



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

**EFFECTO DE LAS TENSIONES DE CRECIMIENTO EN LA
MADERA DE *Eucalyptus dunnii* Maiden (*Myrtaceae*)**

MARIANO AGUSTÍN HERNÁNDEZ

Tesis Presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como exigencia
parcial de la Maestría en Ciencias de
la Madera, Celulosa y Papel.

Director: Dra. Silvia Estela Monteoliva

Co-Director: Ing. (Msc) Constantino Zaderenko

2012

Esta tesis está dedicada mi mamá Marta. A mi hermana María Paula y a Francisquito, que es mi mayor alegría y motivación. A Carlos, amigo incondicional. A mi novia Lorena, quien siempre supo levantarme el ánimo cuando me creí vencido y me apoyó en este camino que emprendí aún cuando fuera en contra de sus propios intereses. Y a todos aquellos amigos con los que compartí tardes de mate, guitarreadas y sonrisas.

AGRADECIMIENTOS

No me resulta fácil transmitir en pocas líneas mi gratitud a todas aquellas personas e instituciones que de una forma u otra posibilitaron este trabajo. Con el riesgo de caer en omisiones involuntarias trataré de enumerarlas.

Quiero empezar por la institución que financió mi maestría y la realización de esta tesis, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y por el ingeniero Juan López quien realizó las gestiones para que pudiera realizar este estudio de posgrado y me facilitó el acceso al ensayo en el que trabajé.

A mi guía, Silvia Monteoliva, por la forma en la que supo transmitir sus conocimientos, las horas que pasó discutiendo conmigo aspectos de la tesis y la agilidad en sus respuestas. También agradecer al ingeniero Zaderenko por las buenas observaciones que realizó sobre este trabajo.

A los ingenieros Leonel Harrant, Martín Marcó, Ciro Mastrandrea, Gabriela Staffieri y Diego Ramilo por la información que compartieron conmigo con tan buena predisposición. A mis compañeros en los cursos de la maestría, Víctor Stepaniuk, Eduardo Cabral, Esteban Arias, Ángela Wink y Julieta Benítez y a mis compañeros de trabajo, Yolanda Genes y Federico Caniza, amigos que me han acompañado en este camino con sugerencias, discusiones y aprecio.

Al personal de apoyo y técnico de INTA: José Ruiz Díaz, Juan A. Sánchez, Cristian y Raúl Almirón, Gustavo Benítez, Leticia Ruiz, Carlo Lezcano y Jorge Romero. También a Martín Palacios, César Poelstra, Mario Almirón y Pablo Baez. A su trabajo duro mi mayor reconocimiento.

Finalmente a José Karlen, quien me permitió trabajar en su aserradero “San Antonio” ubicado en Bella Vista a orillas del río Paraná.

Sin la buena voluntad de toda esta gente la concreción de esta tesis hubiera sido imposible. A todos ellos mi más profundo agradecimiento.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii* Maiden, su efecto en la calidad y rendimiento de tablas aserradas y su relación con las propiedades físicas de la madera. Se muestrearon 45 árboles de tres procedencias de un ensayo de *E. dunnii* de 19 años situado en la Provincia de Corrientes, Argentina (28° 26' 23,7" S 58° 59' 47,7" O). Se realizaron determinaciones de tensiones de crecimiento a través de dos métodos: indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*, CIRAD-Forêt) e índice de rajado en rollizo (*IR*). Se midieron las propiedades físicas densidad básica (*Db*), contracción volumétrica total (C_{maxVOL}) y se determinó una medida de la variación radial de la densidad básica (β). Se obtuvo de cada árbol un rollizo de 2 m de longitud que fue aserrado para obtener tablas tangenciales de una pulgada de espesor. Se determinó el porcentaje de piezas con rajadura de cabeza (*P*), un índice que cuantifica las rajaduras para la totalidad de tablas aserradas (*IRCT*) y un índice que cuantifica las rajaduras para las tablas aserradas por rollizo (*IRT*). Se calculó el rendimiento en bruto del aserrado (*R*) y un rendimiento en calidad que excluye el defecto de las rajaduras de cabeza (*R_C*). Los resultados de *GSI* e *IR* mostraron magnitudes más bajas que la citadas para la especie (*GSI*: $0,0763 \pm 0,0251$ mm e *IR*: $0,43 \pm 0,31\%$). Los resultados para las variables *Db*, C_{maxVOL} y β fueron $0,568 \pm 0,028$ g/cm³, $19,81 \pm 2,08$ % y $0,13 \pm 0,04$ respectivamente. El *IRTC* fue de 54,4 mm/m. El *IRT* fue de $27,87$ mm/m $\pm 19,85$. Más de la mitad de tablas aserradas presentó rajaduras de cabeza (*P*: 58%), sin embargo el descenso del rendimiento del aserrado no fue pronunciado (*R*: 44,2% y *R_C*: 41,7 %). No se evidenciaron mediante apreciación visual alabeos en las tablas en estado verde. Se encontró una asociación baja entre las tensiones de crecimiento con las propiedades físicas de la madera, la densidad básica (r : 0,35 - 0,39) y contracción volumétrica total (r : 0,29-0,35). Los niveles de asociación aumentaron cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica (r : 0,59-0,52). El *IRT* presentó una asociación moderada con las tensiones de crecimiento medidas (r : 0,46-0,52).

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Hipótesis	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 <i>Eucalyptus dunnii</i>	3
2.2 Sobre las tensiones de crecimiento	4
2.2.1 Definición.....	4
2.2.2. Origen de las tensiones de crecimiento.....	5
2.2.3 Consecuencias de las tensiones de crecimiento.....	6
2.2.4 Estimación de las tensiones de crecimiento.....	8
2.2.5 Relación de las tensiones de crecimiento con la estructura y propiedades de la madera.....	10
2.2.6 Factores que influyen sobre las tensiones de crecimiento	12
3. MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Material de estudio.....	14
3.2 Variables de interés	16
3.3 Secuencia de actividades	17
3.4 Determinación del indicador de tensiones de crecimiento (GSI).....	19
3.5 Determinación del índice de rajado en rollizo	20
3.6 Densidad básica	22
3.6.1 Elaboración de probetas y medición.....	22
3.6.2 Determinación de la densidad básica promedio por árbol.....	23
3.6.3 Determinación de la tasa de cambio radial de la densidad básica ...	23

3.7 Determinación de los valores de contracción.....	24
3.8 Determinación de Indicadores del proceso de aserrado y de calidad	26
3.8.1 Aserrado de los rollizos	26
3.8.2 Evaluación de calidad: rajaduras (en estado verde).....	27
3.8.3 Porcentaje de piezas con rajadura	27
3.8.4 Índices de rajaduras en tablas.....	28
3.8.5 Rendimiento en bruto del aserrado	29
3.8.6 Rendimiento en calidad del aserrado	29
3.9 Análisis estadístico de datos	30
3.9.1 Análisis preliminar	30
3.9.1.1 Análisis de la varianza (ANOVA)	30
3.9.1.2 Regresión lineal	31
3.9.2 Estadísticos descriptivos	32
3.9.3 Análisis de correlación.....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1 Análisis preliminar	33
4.1.1 Análisis de la varianza.....	33
4.1.2 Análisis de regresión lineal.....	35
4.2 Tensiones de crecimiento	35
4.3 Propiedades físicas.....	37
4.3.1 Densidad básica	37
4.3.2 Contracción	40
4.4 Indicadores del proceso de aserrado y de calidad	43
4.5 Relaciones entre variables.....	46
5. CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS	52
ANEXO 1: PLANO DEL ENSAYO	58
ANEXO 2: MEDICIONES	59
ANEXO 3: VALORES PROMEDIO PARA LAS VARIABLES DEL ESTUDIO ..	77
ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Información climática del sitio	14
Tabla 3.2 Procedencias de <i>Eucalyptus dunnii</i> muestreadas	15
Tabla 3.3 Valores de parámetros dendrométricos del material muestreado	15
Tabla 3.4: Variables consideradas en la investigación	17
Tabla 4.1: Resultados de la prueba de Shapiro Wilks	34
Tabla 4.2: Resultados del ANOVA entre procedencias	34
Tabla 4.3: Resultados del análisis de regresión lineal.....	35
Tabla 4.4: Estadísticos descriptivos de los valores de tensiones de crecimiento	36
Tabla 4.5: Estadísticos descriptivos para los valores de densidad básica	38
Tabla 4.6: Estadísticos descriptivos para los valores de contracción	41
Tabla 4.7: Indicadores del proceso de aserrado y de calidad	45
Tabla 4.8: Estadísticos descriptivos para el índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo	46
Tabla 4.9: Matriz de correlaciones de Pearson/probabilidad	47
Tabla A.2.1: Diámetro a la altura del pecho y altura total de los árboles muestreados.....	59
Tabla A.2.2: Distancia y DAP de los árboles competidores utilizados para el cálculo del índice de competencia.....	60
Tabla A.2.3: Valores de desplazamiento (δ) registrados con el método CIRAD- <i>Forêt</i>	61
Tabla A.2.4: Valores de las mediciones efectuadas para el cálculo del índice de rajado.	62
Tabla A.2.5: Valores de masa anhidra y volumen saturado medidos por probeta	65
Tabla A.2.6: Valores de contracción lineal máxima medidos en probetas en dirección tangencial y radial por árbol y orientación cardinal	68
Tabla A.2.7: Dimensiones de los rollizos obtenidos por árbol	69
Tabla A.2.8: Ancho, longitud de tablas y longitud y número de rajaduras de las piezas aserradas	70
Tabla A.3.1:Valores promedio por árbol para las variables consideradas.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Obtención de rollizo y muestras de madera	19
Figura 3.2: Pasos sucesivos en la determinación de los valores GSI con el método CIRAD-Forêt.....	20
Figura 3.3: Rollizos en campo con los extremos cubiertos.....	21
Figura 3.4: Cara transversal de un rollizo con estrellado característico	21
Figura 3.5: Probetas para determinar densidad básica	22
Figura 3.6: Función que representa la tasa de cambio de la densidad básica .	24
Figura 3.7: Sistema de corte empleado.....	26
Figura 3.8: Rajadura en los extremos de las tablas aserradas.....	27
Figura 4.1: Gráficos de cajas para las variables indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado (IR), densidad básica (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j), contracción volumétrica total ($Cmax_{VOL}$)	33
Figura 4.2: Gráfico de dispersión del indicador de tensiones de crecimiento para los 45 árboles muestreados	36
Figura 4.3: Gráfico de dispersión del índice de rajado para los 45 árboles muestreados.....	36
Figura 4.4: Gráfico de dispersión de la densidad básica promedio para los 45 árboles muestreados	38
Figura 4.5: Gráfico de dispersión de la tasa de cambio radial de la densidad básica para los 45 árboles muestreados	39
Figura 4.6: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial inmediata a la médula para los 45 árboles muestreados	39
Figura 4.7: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial intermedia para los 45 árboles muestreados.....	39
Figura 4.8: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial cercana a la corteza para los 45 árboles muestreados	40

Figura 4.9: Gráfico de dispersión de la densidad básica de las tres secciones radiales para los 45 árboles muestreados	40
Figura 4.10: Gráfico de dispersión de la contracción lineal máxima en dirección tangencial (%) para los 45 árboles muestreados.....	41
Figura 4.11: Gráfico de dispersión de la contracción lineal máxima en dirección radial (%) para los 45 árboles muestreados	42
Figura 4.12: Gráfico de dispersión del coeficiente de anisotropía para los 45 árboles muestreados	42
Figura 4.13: Gráfico de dispersión de la contracción volumétrica máxima (%) para los 45 árboles muestreados	42
Figura 4.14: Índice de rajado en rollizo en función del indicador de tensiones de crecimiento	47
Figura 4.15: índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo en función del Índice de rajado en rollizo	48
Figura 4.16: índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo en función del Indicador de tensiones de crecimiento	48
Figura A.4.1: Vista del ensayo de procedencias y familias de <i>E. dunnii</i>	79
Figura A.4.2: Caras transversales de rollizos con diferente nivel de intensidad de estrellado.....	79
Figura A.4.3: operaciones de carga, descarga y aserrado de rollizos.....	80
Figura A.4.4: Pasos realizados en la medición de dimensiones de tabla, número y largo de rajaduras de cabeza.	81
Figura A.4.5: Rodajas utilizadas para la confección de probetas y determinación de propiedades físicas.....	82

1. INTRODUCCIÓN

Eucalyptus dunnii Maiden es una especie conocida mundialmente como fuente de materia prima para la producción de pulpa para papel aunque también se utiliza en los procesos de transformación mecánica de la madera. Como la mayoría de las especies de eucaliptos sufre de tensiones de crecimiento que causan problemas tecnológicos y pérdidas financieras en madera redonda y aserrada (Thomas *et al.*, 2009, Murphy *et al.*, 2005).

