analysis of Plant Form - the Pipe Model Theory II. Further Evidence of the Theory and its Application in Forest Ecology", Japanese Journal of Ecology 14: 133 - 139 (1964 b).
- (109) OOHATA, S. y SHINOZAKI, K.; "A Statical Model of Plant Form – Further Analysis of the Pipe Model Theory", Japanese Journal of Ecology 29: 323 - 335 (1979).
- (110) CHIBA, Y.; "Plant Form Analysis Based on the Pipe Model Theory. I. A Statical Model within the Crown", Ecol. Res. 5: 207 - 220 (1990).

- (111) CHIBA, Y.; "Plant Form Analysis Based on the Pipe Model Theory. II. Quantitative Analysis of Ramification in Morphology", *Ecol. Res.* 6: 21 - 28 (1991).
- (112) FASSOLA, H.; CRECHI, E; BARTH, S.; KELLER, A.; PINAZO, M.; MARTIARENA, R.; VON WALLIS, A. y FIGUEREDO, I.; "Relación entre la Biomasa Aérea y la Sección Transversal en la Base de Copa Viva de *Pinus Taeda* L. en el Norte de la Provincia de Misiones. Argentina", *Jornadas Forestales y Ambientales de Eldorado, FCF – UNaM/INTA Montecarlo* 14: 6 (2008).
- (113) KNAPIC, S. y PEREIRA, H.; "Within-Tree Variation of Heartwood and Ring Width in Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.)", *For. Ecol. Manage.* 210: 81 - 89 (2005).
- (114) PINTO, I.; PEREIRA, H. y USENIUS, A.; "Heartwood and Sapwood Development within Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait.) Stem", *Trees* 18: 284 - 294 (2004).
- (115) SILVA, J. C.; "Caracterização da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de Diferentes Idades, Visando a sua Utilização na Indústria Moveleira", Tese Doutorado, Universidade Federal do Paraná. Brasil pp. 160 (2002).
- (116) VALERA F. P. y KAGEYAMA, P. Y.; "Interação Genótipo x Espaçamento em Progênies de *Eucalyptus saligna* Smith", *IPEF* 39: 5 - 16 (1988).
- (117) BERGER, R.; "Crescimento e Qualidade da Madeira de um Clone de *Eucalyptus saligna* Smith Sob o Efeito do Espaçamento e da Fertilização", Tese Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Brasil pp. 126 (2000).
- (118) FLORES, D. M. M.; "Variação das Características Dendrométricas, da Qualidade da Madeira e da Celulose entre Árvores de um Clone de *Eucalyptus saligna* Smith", Tese Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Brasil pp. 87 (1999).
- (119) CANIZA, F. J. y APARICIO, J. L.; "Efecto de la Intensidad de Raleos en la Producción Volumétrica y en la Conicidad del Fuste de *Eucalyptus grandis* en el Sudoeste de Corrientes", *Jornada Forestal Las Taperitas/INTA Bella Vista* 25 - 31 (2006).
- (120) FRIEDL, R. A.; FERNANDEZ, R.A; CRECHI, E. H.; "Estudio del Comportamiento de la Función Altura Dominante-Edad en la Evaluación de la Calidad del Sitio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.", *Yvyretá* (2), 42-50, FCF, UNaM (1991).
- (121) DALLA TEA, F.; "Efecto de la Densidad de Plantación Sobre el Crecimiento de *Eucalyptus grandis* en Entre Ríos, Argentina", *Invest. Agr.: Sist. Rec. For.* 4 (1): 1 - 15 (1995).

- (122) SMITH, J. A. y LÓPEZ, J. A.; "Influencia de Diferentes Espaciamientos de Plantación en el Crecimiento de *Eucalyptus grandis*", Jornadas sobre Eucalyptus de Alta Productividad CIEF 269 - 279 (1991).
- (123) STAPE, J. L. y SILVA, C. R.; "Spacing and Geometric Layout Effects on the Productivity of Clonal Eucalyptus Plantations", IUFRO 2.08.03: 1 - 11 (2007).
- (124) ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J. et al.; "Produção de Biomassa de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake Sob Diferentes Espaçamentos na Região de Cerrado de Minas Gerais", Revista Árvore 23 (2): 151- 156 (1999).
- (125) GARCIA, C. H.; CORRADINE, L. y ALVARENGA, S. F.; "Comportamento Florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em Diferentes Espaçamentos", IPEF 179: 1 - 8 (1991).
- (126) MARCÓ, M., SANCHEZ ACOSTA, M. y GLADE, J. E.; "Raleo en *Eucalyptus grandis*", INTA Concordia 3: 1 - 5 (1988).
- (127) LAROCCA, F.; DALLA TEA, F. y GLADE, J. E.; "Ensayos de Raleo de *Eucalyptus grandis* en el N.E. de Entre Ríos", Jornadas Forestales de Entre Ríos, Poster (2002).
- (128) MÄKINEN, H. & ISOMÄKI, A.; "Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Norway spruce trees", For. Ecol. Manage. 201: 295 - 309 (2004).

ANEXO I



Figura 4.2. Sección transversal con IR medio (0,84 (%)) del clon 230 a los 8 años de edad.



Figura 4.3. Sección transversal con IR medio (0,76 (%)) del clon 232 a los 8 años de edad.



Figura 4.4. Sección transversal con IR medio (0,96 (%)) del clon 214 a los 8 años de edad.



Figura 4.19. Secciones transversales de árboles crecidos en el mismo rodal con CS (A) y CA (B) con un 3% superior de RA/D, respecto de la sección con CS de *E. grandis* a los 8 años de edad. (V= indica el *vacio o claro* adyacente al árbol en el monte y N= indica el norte).

Tabla 4.16. Valores medios del espesor de albura (EA) en cm, albura (%), diámetro del duramen (DD) en cm y duramen (%) en los niveles de competencia y niveles de raleo de los tres clones *E. grandis* a los 8 años de edad.

Niveles de Clon	Niveles de Raleo	Niveles de Competencia	Espesor de Albura (cm)	Albura (%)	Diámetro de Duramen (cm)	Duramen (%)
230	Leve	CS	2,6	43,7	16,1	56,3
		CA	2,9	45,8	16,5	54,2
	Intermedia	CS	2,9	45,4	16,9	54,6
		CA	3,2	48,4	16,3	51,6
	Alta	CS	3,2	47,6	17,1	52,4
		CA	3,3	47,3	17,9	52,7
232	Leve	CS	2,1	37,4	15,7	62,6
		CA	2,3	40,5	15,4	59,5
	Intermedia	CS	2,4	38,9	18,1	61,4
		CA	2,6	40,7	17,9	59,3
	Alta	CS	2,9	40,2	20,3	59,8
		CA	2,9	40,3	19,6	59,7
214	Leve	CS	2,2	37,5	16,9	62,5
		CA	2,3	37,1	17,7	62,9
	Intermedia	CS	2,7	39,5	19,0	60,5
		CA	3,0	41,9	19,1	58,3
	Alta	CS	2,7	39,2	19,6	60,8
		CA	3,0	39,2	21,1	60,8