Las tensiones de crecimiento se manifiestan principalmente por el estrellado de la madera en los extremos de árboles apeados y por alabeos y rajaduras de cabeza en piezas aserradas (Matos *et al.*, 2003). Los niveles de tensiones de crecimiento presentan gran variabilidad entre y dentro de un mismo individuo y se encuentran asociados a la estructura de la madera (Gérard *et al.*, 1995).

Identificar a los materiales más aptos, evaluar su comportamiento en el proceso de transformación mecánica y profundizar en las causas y relaciones vinculadas a este problema, son los primeros pasos en la búsqueda para disminuir el efecto negativo de las tensiones de crecimiento en el uso de esta especie como madera aserrada.

1.1 Objetivo general

Evaluar tensiones de crecimiento en *Eucalyptus dunnii*, su efecto en la calidad y rendimiento de tablas aserradas y su relación con las propiedades físicas de la madera.

1.2 Objetivos específicos

Estimar tensiones de crecimiento mediante dos métodos: un índice de rajado en rollizo y el indicador de tensiones de crecimiento.

Cuantificar rajaduras de cabeza en tablas aserradas por árbol y pérdidas en el volumen producido por efecto de tensiones de crecimiento.

Medir densidad básica y contracción volumétrica total en los árboles.

Determinar una medida de la variación radial de la densidad básica por árbol.

Conocer la relación entre la contracción volumétrica total, la densidad básica y la variación radial de la densidad básica sobre el índice de rajado en rollizo y el indicador de tensiones de crecimiento.

Conocer la relación entre índice de rajado en rollizo y el indicador de tensiones de crecimiento sobre las rajaduras de cabeza en tablas aserradas.

1.3 Hipótesis

Las variaciones a nivel individual en las propiedades físicas de la madera se relacionan con el nivel de tensiones de crecimiento de *E. dunnii* y con la obtención de una producción de tablas aserradas con rajaduras de cabeza.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 *Eucalyptus dunnii*

Eucalyptus dunnii es una especie forestal cuya distribución natural en Australia se restringe principalmente a dos pequeñas áreas separadas entre sí por una distancia máxima de 200 km y que abarcan una superficie aproximada de 800 ha. Una de estas regiones se ubica hacia el noreste de la ciudad de *Coffs Harbour*, en el estado de *New South Wales*, Australia (30 ° S). La otra comprende una franja de el límite noroeste de *New South Wales* y el límite suroeste del estado de *Queensland* (28° S). *E. dunnii* forma parte del estrato dominante de rodales mixtos junto con otros eucaliptos como *E. saligna*, *E. grandis* o *E. tereticornis*, en suelos basálticos y aluviales donde la precipitación oscila entre 1000 mm a 1500 mm anuales y la altitud es de 300 a 700 m.s.n.m (Benson y Hager, 1993).

Como especie exótica presenta adaptabilidad a distintos tipos de suelos profundos de mediana a alta fertilidad. Se lo considera una alternativa al ampliamente plantado *E. grandis* debido a su alta productividad y buena rectitud de fuste, siendo menos susceptible que éste a las heladas y al estrés hídrico. Por esta razón se plantó en diferentes países durante los últimos años. Argentina, Brasil, Uruguay, Sudáfrica, China y Australia cuentan con forestaciones comerciales de *E. dunnii* (Arnold *et al.*, 2004; Mantero *et al.*, 2008).

En Argentina la especie fue introducida a finales de la década de 1970. Pequeñas áreas se establecieron en las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Entre Ríos y Misiones (Marcó y White, 2002). En la actualidad la superficie plantada disminuyó en relación a años anteriores y rondaría las 5000 ha según información brindada por el Centro de Investigaciones Forestales (CIEF) y el Consorcio Forestal del Río Uruguay (comunicación personal).

El uso principal de la especie a nivel mundial es como materia prima para la industria de la pulpa y el papel (Maradei, 1997). En la industria de la transformación mecánica se la utiliza en la elaboración de pisos, fabricación de piezas estructurales en la construcción o en la elaboración de chapas para tableros compensados (Dickson *et al.*, 2003; Pereyra 2000). Es apta para la fabricación de paneles LVL, cabos de herramientas, elementos deportivos, entre otros productos forestales (Calori y Kikuti, 1997; Pedrosa, 2003). Su uso como madera aserrada reportó problemas tecnológicos vinculados a tensiones de crecimiento, elevada retractabilidad, alto gradiente de humedad, secado lento, rajaduras superficiales y colapso durante el secado (Severo y Tomaselli, 2001).

2.2 Sobre las tensiones de crecimiento

2.2.1 Definición

El término tensiones de crecimiento es la traducción literal del término anglosajón *growth stresses* propuesto por primera vez en 1940 por la “Sociedad de forestadores americanos¹” para designar a las fuerzas internas presentes en el leño de los árboles en pie. Las tensiones de crecimiento resultan de la superposición de dos tipos de tensiones: las tensiones de soporte –del inglés *support stress*- y las tensiones de maduración -*maturation stress*- (Gerard, 1994).

Mientras que las tensiones de soporte constituyen la respuesta elástica a las cargas producidas por el propio peso del árbol, las tensiones de maduración aparecen espontáneamente dentro de madera durante su formación (Clair *et al.*, 2006). En un fuste recto, las tensiones de soporte pueden considerarse insignificantes en relación a las tensiones de maduración (Gérard, 1994) por eso en lo siguiente, y en concordancia con la mayor parte de la bibliografía

¹ Asociación dedicada a la ciencia y a la educación forestal en los Estados Unidos

referida al tema, se mencionará a las tensiones de crecimiento haciendo referencia exclusivamente a tensiones de maduración.

Cuando el árbol es apeado se produce la liberación de esas fuerzas que se encontraban en equilibrio dentro del árbol. Como consecuencia de ello, la madera tiende a “estallar” o rajarse a través del diámetro tan pronto los árboles son cortados, mientras que durante el aserrado las tablas extraídas de la parte exterior del rollizo tenderán a separarse cuando se asierran (Jacobs, 1959).

Las tensiones de crecimiento se pueden presentar en fuste y en ramas de coníferas y de latifoliadas, representando un mayor problema en las últimas. Especies como *Cryptomeria japonica*, *Fagus* sp., *Quercus* sp, *Populus* sp. y *Eucalyptus* sp. pueden presentar elevados valores de tensiones de crecimiento (Kubler, 1987). Investigaciones mostraron que los niveles de tensiones de crecimiento variaron entre y dentro de especies, alcanzando magnitudes muy variables. Valores normales de esfuerzos de tensión en la periferia del árbol rondan alrededor de los 5 MPa para álamo y pueden llegar a 35 MPa. En eucaliptos se registró la tensión promedio en 28 MPa y en algunas especies tropicales como *Eperua falcata* presentaron valores máximos de 120 MPa (Trugilho et al., 2002; Thibaut y Gril, 2003). En una investigación realizada en *Eucalyptus dunnii* de 19 años de edad se registró un valor promedio de 59,1 MPa (Trugilho, 2005).

2.2.2. Origen de las tensiones de crecimiento

Las tensiones de crecimiento tienen su origen en la última capa de células cambiales formadas cada año en el tronco (Jacobs, 1959). En las primeras etapas del desarrollo de las células del cambium, la pared celular es muy blanda y no puede soportar altos niveles de esfuerzo. En etapas posteriores, la pared celular de fibras o traqueidas se engrosa con la deposición de las microfibrillas de celulosa sobre la matriz de hemicelulosa y lignina. Este proceso de polimerización conlleva a una mayor rigidez e induce pequeñas deformaciones, usualmente contracciones axiales y expansiones transversales

de la célula, cuya magnitud oscila entre la milésima a la centésima parte de la longitud inicial de la célula cambial. La mayor parte de estas deformaciones son impedidas por las paredes rígidas de células formadas en años anteriores. Esto provoca esfuerzos de tensión en sentido longitudinal originados a partir de la contracción longitudinal de las células y esfuerzos de compresión en sentido tangencial originados por el impedimento a la expansión lateral (Thibaut y Gril, 2003). La magnitud de estas fuerzas es muy variable según la dirección que se considere. En dirección axial la tensión es alrededor de diez veces mayor que en dirección tangencial y ésta a su vez alrededor de diez veces mayor que en dirección radial, por esta razón las tensiones de crecimiento en dirección radial se consideran despreciables (Kubler, 1987; Vignote *et al.*, 1996). La mayor parte de los trabajos científicos abordan el estudio de las tensiones de crecimiento solo en dirección axial.

2.2.3 Consecuencias de las tensiones de crecimiento

El análisis de la mecánica de sólidos deformables comprobó con métodos de cálculo infinitesimal y en forma empírica que las tensiones de crecimiento en dirección axial se manifiestan a lo largo de la sección del fuste como fuerzas de compresión en la parte central del tronco hasta transformarse en fuerzas de tensión en la periferia del mismo (Archer, 1985; Fournier *et al.*, 1990). Esta distribución de fuerzas puede provocar en árboles en pie la aparición de los defectos de la madera conocidos como corazón quebradizo, grietas y acebolladuras. El corazón quebradizo consiste en un cilindro continuo en el centro del tronco de madera frágil o “esponjosa” originada por fallas y dislocaciones de las fibras sometidas a fuerzas de compresión. Las grietas consisten en separaciones del leño en dirección radial. Las acebolladuras son separaciones del leño en el sentido de los anillos, aunque su aparición como consecuencia exclusiva de las tensiones de crecimiento es discutida (Kubler, 1987).

Cuando el árbol es apeado, se produce la liberación de las tensiones de crecimiento a partir de la expansión longitudinal del centro sometido a

compresión y de la contracción de la periferia que estaba sometida a fuerzas de tensión. Esto provoca que se produzcan rajaduras en el leño que dan como resultado el estrellado observable en las caras transversales del rollizo. El ancho y largo de estas rajaduras aumenta a medida que pasa el tiempo desde que se apea el árbol hasta alcanzar un punto en el que su tamaño se estabiliza. Estudios llevados a cabo por Bariska (1991) en varias especies del género *Eucalyptus* demostraron que las rajaduras se mantienen sin cambios significativos a partir del segundo al cuarto día desde que el árbol es abatido (Gerard, 1992).

Durante el aserrado de los rollizos los costaneros obtenidos de la periferia del tronco, pueden sufrir defectos como resultado de las tensiones liberadas, mientras que las piezas obtenidas del centro son propensas a presentar rajaduras. Un sistema de corte paralelo con una sola sierra que permite obtener tablas en forma secuencial por avance y retroceso del carro, induce a que las tensiones de crecimiento se manifiesten intensamente, causando el rajado casi completo de las tablas (Rozas, 1993). Otros sistemas de corte se utilizan como alternativa para minimizar el efecto de las tensiones de crecimiento. Para romper la simetría de los esfuerzos se utilizan esquemas de cortes paralelos realizados de forma simultánea con varias sierras, sistemas que cortan el rollizo a la mitad y luego asierran las semitrozadas o sistemas basados en cortes y posterior giro de la troza (Touza-Vázquez, 2001; Rocha 2000).

Por su complejidad y elevado costo, apenas se han realizado estudios de carácter científico en el ámbito industrial sobre el aserrado de especies con elevadas tensiones de crecimiento (Touza Vázquez, 2001). Un trabajo realizado en plantaciones de 10 años de *Eucalyptus globulus* indica que el 30 % de las tablas verdes fueron rechazadas por presentar defectos de arqueadura y encorvado por encima de los límites establecidos por norma. Esta investigación atribuye que el 40% del material rechazado se debe a tensiones de crecimiento (Yang *et al.*, 2001). Otro estudio realizado en plantaciones de *Eucalyptus nitens* de 22 años para dos rollizos de distinta posición en el fuste por árbol analizado, muestra que el porcentaje promedio del volumen perdido por rajaduras de cabeza en las tablas aserradas verdes fue de 5 % y 9,5 % en

cortes tangenciales y de 4.2 % y 4.7 % para cortes radiales (Washusen *et al.* 2009). En plantaciones de *Eucalyptus dunnii* de 13 años se encontró que la longitud promedio de las rajaduras de cabeza de piezas aserradas afectaron entre el 5,25 % hasta el 12,05 % de la longitud total de las tablas en los distintos tratamientos probados (Matos *et al.*, 2003).

2.2.4 Estimación de las tensiones de crecimiento

No es posible medir las tensiones de crecimiento directamente, sin embargo pueden ser estimadas conforme a la ley de Hooke en función del módulo de elasticidad de la madera y la deformación del material por debajo del límite de elasticidad como lo expresa la siguiente fórmula:

$$\sigma_L \cong -E_L \alpha_L \quad (2.1)$$

Dónde:

σ_L = Tensión de crecimiento longitudinal (MPa)

E_L = Módulo de elasticidad longitudinal (MPa)

α_L =Deformación longitudinal del material por debajo del límite de elasticidad (adimensional)

La dificultad de obtener el módulo de elasticidad para cada medición llevó a que la mayor parte de los estudios sobre tensiones de crecimiento lo consideren constante para la especie y evalúen solo las deformaciones de la madera por debajo del límite de elasticidad. Los métodos más utilizados en la determinación de tensiones de crecimiento son aquellos que miden las deformaciones en árboles en pie (y en algunos casos en árboles abatidos) a partir de diferente tipo de instrumentos. Estos métodos consideran que el nivel de deformación axial en un punto cualquiera desde la médula a la corteza es modelado como una función de la deformación obtenida sobre la superficie del cambium. Los modelos no asumen que los niveles de tensión se encuentran afectados por los cambios ambientales anuales, esta es una de las razones por las cuales son objeto de controversia (Raymond *et al.*, 2004).

Usualmente las deformaciones obtenidas en la superficie del cambium son medidas en micrómetros (μm) y es común la utilización del término *micro-deformaciones* para referirse a la unidad de medición.

El método CIRAD-Forêt (Yang *et al.*, 2005) mide el desplazamiento entre dos pines (δ) a través del uso de un extensómetro. Las deformaciones pueden ser estimadas usando la posterior ecuación:

$$\alpha_L \approx -\Phi \delta \quad (2.2)$$

Donde Φ es una variable que depende del diámetro del agujero, distancia original entre pines, tensión de corte paralela al grano y relación de Poisson. Esta variable puede tomar valores que van desde -9 para maderas de baja densidad y alto grado de anisotropía hasta -15 para las menos anisotrópicas y más densas. La dificultad en la determinación de Φ hace que se considere a esta variable como una constante, por esta razón los valores del extensómetro CIRAD-Forêt son expresados solo por los valores de desplazamiento δ . La bibliografía identifica a estos valores de numerosas maneras, la más común es con el nombre de indicador de tensiones de crecimiento o por sus siglas en idioma inglés, *GSI* (Thibaut y Gril, 2003).

Otra forma de cuantificar las tensiones de crecimiento es a través de mediciones indirectas de sus efectos en rollizos o piezas aserradas. Para ponderar los efectos de las tensiones de crecimiento en rollizos se mide el largo y a veces el ancho de las rajaduras que forman el estrellado característico de las caras transversales para calcular un índice de rajado. Cuando estas mediciones son realizadas en el campo inmediatamente abatido el árbol se colocan bolsas plásticas sobre los extremos del rollizo para preservar la humedad y evitar la contracción y el colapso de la madera (Santos, 2002). Existe una asociación entre los índices de rajado y los valores de las deformaciones obtenidas en la superficie del cambium (Baillères, 1994).

En tablas aserradas es habitual la medición de la magnitud de los defectos de forma en tablas verdes (arqueamiento, encorvado, abarquillado y torcedura) y/o el largo y/o ancho de las rajaduras de cabeza o extremo (Rozas, 1993).

Otra forma menos conocida en las que se cuantifican las tensiones de crecimiento consiste en la medición de los cambios dimensionales que sufren discos transversales al fuste a los que se les extrae una cuña de madera (Jullien y Gril, 1996).

2.2.5 Relación de las tensiones de crecimiento con la estructura y propiedades de la madera

Valores altos y bajos de tensiones de crecimiento se observan usualmente en el mismo árbol para una misma especie. Estas variaciones en los niveles de tensiones de crecimiento se encuentran asociados a la variación en la estructura de la madera. Aquellos fenómenos que acentúen la variación en la madera tendrán influencia sobre los valores de tensiones de crecimiento. Dos fenómenos se pueden destacar: La transición madera juvenil-adulta y la presencia de madera de reacción (Gerard *et. al*, 1995).

La transición de la madera juvenil a madera adulta es un fenómeno de origen morfogénético asociado a la edad de los árboles y condiciones de crecimiento. Estos dos factores tienen influencia sobre los niveles de tensiones de crecimiento registrados.

La presencia de madera de reacción crea una distribución asimétrica de los esfuerzos dentro del tronco que sirve a propósitos mecánicos como contrarrestar la tendencia de inclinación del tronco, restaurar su verticalidad, restituir el eje principal después de la muerte del ápice, regular la posición espacial de la copa o prevenir fallas mecánicas por acción del viento. La asociación entre la distribución de los esfuerzos asimétricos y la madera de reacción legitimó el concepto de *esfuerzos de reacción* para nombrar a este

fenómeno. Existe una clara correspondencia entre la ocurrencia de madera de reacción y los valores de tensiones de crecimiento (Thibaut y Gril, 2003).

La variación en los niveles de tensiones de crecimiento asociados a cambios en la estructura de la madera se manifiesta en las relaciones encontradas entre algunas propiedades de la madera y los valores de *GSI* o índices de rajado. Estudios de la ultraestructura de la pared celular y composición química del leño encontraron que coníferas con altos niveles de tensiones de crecimiento presentaban altos valores de ángulo microfibrilar y mayor contenido de lignina; mientras que en latifoliadas se encontró la relación contraria, disminución de los valores de ángulo microfibrilar y menor contenido de lignina (Chauan *et al.*, 2006, Okuyama *et al.*, 1993).

Otros estudios se enfocaron sobre las relaciones entre las tensiones de crecimiento y las propiedades físicas de la madera. En este sentido la mayoría de las investigaciones fueron desarrolladas en latifoliadas, principalmente en el género *Eucalyptus*. Una de las primeras investigaciones se hizo en un solo árbol de *Eucalyptus regnans* y encontró cierta asociación no cuantificada estadísticamente entre las mediciones de las tensiones de crecimiento con la densidad básica y la contracción volumétrica al 12% (Nicholson, 1972). En un estudio con diferentes clases de edades de clones de eucaliptos se encontró que las clases de edad jóvenes presentaban una tendencia a aumentar la densidad básica con las deformaciones residuales longitudinales, mientras que en árboles de mayor edad no se encontró relación aparente entre estas dos variables. En este trabajo se encontró alta asociación entre las deformaciones obtenidas en la superficie del cambium y la contracción total en dirección tangencial y axial de chapas obtenidas por debobinado del rollizo y medidas con el método numérico de Mothe *et al.* (1990) (Baillères, 1994). Otros estudios no encontraron relación entre un índice de rajado y la densidad básica para *E. grandis* (Santos, 2002). En árboles inclinados de *Castanea sativa* Mill. no se encontró una asociación fuerte entre los valores *GSI* con la densidad básica pero se encontró asociación entre los valores *GSI* y los valores de contracción total de la madera medida en probetas con transductores (Clair *et al.*, 2003).

2.2.6 Factores que influyen sobre las tensiones de crecimiento

Múltiples serían los factores que afectan los niveles de tensiones de crecimiento pero su influencia no se encuentra del todo clara. Se pueden nombrar la edad, efecto de los vientos, raleos, podas, densidad de plantación, estado de competencia y factores genéticos entre otros (Kubler, 1988).

Existe una determinada edad a partir de la cual se puede observar un descenso en los valores de las tensiones de crecimiento como consecuencia de la relajación en la actividad cambial que se presenta cuando el árbol alcanza sucesivos estados de madurez (Touza Vázquez, 2001).

Los vientos ejercen una presión contra el árbol que favorece la aparición de madera de reacción y generan esfuerzos en la madera para contrarrestar la carga.

Los raleos afectan a las tensiones de crecimiento de diferente manera: Pueden disminuir las tensiones de crecimiento al reducir la necesidad de las copas de reorientarse en busca de luz o pueden provocar el efecto contrario al favorecer la iluminación de uno de los lados del árbol y provocar la reorientación del fuste.

Las podas favorecen la iluminación de la copa de una forma más suave que lo puede hacer un raleo, por esta razón es que podas moderadas podrían no tener efecto sobre las tensiones de crecimiento. Estudios realizados en *Eucalyptus grandis* mostraron que podas severas aumentan el estrellado en los extremos de los rollizos obtenidos de los árboles apeados.

Si bien es cierto que una menor densidad de plantación favorece el efecto que puede ejercer el viento sobre los árboles, también una mayor densidad de plantación favorece la expansión de la copa del árbol. Árboles con amplias copas generan relativamente bajos niveles de tensiones de crecimiento al no favorecer la reorientación del fuste (Kubler, 1988).

En relación al estado de competencia, los árboles dominantes carecen de estímulos para ascender en altura y/o reorientarse en una dirección concreta por lo que mantienen bajo su nivel de tensiones, mientras que los árboles dominados exhibirían mayores niveles de tensiones (Touza Vázquez, 2001, Thibaut y Gril, 2003).

Se supone que las tensiones de crecimiento tienen un control genético y la ausencia de severas rajaduras es un importante criterio de selección en los programas de mejoramiento genético forestal (Malan, 2008; Stanger, 1993).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Material de estudio

Durante el mes de Junio de 2011 se muestreó un ensayo de *E. dunnii* de 19 años situado en la estación experimental que el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria tiene en la localidad de Bella Vista, Provincia de Corrientes, Argentina. Su ubicación geográfica exacta corresponde a las coordenadas 28° 26' 23,7" S 58° 59' 47,7" O a una altitud de 65 m.s.n.m. Fue plantado en el año 1992 en un albardón cercano al río Paraná, en suelos arenosos profundos en un sitio en los que no existen evidencias de disturbios antrópicos importantes anteriores a su establecimiento. El clima de la región es húmedo y mesotermal, correspondiendo a la clasificación de Thornthwite C₂ B'₄ ra' (Castro *et al.*, 1991). La información climática del sitio se resume en la tabla 3.1 y fue obtenida de los registros meteorológicos tomados en la propia estación experimental.

Tabla 3.1 Información climática del sitio

Variables climáticas	Promedio	Desvío estándar	Años registrados
Precipitación media anual (mm)	1218,7	292,2	1928-2011
Temperatura promedio anual (°C)	20,9	0,6	1960-2011
Temperatura máxima media anual (°C)	26,2	0,74	1960-2011
Temperatura mínima media anual (°C)	15,7	0,93	1960-2011
Período libre de heladas (días)	328,7	32,6	1960-2007
Velocidad promedio del viento (km/h)	5,1	0,49	1993-2011

El material muestreado forma parte de una red de ensayos de procedencias y familias distribuidos en distintos sitios de la Mesopotamia argentina. El material genético de los ensayos fue recolectado de poblaciones naturales ubicadas en el estado de Nueva Gales del Sur, Australia.

El ensayo muestreado fue plantado en un diseño de bloques completos al azar con 15 repeticiones conformado por parcelas de una sola planta con un distanciamiento de 3 m x 3 m. No se realizaron intervenciones silvícolas en el ensayo. Al momento de la medición el porcentaje de árboles vivos sobre el total fue de 43,1%, la cantidad de fallas de 42,7% y la cantidad de árboles muertos en pie de 14,2%. Las procedencias muestreadas se enumeran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Procedencias de Eucalyptus dunnii muestreadas

Procedencias	Localización
<i>Death Horse</i>	Lat: 28° 25' S - Long: 152° 20' E Alt: 600 - 700 m.
<i>Boomi Creek</i>	Lat: 28° 25' S - Long: 152° 41' E Alt: 300 m.
<i>Oaky Creek</i>	Lat: 28° 36' S - Long: 152° 31' E Alt: 520 m.

Se muestrearon 15 árboles por procedencia pertenecientes al estrato superior del bosque (árboles dominantes y codominantes) conformando un total de 45 individuos. Para cada árbol se midió con forcípula e hipsómetro el diámetro a la altura del pecho y la altura total. Los estimadores estadísticos de los parámetros dendrométricos para cada procedencia se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores de parámetros dendrométricos del material muestreado

Estadísticos	Procedencia					
	<i>Death Horse</i>		<i>Boomy Creek</i>		<i>Oaky Creek</i>	
	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)
Promedio	27,1	27,5	28,1	28,4	25,6	26,8
Desviación Estándar	1,7	2,9	2,5	2	3,2	2,1
Coefficiente de Variación	6,30%	10,46%	8,87%	7,01%	12,42%	7,83%
Mínimo	24,6	21,1	23,2	25,3	20,5	23,5
Máximo	30,1	32,0	32,7	31,8	31,9	30,3
Rango	5,5	10,9	9,5	6,5	11,35	6,8

Se realizó un análisis de la varianza para las variables índice de rajado, indicador de tensiones de crecimiento, densidad básica y contracción volumétrica total que mostró que no existen diferencias para estas variables entre las procedencias consideradas, por lo que se utilizó estos materiales como un conjunto.

Se calculó para cada árbol muestreado un índice de competencia individual que considera que el efecto de la competencia que ejercen los árboles que lo rodean aumenta cuando se incrementa el tamaño de estos últimos y cuando se reduce la distancia que los separa del árbol analizado.

$$HgCI_i = \sum_{i \neq j} \frac{d_j}{d_i} \times \frac{1}{D_{ij}} \quad (3.1)$$

Donde:

$HgCI_i$ = Valor del índice de *Hegyí* para el árbol *i*.

d_i = Diámetro normal del árbol de referencia *i*.

d_j = Diámetro normal del competidor *j* ($j \neq i$).

D_{ij} = Distancia entre el árbol *i* y el competidor *j*.

Se probó estadísticamente la influencia de este índice sobre las variables indicador de tensiones de crecimiento e índice de rajado. Este análisis mostró que el diferente estado de competencia de los árboles no influyó sobre estas variables, por lo que se utilizó el material como un conjunto.

3.2 Variables de interés

La recolección de datos se realizó en dos etapas que consistieron en una medición en el campo y una medición en aserradero y en laboratorio. Para obtener los valores de las variables de interés se identificó a cada árbol a muestrear y se mantuvo esa identificación durante todo el proceso de recolección de datos.

Sobre el material de estudio se realizaron determinaciones de tensiones de crecimiento (mediante indicador de tensiones de crecimiento e índice de rajado), propiedades físicas de la madera, indicadores del proceso de aserrado y de calidad del producto obtenido. La tabla 3.4 muestra las variables obtenidas en cada etapa de trabajo.

Tabla 3.4: Variables consideradas en la investigación

Tensiones de crecimiento	Indicador de tensiones de crecimiento (GSI)
	Índice de rajado en rollizo (IR)
Propiedades físicas de la madera	Densidad básica promedio por árbol (Db)
	Tasa de cambio radial de la densidad básica (β_1)
	Contracción volumétrica total (C_{maxVOL})
Indicadores del proceso de aserrado y de calidad	Porcentaje de piezas con rajadura (P)
	Índice de rajaduras para la totalidad de tablas aserradas ($IRCT$)
	Índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo (IRT)
	Rendimiento en bruto del aserrado (R)
	Rendimiento en calidad del aserrado (R_C)
	Pérdidas en el volumen de tablas aserrada por rajaduras de cabeza (P_T)
	Pérdidas en el volumen de rollizos procesados por rajaduras de cabeza (P_R)

3.3 Secuencia de actividades

Para obtener los valores de las variables de interés se siguió la secuencia de actividades que se señala a continuación:

Paso 1: Se marcó con aerosol la corteza de cada uno de los árboles a muestrear por la orientación cardinal Norte.

Paso 2: Se obtuvieron y registraron los valores *GS* en árboles en pie.

Paso 3: Se apearon los árboles con motosierra.

Paso 4: Se obtuvieron dos rodajas sucesivas en el fuste de 5 cm de ancho a 1.3 m de altura desde el suelo para hacer las determinaciones de las propiedades físicas en laboratorio (Figura 3.1). La rodaja superior inmediatamente contigua al rollizo se utilizó para la determinación de la contracción volumétrica total. La rodaja inferior se utilizó para las determinaciones de densidad básica.

Paso 5: Se obtuvo un rollizo de 2 metros de longitud de la sección del fuste inmediata superior a las rodajas utilizadas para la determinación de las propiedades físicas. El rollizo se preparó para la medición del índice de rajado.

Paso 6: Se obtuvieron en campo los datos para determinación de índice de rajado en gabinete.

Paso 7: Se realizó la carga manual de los rollizos en acoplado y se los transportó hasta aserradero dónde fueron descargados manualmente en la plataforma de carga.

Paso 8: Se aserraron los rollizos.

Paso 9: Se realizaron las mediciones necesarias para el cálculo de indicadores del proceso de aserrado y de calidad.

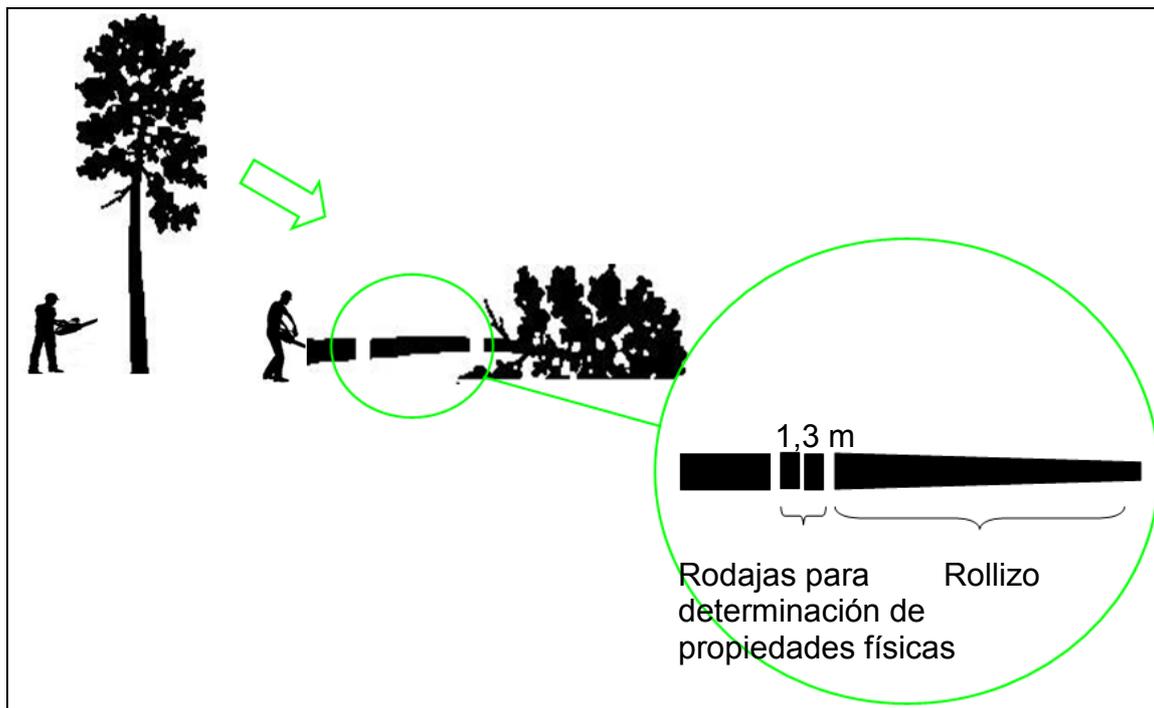


Figura 3.1: Obtención de rollizo y muestras de madera

3.4 Determinación del indicador de tensiones de crecimiento (GSI)

Se aplicó el método CIRAD-Forêt (Figura 3.2) para la determinación de los valores *GSI*. En árboles en pie se abrió una ventana rectangular sobre la corteza de 2.5 cm de ancho por 9 cm de alto la cual dejó expuesta la superficie del cambium. Esta ventana consiste en una modificación introducida por López y Genes (2005) en el tamaño estándar de la ventana determinado por el método. Luego se colocó el extensómetro, se realizó la perforación con un taladro manual y se registró el valor de desplazamiento de los pines. Las mediciones se realizaron a una altura de 1,3 m. en las posiciones cardinales Norte, Este, Sur y Oeste. Con los valores de desplazamiento obtenidos para las cuatro posiciones cardinales se calculó el valor *GSI* promedio por árbol.



Figura 3.2: Pasos sucesivos en la determinación de los valores GSI con el método CIRAD-Forêt.

3.5 Determinación del índice de rajado en rollizo

Se apearon los árboles. De cada árbol apeado se tomó un rollizo según se detalla en la sección 3.3. Inmediatamente abatidos los árboles se colocaron bolsas plásticas sobre los extremos de los rollizos. Durante cinco días los rollizos permanecieron en el ensayo con los extremos cubiertos (Figura 3.3). Al quinto día se quitaron las bolsas y se sacó una fotografía digital de cada una de las dos caras transversales de los rollizos junto a la escala de una forcípula (Figura 3.4). Se volvió a cubrir cada rollizo con las bolsas hasta su traslado al aserradero.



Figura 3.3: Rollizos en campo con los extremos cubiertos

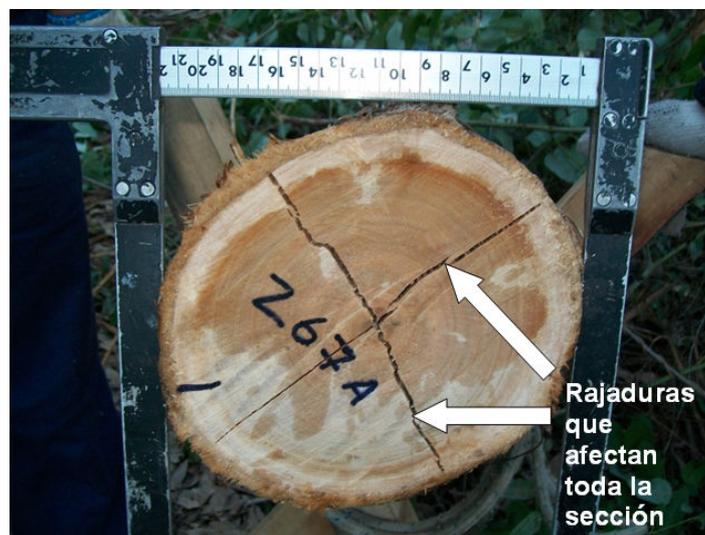


Figura 3.4: Cara transversal de un rollizo con estrellado característico

Las fotografías de las caras transversales de los rollizos fueron analizadas en gabinete con el software de medición *Micrometrics SE Premium*. En cada fotografía se tomaron las mediciones necesarias para poder calcular un índice de rajado para cada rollizo según la fórmula:

$$IR = 200 \times \frac{\sum_{i=1}^n a_i L_i}{\pi D_i^2} \quad (3.2)$$

Dónde:

IR: Índice de rajado para los extremos del rollizo (%).

a_i : Abertura máxima de la enésima rajadura (mm).

L_i : Longitud de la enésima rajadura (mm).

D_i : Diámetro sin corteza medio de la sección transversal del rollizo considerado (mm).

3.6 Densidad básica

3.6.1 Elaboración de probetas y medición

La determinación de la densidad básica se realizó con el material correspondiente a la rodaja inferior de cada uno de los árboles muestreados. De cada rodaja se obtuvieron dos cuñas de madera que cubrían toda la sección del radio (de médula a corteza), una para la orientación cardinal Norte y otra para la orientación cardinal Sur. Cada cuña fue subdividida en tres unidades al 33% de la longitud del radio con el fin de obtener tres probetas de igual longitud. Cada probeta fue lijada con una lijadora de banda e identificada según su posición radial en probetas inmediatas a la médula, las que ocupaban una posición intermedia en el radio y probetas cercanas a la corteza. La figura siguiente muestra el tipo de probetas con la que se trabajó y la identificación según posición.

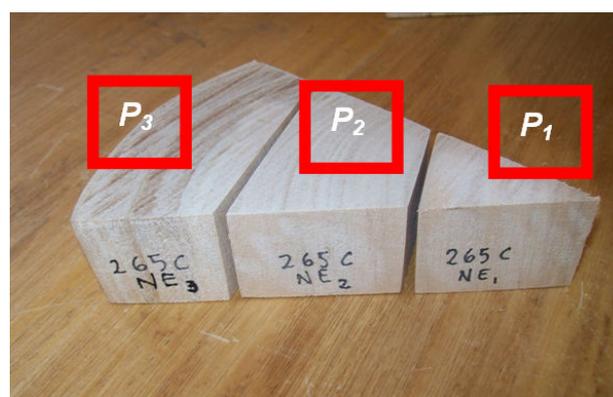


Figura 3.5: Probetas para determinar densidad básica

Se utilizó la norma TAPPI T 258. A cada probeta se le midió el volumen verde (CH > 30%) y su masa anhidra. La determinación del volumen verde se hizo

con el método de desplazamiento de fluidos. Para la determinación de la masa anhidra se llevó la probeta a estufa a 103 (+/-2) ° C hasta alcanzar peso constante. Las mediciones se realizaron sobre un total de 270 probetas.

3.6.2 Determinación de la densidad básica promedio por árbol

Para cada árbol se determinó la densidad básica promedio con la siguiente fórmula:

$$Db_j = \frac{MS_j}{Vv_j} \quad (3.3)$$

Dónde:

Db_j : Densidad básica (g/cm³) promedio por árbol j .

MS_j : Masa anhidra (g) resultado de la suma de la masa de todas las probetas obtenidas por árbol j .

Vv_j : Volumen verde (cm³) resultado de la suma del volumen de todas las probetas obtenidas por árbol j .

3.6.3 Determinación de la tasa de cambio radial de la densidad básica

Se determinó para cada árbol la pendiente de la función que representa la tasa de cambio radial de la densidad básica. Esta función se definió a partir de los valores promedios de densidad básica de las probetas de las posiciones cardinales Norte y Sur correspondientes a las posiciones inmediatas a la médula y cercanas a la corteza. La figura 3.6 y la fórmula 3.3 muestran la relación utilizada para calcular la tasa de cambio de la densidad básica a lo largo del radio.

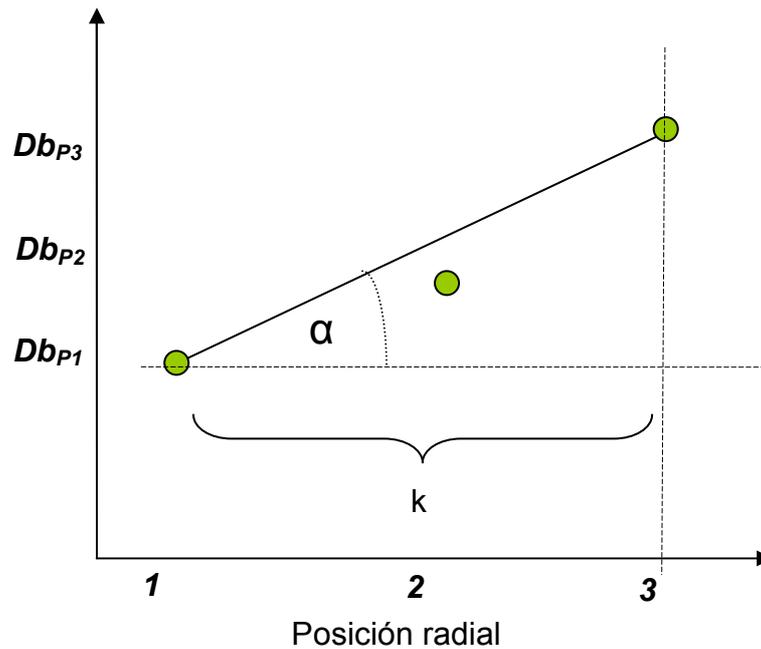


Figura 3.6: Función que representa la tasa de cambio de la densidad básica

$$Tg\alpha = \frac{Db_{P3} - Db_{P1}}{k} = \beta_j \quad (3.4)$$

Dónde:

$Tg\alpha$: Función tangente del ángulo α

Db_{P3} : Promedio de la densidad básica de las posiciones cardinales Norte y Sur para las probetas P_3 del árbol j .

Db_{P1} : Promedio de la densidad básica de las posiciones cardinales Norte y Sur para las probetas P_1 del árbol j .

k : Constante

β_j : Tasa de cambio radial de la densidad básica para el árbol j .

3.7 Determinación de los valores de contracción

Para la determinación de la contracción volumétrica máxima se utilizó el material correspondiente a la rodaja superior de cada árbol muestreado. Con este material se construyeron probetas de 2 cm x 2 cm x 5 cm siguiendo la

norma IRAM 9543. Las probetas se obtuvieron del leño adulto de la región inmediata a la corteza para las orientaciones cardinales Norte y Sur. Para cada orientación cardinal se obtuvo una probeta en dirección tangencial y otra probeta en dirección radial. La contracción en sentido axial se consideró despreciable. Con calibre micrométrico se midió la distancia entre clavos y se determinó la contracción lineal máxima, coeficiente de anisotropía y la contracción volumétrica para las orientaciones cardinales Norte y Sur según las fórmulas detalladas abajo. Se evaluaron un total de 180 probetas.

$$C \max_{TG} = \frac{L_{TG1} - L_{TG2}}{L_{TG1}} \times 100 \quad (3.5)$$

$$C \max_{RD} = \frac{L_{RD1} - L_{RD2}}{L_{RD1}} \times 100 \quad (3.6)$$

$$C \max_{VOL} = C \max_{TG} + C \max_{RD} \quad (3.7)$$

$$T / R = \frac{C \max_{TG}}{C \max_{RD}} \quad (3.8)$$

Donde:

$C \max_{TG}$: Contracción lineal máxima en dirección tangencial (%).

$C \max_{RD}$: Contracción lineal máxima en dirección radial (%).

$C \max_{VOL}$: Contracción volumétrica máxima (%).

L_{TG1} : Longitud entre clavos de la probeta en estado saturado en dirección tangencial.

L_{TG2} : Longitud entre clavos de la probeta en estado anhidro en dirección tangencial.

L_{RD1} : Longitud entre clavos de la probeta en estado saturado en dirección radial.

L_{RD2} : Longitud entre clavos de la probeta en estado anhidro en dirección radial.

T / R : Coeficiente de anisotropía

3.8 Determinación de Indicadores del proceso de aserrado y de calidad

3.8.1 Aserrado de los rollizos

Inmediatamente obtenidos los datos necesarios para la determinación del índice de rajado se cargaron los rollizos en forma manual a un acoplado y se trasladaron a un aserradero tradicional situado a una distancia de 10 km.

En el aserradero se colocó a los rollizos sobre una plataforma de carga inmediata a un carro mecánico de movimiento longitudinal. Sobre la plataforma se midió el largo y el diámetro de la sección inferior y superior de los rollizos.

Los rollizos fueron procesados sin descortezar en una sierra principal tipo sinfín que permitió obtener dos superficies planas por avance y retroceso del carro. Cada rollizo fue ingresado al carro de manera que el primer corte fuera efectuado por la orientación cardinal Norte. Luego los rollizos se trasladaron manualmente hasta una segunda sierra sinfín que cumplió las funciones de partidora y canteadora y con la que se produjeron tablas de cortes tangenciales de una pulgada de espesor. El aserrado de los rollizos se realizó durante el tiempo correspondiente a una jornada de trabajo. La secuencia de aserrado se muestra en la figura siguiente.

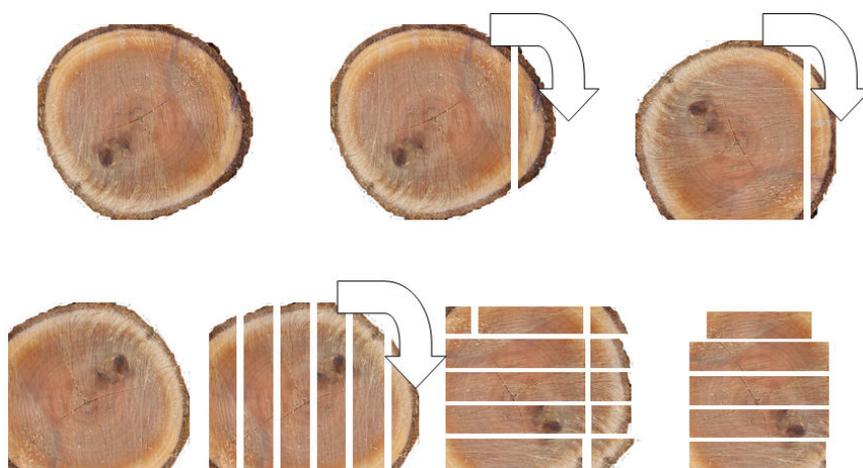


Figura 3.7: Sistema de corte empleado

3.8.2 Evaluación de calidad: rajaduras (en estado verde)

Las tablas aserradas se identificaron según el árbol/rollizo del que fueron obtenidas y se llevaron a una mesa donde se les midió y registró su dimensión con cinta métrica y el número y largo de rajaduras de cabeza con regla de metal (figura 3.9). Se consideraron rajaduras de cabeza o extremos a aquellas rajaduras que atravesaron la tabla a través de ambas caras. Cuando la misma rajadura de cabeza presentaba distintas dimensiones en las diferentes caras de la tabla siempre se registró la longitud mayor. Todas las rajaduras se midieron inmediatamente aserradas las tablas y no se realizó una evaluación posterior de las mismas.

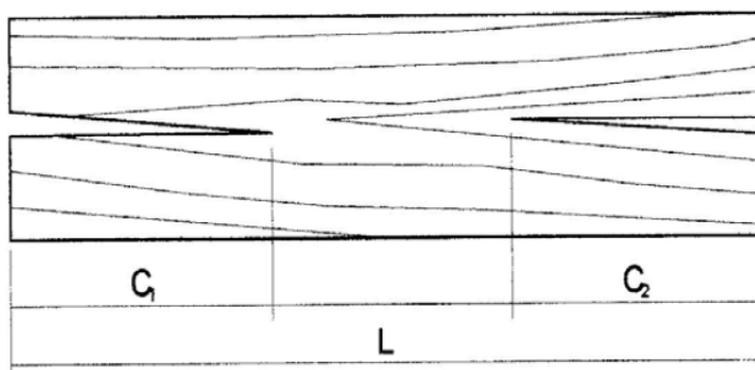


Figura 3.8: Rajadura en los extremos de las tablas aserradas, donde L indica la longitud de la tabla y C_1 y C_2 la longitud de las rajaduras. Fuente: Barchet (2001)

Durante la operación de aserrado no se encontraron tablas que presentaran defectos de forma notorios con una apreciación visual. Solo unos pocos costaneros que habían sido cortados como finas lonjas presentaron un apenas reconocible alabeo. En este caso se trataba de material que formaba parte del residuo de la operación, en su mayor parte formado por corteza con muy poco leño e incapaz de conformar el producto comercial.

3.8.3 Porcentaje de piezas con rajadura

Se calculó para el total de la producción la cantidad de piezas afectadas por rajaduras de cabeza en estado verde.

$$P = \frac{N}{T} \times 100 \quad (3.9)$$

Dónde:

P : Porcentaje de piezas que presentaron rajaduras de cabeza (%).

N : Número de piezas afectadas al menos con una rajadura en uno de sus extremos.

T : Número total de piezas producidas.

3.8.4 Índices de rajaduras en tablas

Se calculó un índice que cuantifica la magnitud de las rajaduras medidas en la totalidad de tablas aserradas.

$$IRCT = \frac{\sum LR}{\sum LT} \quad (3.10)$$

Dónde:

$IRCT$: Índice de rajaduras para la totalidad de tablas aserradas (mm/m).

LR : Longitud de rajaduras de cabeza individuales de cada tabla (mm).

LT : Longitud total de las tablas (m).

Se calculó para cada rollizo un índice que cuantifica la magnitud de las rajaduras de las tablas obtenidas.

$$IRT_j = \frac{\sum lr_{ij}}{\sum lt_{ij}} \quad (3.11)$$

Dónde:

IRT_j : Índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo j (mm/m).

lr_{ij} : Longitud de rajaduras de cabeza de la tabla i del rollizo j (mm).

lt_{ij} : Longitud de la tabla i del rollizo j (m).

3.8.5 Rendimiento en bruto del aserrado

Se calculó el rendimiento del aserrado con la siguiente fórmula.

$$R = \frac{\sum vt_{ij}}{\sum Vr_j} \times 100 \quad (3.12)$$

Dónde:

R : Rendimiento en bruto del aserrado (%).

vt_{ij} : Volumen de la tabla i del rollizo j (m^3).

Vr_j : Volumen del rollizo j estimado con la fórmula de Smalian (m^3).

3.8.6 Rendimiento en calidad del aserrado

Se estimó el rendimiento que se obtendría de realizar el despunte de las tablas aserrada para eliminar el defecto de las rajaduras de cabeza. Se calcularon las pérdidas atribuibles a tensiones de crecimiento sobre el volumen de tablas aserradas y sobre el volumen total de madera procesada. Se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$P_T = \frac{IRCT}{10} \quad (3.13)$$

$$P_R = \frac{P_T/100 \times \sum vt_{ij}}{\sum Vr_j} \times 100 \quad (3.14)$$

$$R_C = \frac{\sum vt - \left[\left(\frac{P_T}{100} \right) \times \sum vt \right]}{\sum Vr} \quad (3.15)$$

Dónde:

P_T : Pérdidas en el volumen de tablas aserradas por rajaduras de cabeza (%).

P_R : Pérdidas en el volumen de rollizos procesados por rajaduras de cabeza (%).

R_C : Rendimiento en calidad del aserrado (%).

$IRCT$: Índice de rajaduras para la totalidad de tablas aserradas (mm/m).

vt_{ij} : Volumen de la tabla i del rollizo j (m^3).

Vr_j : Volumen del rollizo j estimado con la fórmula de Smalian (m^3).

3.9 Análisis estadístico de datos

Se realizaron diferentes tipos de análisis conforme a obtener la información necesaria para responder a los objetivos planteados.

3.9.1 Análisis preliminar

3.9.1.1 Análisis de la varianza (ANOVA)

Para poder utilizar las diferentes procedencias como un mismo conjunto se realizó el análisis de la varianza de las variables dependientes IR , GSI , Db , β_1 y $Cmax_{VOL}$. Se estableció la hipótesis nula de igualdad de las medias entre las procedencias estudiadas. Se utilizó el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (3.16)$$

Donde:

Y_{ij} : Observación de la procedencia i repetición j

μ : Media general

τ_i : Efecto de la procedencia i

ε_{ij} : Error experimental

Para realizar el análisis de la varianza se identificó la presencia de datos atípicos mediante gráficos de cajas y se comprobó el supuesto de normalidad de los errores con la prueba de Shapiro Wilks cuya hipótesis nula fue que la muestra de estudio proviene de una población con distribución normal. Las variables que presentaron una distribución no normal fueron transformadas con el operador matemático raíz cuadrada. En todos los análisis se utilizó un nivel de confianza de 95%.

3.9.1.2 Regresión lineal

Para conocer el efecto de la variable regresora índice de competencia individual (*HgCI*) sobre las variables dependientes *GSI* e *IR* se planteó un análisis de regresión lineal cuya hipótesis nula fue que la pendiente estimada de variable regresora índice de competencia individual es igual a cero. Se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_i = \rho_0 + \rho_1 x_{1i} + \varepsilon_i \quad (3.17)$$

Dónde:

Y_i : i-ésima observación de la variable dependiente Y (*GSI* o *IR*)

x_{1i} : i-ésima observación de las variables regresora (*HgCI*)

ρ_n : Parámetros

ε_j : Término del error aleatorio

Y se cumple con los supuestos:

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2); \text{cov}(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0 \quad \forall i \neq j \quad (3.18)$$

3.9.2 Estadísticos descriptivos

Se calcularon los estadísticos descriptivos media, desvío estándar, coeficiente de variación, máximo, mínimo, rango, para las variables IR , GSI , Db , β_j , IRT y $Cmax_{VOL}$ (ésta última con sus respectivos valores de contracción en radial, tangencial y coeficiente de anisotropía). También se calcularon los estadísticos descriptivos para los valores de densidad básica obtenidos en las tres posiciones radiales muestreadas.

3.9.3 Análisis de correlación

Se obtuvo una matriz de correlaciones de Pearson para las variables IR , GSI , Db , β_j , IRT y $Cmax_{VOL}$ a fin de obtener una medida de asociación lineal entre estas variables que no dependiera de las unidades de medida.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis preliminar

4.1.1 Análisis de la varianza

La figura 4.1 muestra los gráficos de cajas que permiten la detección de datos atípicos. Se eliminaron dos datos para la variable IR , uno para β_1 y otro para $Cmax_{VOL}$ respectivamente para realizar la prueba de Shapiro Wilks y el análisis de la varianza.

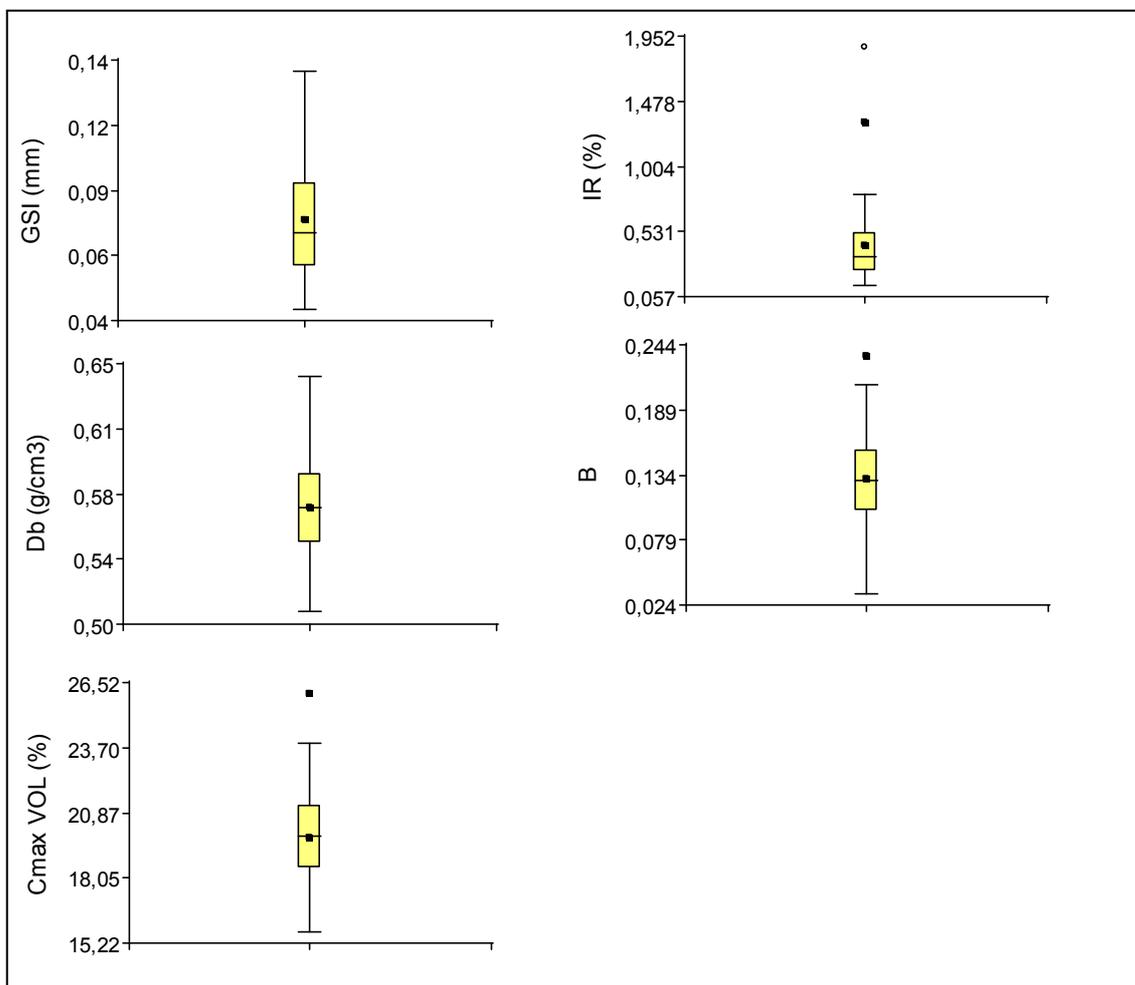


Figura 4.1: Gráficos de cajas para las variables indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado (IR), densidad básica (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β_1), contracción volumétrica total ($Cmax_{VOL}$)

La tabla 4.1 muestra el estadístico de Shapiro Wilks y su valor de probabilidad asociado para las variables en estudio. Las variables *GSI* e *IR* presentaron valores de probabilidad menores de 0,05. Por esta razón se rechazó la hipótesis de que provienen de una población con una distribución normal y se transformaron con el operador raíz cuadrada.

Tabla 4.1: Resultados de la prueba de Shapiro Wilks

Variable respuesta	<i>n</i>	Estadístico de Shapiro Wilks	p-valor
<i>GSI</i>	45	0,9327	0,0118
<i>IR</i>	43	0,9347	0,0170
\sqrt{GSI}	45	0,9625	0,1523
\sqrt{IR}	43	0,9537	0,0814
<i>Db</i>	45	0,9796	0,6029
β_1	44	0,9911	0,9796
<i>Cmax_{VOL}</i>	44	0,9888	0,9422

Referencias: indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado (IR), densidad básica (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j), contracción volumétrica total (Cmax_{VOL})

Los resultados del análisis de la varianza de la tabla 4.2 muestran que para todas las variables probadas se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias entre procedencias, por lo que se puede utilizar al material como un conjunto.

Tabla 4.2: Resultados del ANOVA entre procedencias

Fuente de variación	Variable respuesta	p-valor
Procedencias	\sqrt{GSI}	0,7929
	\sqrt{IR}	0,2027
	<i>Db</i>	0,4951
	β_1	0,3539
	<i>Cmax_{VOL}</i>	0,3027

Referencias: indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado (IR), densidad básica (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j), contracción volumétrica total (Cmax_{VOL})

4.1.2 Análisis de regresión lineal

Los dos análisis de regresión de la tabla 4.3 muestran que para las variables dependientes *GSI* e *IR*, los valores de probabilidad superiores a 0,05 confirman la hipótesis nula de que la pendiente estimada del factor de competencia individual (*HgCl*) resultó ser no significativamente diferente de cero con un 95 % de confianza. Los bajos valores de coeficiente de determinación (R^2) para los dos análisis muestran que la variabilidad encontrada en los estados de competencia individual no explica la variabilidad encontrada en las tensiones de crecimiento estimadas con las variables dependientes *GSI* e *IR*. Para los dos análisis de regresión lineal la prueba de carencia de ajuste indica que se acepta la hipótesis de que el modelo ajusta. Estos resultados validan la utilización del el material como un conjunto, independientemente del estado de competencia individual de cada muestra.

Tabla 4.3: Resultados del análisis de regresión lineal

Estadísticos asociados	Variable dependiente	
	<i>GSI</i>	<i>IR</i>
R^2	0,07	0,03
<i>Estimador del coeficiente de regresión HgCl</i>	0,01	0,12
<i>Error estándar del coeficiente de regresión HgCl</i>	0,01	0,1
<i>p-valor del coeficiente de regresión HgCl</i>	0,0843	0,2304
<i>p-valor de la prueba de carencia de ajuste</i>	0,9817	0,9977

4.2 Tensiones de crecimiento

Los resultados de *GSI* e *IR* mostraron la variabilidad característica que se presenta con las tensiones de crecimiento (tabla 4.4). En cuanto a la magnitud que alcanzaron los valores, para *GSI* la figura 4.2 muestra que la mayor parte de los datos se ubica por encima de los 0,05 mm y alcanza un máximo de 0,1375 mm. Para el *IR* solo dos árboles del total alcanzaron valores superiores al 1%, el resto de los árboles oscilaron entre 0,14% y 0,8%.

Tabla 4.4: Estadísticos descriptivos de los valores de tensiones de crecimiento

Estimadores estadísticos	GSI (mm)	IR (%)
Recuento	45	45
Promedio	0,0763	0,43
Desviación Estándar	0,0251	0,31
Coefficiente de Variación (%)	32,82	71,54
Mínimo	0,0395	0,14
Máximo	0,1375	1,86
Rango	0,0980	1,72

Referencias: indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado (IR)

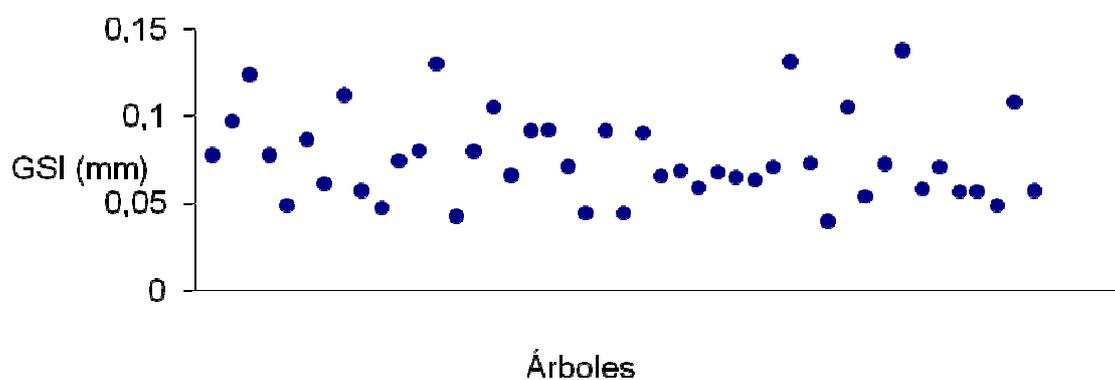


Figura 4.2: Gráfico de dispersión del indicador de tensiones de crecimiento para los 45 árboles muestreados

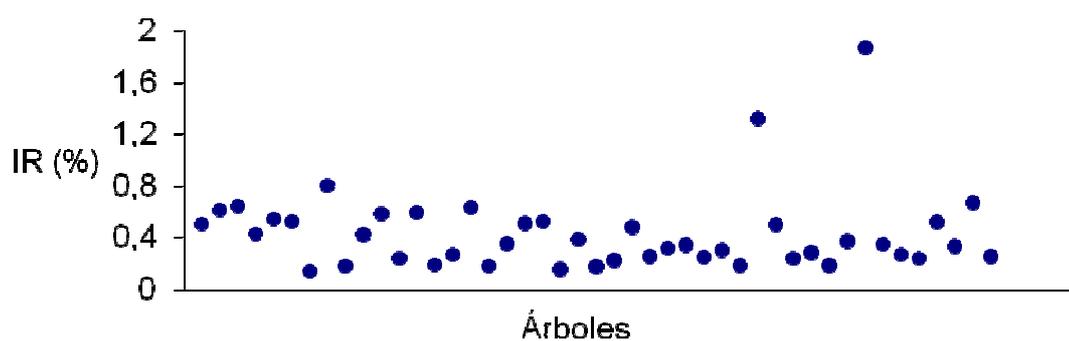


Figura 4.3: Gráfico de dispersión del índice de rajado para los 45 árboles muestreados

En comparación a otros trabajos realizados en el género *Eucalyptus*, los valores de tensiones de crecimiento fueron inferiores a los encontrados en la

literatura. Para *GSI* en 20 árboles de *E. dunnii* de 14 años de edad se registró un promedio de 0,141 mm con un coeficiente de variación (CV) de 26,87% (Souza, 2006). Otro estudio mostró en 16 árboles de *E. dunnii* de 19 años un promedio de 0,123 mm con un CV de 35,88 % (Trugilho y Olivera, 2008). Los valores de *IR* fueron menores a los que se registraron en la especie *E. grandis* en condiciones experimentales equivalentes. En estudios realizados con el mismo índice de rajado utilizado en este trabajo se encontró que para plantaciones de 21 años de edad en rollizos de 3 metros de longitud obtenidos a partir del 1,7 m de altura, los valores promedio de *IR* variaron entre 0,67% y 0,87% según el tratamiento silvicultural aplicado (Lima, 2005). En cuanto a la variación del *IR*, los valores se comportaron en forma similar a los estudios existentes, como el llevado a cabo por Malan (1998) que obtuvo un CV de 88,58% en una investigación de que involucró la evaluación de 121 árboles de *E. grandis* de 21 años.

4.3 Propiedades físicas

4.3.1 Densidad básica

En la tabla 4.3 se muestran los estimadores estadísticos para los valores de densidad básica promedio (Db), para la tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j) y para los valores de densidad básica en las tres posiciones radiales definidas (P_n). Para la densidad básica promedio y para los valores de densidad básica en cada una de las posiciones radiales la precisión del experimento fue muy buena (fig. 4.4, 4.6, 4.7 y 4.8), pero para la tasa radial de la densidad básica el CV indica alta dispersión de los datos (fig. 4.5). Esto implica que existe suficiente variabilidad para encontrar árboles con cambios ligeros de la densidad básica en dirección radial (valores bajos de β_j) y árboles con cambios pronunciados de la densidad básica en dirección radial (valores altos de β_j). Los valores individuales de β_j se presentan en el Anexo 3.

Tabla 4.5: Estadísticos descriptivos para los valores de densidad básica

	Db (g/cm ³)	P_1 (g/cm ³)	P_2 (g/cm ³)	P_3 (g/cm ³)	β_j
Recuento	45	45	45	45	45
Promedio (g/cm ³)	0,568	0,48	0,54	0,61	0,13
Desviación Estándar	0,028	0,03	0,03	0,03	0,04
Coefficiente de Variación (%)	4,96%	6,46	6,17	5,41	29,68
Mínimo	0,51	0,42	0,47	0,54	0,03
Máximo	0,64	0,57	0,63	0,68	0,23
Rango	0,13	0,15	0,16	0,14	0,20

Referencias: Densidad básica promedio por árbol (Db); densidad básica de la posición interna cercana a la médula (P_1), intermedia en el radio (P_2) y de la posición más externa cercana a la corteza (P_3); tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j)

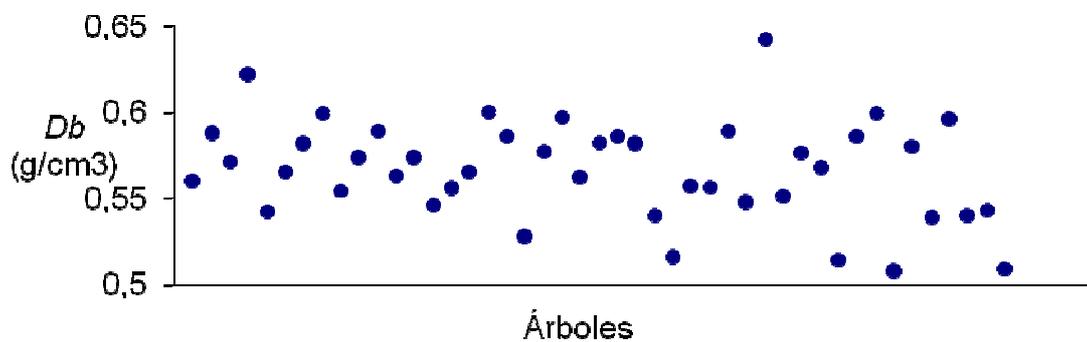


Figura 4.4: Gráfico de dispersión de la densidad básica promedio para los 45 árboles muestreados

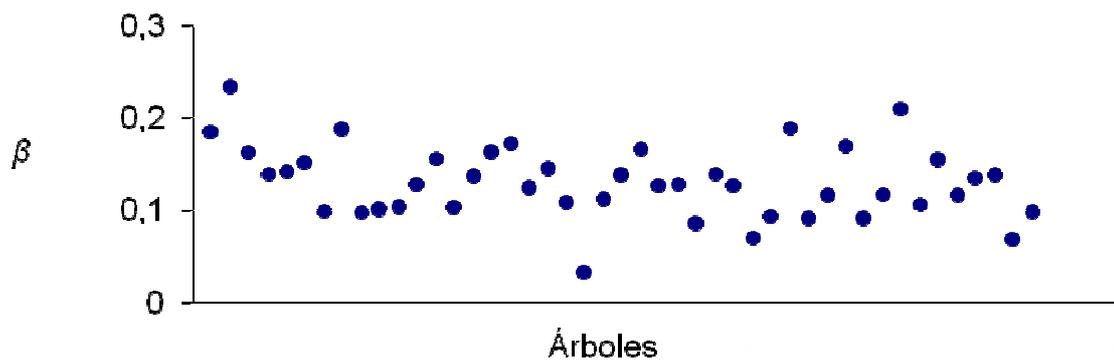


Figura 4.5: Gráfico de dispersión de la tasa de cambio radial de la densidad básica para los 45 árboles muestreados

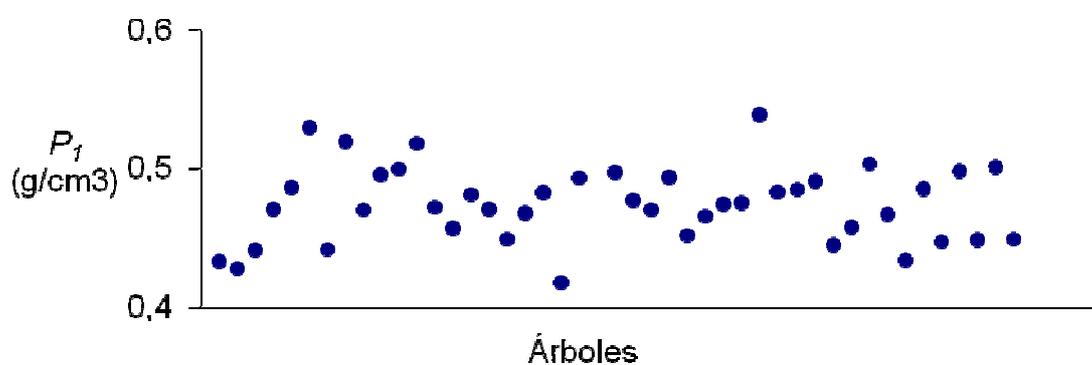


Figura 4.6: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial inmediata a la médula para los 45 árboles muestreados

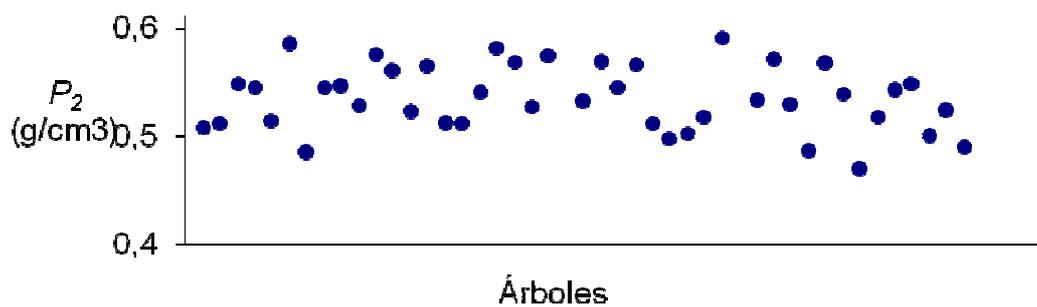


Figura 4.7: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial intermedia para los 45 árboles muestreados

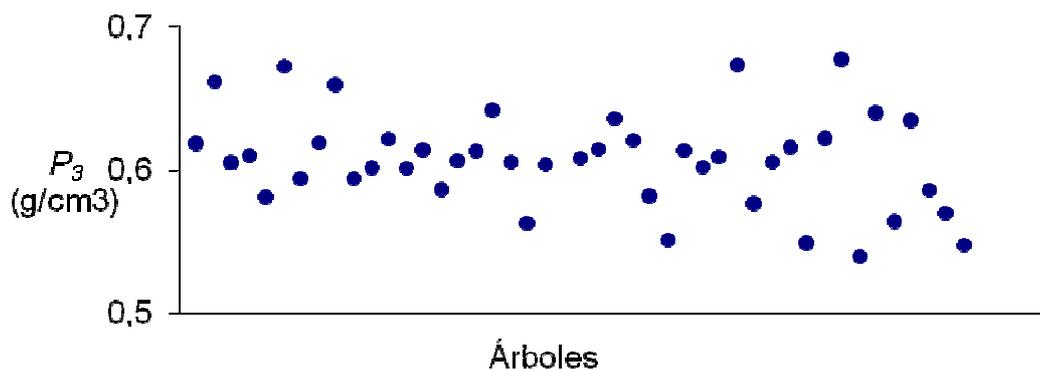


Figura 4.8: Gráfico de dispersión de la densidad básica de la sección radial cercana a la corteza para los 45 árboles muestreados

Los valores promedio de densidad básica por sección radial presentaron un aumento significativo desde las posiciones más internas cercanas a la médula (P_1) a las más externas (P_3) cercanas a la corteza (Tabla 4.5 y Fig 4.9).

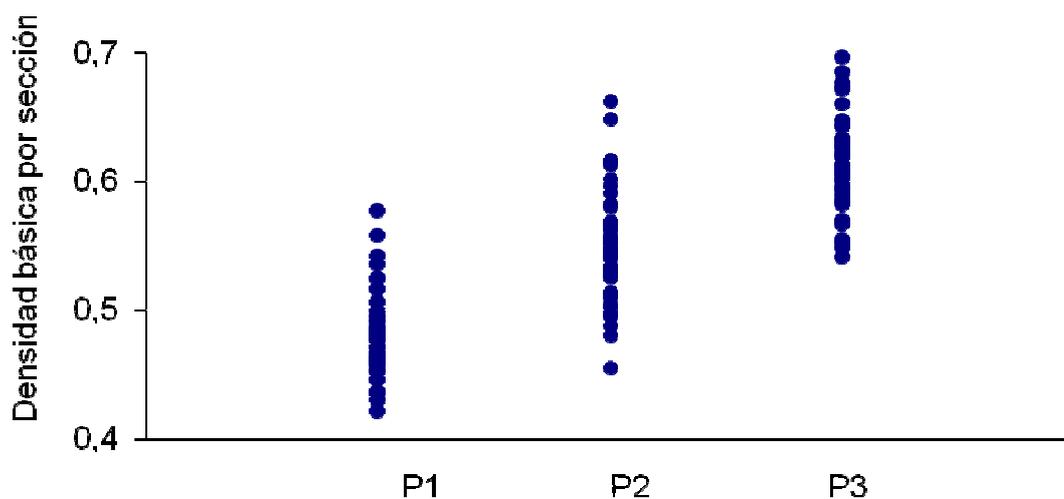


Figura 4.9: Gráfico de dispersión de la densidad básica de las tres secciones radiales para los 45 árboles muestreados

4.3.2 Contracción

La tabla 4.6 muestra que la precisión del experimento fue buena para todas las variables de contracción. Los valores de contracción tangencial máxima ($C_{max_{TG}}$) se situaron principalmente por encima del 10% hasta el máximo de 17,1%, con un solo árbol por debajo de este rango. Para la contracción radial

máxima (C_{maxRD}) solo dos árboles se alejaron del rango comprendido entre el 6% y el máximo de 8,8% (Figuras 4.10 y 4.11). En la tabla 4.6 el valor promedio de coeficiente de anisotropía (T/R) se encuentra en el límite establecido para los empleos que no permiten alabeos durante el secado. Estos resultados fueron similares a los encontrados por Rocha (2000) en plantaciones de 16,5 años de *E. dunnii*, que halló valores de 12,2 % para la C_{maxTG} , 7,9 % para la C_{maxRD} , 19,2% para la C_{maxVOL} y 1,6 para T/R .

Tabla 4.6: Estadísticos descriptivos para los valores de contracción

Estimadores estadísticos	C_{maxTG} (%)	C_{maxRD} (%)	T/R	C_{maxVOL} (%)
Recuento	45	45	45	45
Promedio	12,8	7,01	1,85	19,81
Desviación estándar	1,6	0,91	0,27	2,08
Coefficiente de Variación (%)	12,5	13,02	14,76	10,5
Mínimo	7,86	4,75	1	15,73
Máximo	17,16	8,88	2,41	26,01
Rango	9,3	4,13	1,41	10,28

Referencias: Contracción lineal máxima en dirección tangencial (C_{maxTG}), contracción lineal máxima en dirección radial (C_{maxRD}), contracción volumétrica máxima (C_{maxVOL}), coeficiente de anisotropía (T/R)

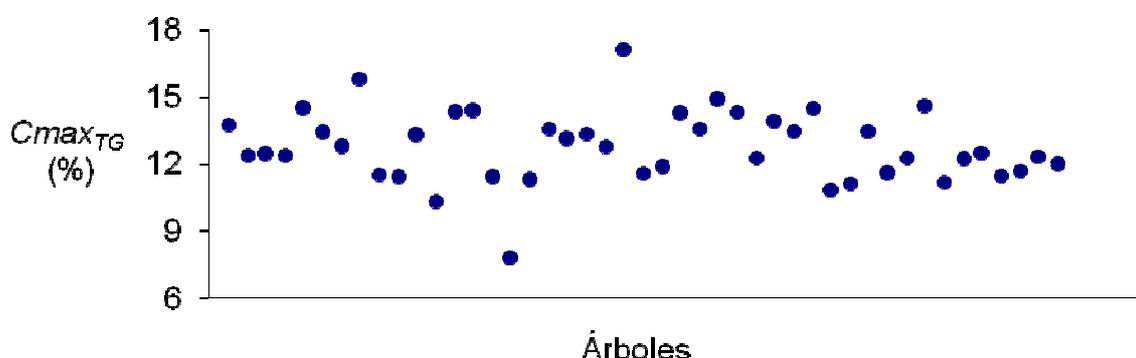


Figura 4.10: Gráfico de dispersión de la contracción lineal máxima en dirección tangencial (%) para los 45 árboles muestreados.

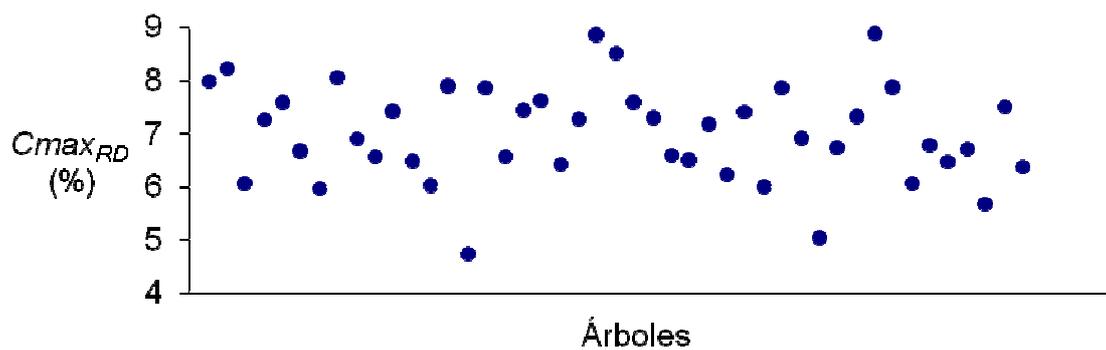


Figura 4.11: Gráfico de dispersión de la contracción lineal máxima en dirección radial (%) para los 45 árboles muestreados

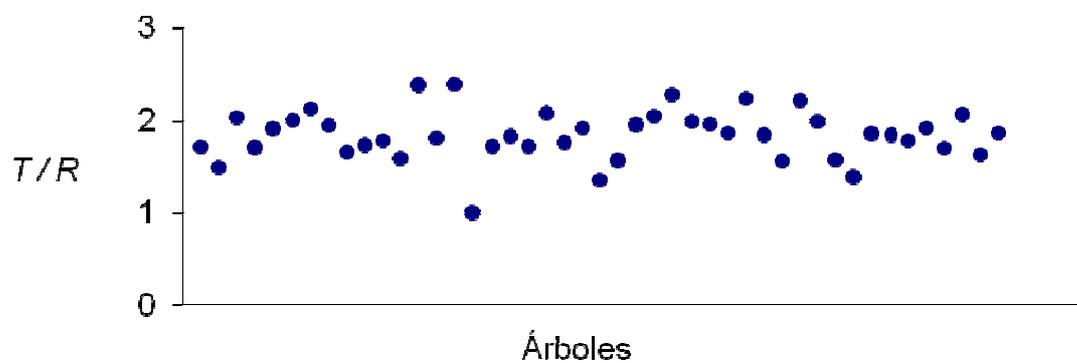


Figura 4.12: Gráfico de dispersión del coeficiente de anisotropía para los 45 árboles muestreados

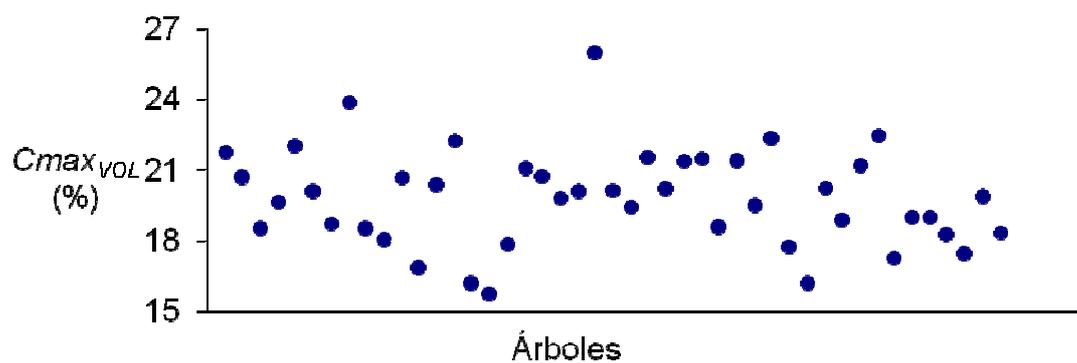


Figura 4.13: Gráfico de dispersión de la contracción volumétrica máxima (%) para los 45 árboles muestreados

4.4 Indicadores del proceso de aserrado y de calidad

La tabla 4.7 muestra los resultados del aserrado de los árboles muestreados e incluye volúmenes de materia prima procesada, calidad, cantidad del producto obtenido y rendimientos del proceso. Se destaca que el porcentaje de pérdidas en el volumen de madera verde aserrada por rajaduras de cabeza (5,48%) fue bajo. Este valor resultó acorde a otros estudios realizados en eucaliptos con sistemas de aserrado similares, como los realizados por Washusen *et al.* (2009) que encontró para *E. nitens* de 22 años pérdidas del 5% del volumen de las tablas tangenciales verdes de 25 mm de espesor y 2,7 m. de largo debido a rajaduras de cabeza. En otro trabajo realizado en *E. grandis* no publicado se encontró que 1,6 % de un volumen de 6,71 m³ de tablas aserradas verdes de 3,5 m de longitud se perdió como consecuencia del despunte para eliminar rajaduras en extremos (Fuente: Ing. Forestal Ciro Mastrandrea de INTA Concordia, comunicación personal).

Se procesaron 246 tablas aserradas de las cuales más de la mitad (143, que representan el 58%) presentaron rajaduras de cabeza (tabla 4.7). Sin embargo, esto condujo a un descenso del rendimiento del aserrado del 44,2% al 41,7 % que no resulta tan pronunciado.

Los valores de la tabla 4.7 resultaron similares a los encontrados por otros estudios realizados en la misma especie. Matos *et al.* (2003) en tablas tangenciales de 27 mm de espesor y 2,8 m de largo de *E. dunnii* encontraron que las rajaduras de cabeza afectaron entre 5,25 % hasta un 12,05 % de la longitud total de las tablas (equivalentes a 52,5 mm/m y 120,5 mm/m respectivamente). En otro estudio que involucró el aserrado de rollizos de *E. dunnii* de una longitud de 3 m. y un volumen total de 4,22 m³ se mostró que el rendimiento verde (*R*) promedio fue de 41,26 %, el porcentaje de piezas con rajaduras (*P*) promedio fue de 84,22% y el índice de rajaduras promedio (calculado solo sobre las tablas que presentaron este defecto) fue de 30,77% (equivalente a 30,77 mm/m) cuando se utilizó un sistema de corte similar al

utilizado en este trabajo para obtener tablas tangenciales de 28 mm de espesor (Rocha, 2000).

Las tablas producidas no presentaron alabeos notorios determinados mediante apreciación visual. Esto tendría su explicación, en que los alabeos pueden no manifestarse en trozas cortas (Jacobs, 1959) y en que los valores de tensiones de crecimiento (medidos con *GSI* y el *IR*) fueron notoriamente menores en comparación a los registrados en otros trabajos realizados en *E. dunnii* y *E. grandis* como se detalla en la sección 4.1.

Tabla 4.7: Indicadores del proceso de aserrado y de calidad

Indicador	Resultado
Volumen total de los rollizos procesados ($\sum Vr$)	4,49 m ³
Volumen de tablas aserrado ($\sum vt$)	1,98 m ³
Número total de piezas producidas (T)	246
Número de piezas afectadas al menos con una rajadura en uno de sus extremos (N)	143
Porcentaje de piezas que presentaron rajaduras de cabeza (P)	58,1 %
Longitud total de tablas ($\sum LT$)	491,23 m
Longitud total de rajaduras de cabeza ($\sum LR$)	26924 mm
Índice de rajaduras para la totalidad de tablas aserradas ($IRCT$)	54,8 (mm/m)
Pérdidas en el volumen de tablas aserrada por rajaduras de cabeza (P_T)	5,48 %
Pérdidas en el volumen de rollizos procesados por rajaduras de cabeza (P_R)	2,42%
Rendimiento en bruto del aserrado (R)	44,2%
Rendimiento en calidad del aserrado (R_C)	41,68 %

En la tabla 4.8 se muestran los estimadores estadísticos para las rajaduras de las tablas obtenidas por rollizos. Los valores muestran que existe variabilidad suficiente para encontrar árboles que produjeran tablas afectadas en mayor o menor medida por rajaduras en sus extremos.

Tabla 4.8: Estadísticos descriptivos para el índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo

Estimadores estadísticos	<i>IRT</i> (mm/m)
Recuento	45
Promedio	27,87
Desviación Estándar	19,85
Coefficiente de Variación (%)	71,23
Mínimo	0,00
Máximo	105,8
Rango	105,8

Otras investigaciones llegaron a resultados similares: Trugilho (2005) encontró un *IRT* promedio de 23,66 % (equivalente a 23,66 mm/m) con un CV de 71,03% en tablas tangenciales de 3 cm de espesor correspondientes a dos rollizos de 3 m. por árbol para 16 individuos de *E. dunnii* de 19 años.

4.5 Relaciones entre variables

El análisis de correlación de la tabla 4.15 muestra la asociación encontrada entre las propiedades físicas de la madera, las tensiones de crecimiento estimadas en árboles en pie y en rollizo y las rajaduras en extremos de tablas aserradas para los árboles involucrados en el estudio.

Tabla 4.9: Matriz de correlaciones de Pearson/probabilidad

	<i>Db</i>	β_j	$Cmax_{VOL}$	<i>GSI</i>	<i>IR</i>	<i>IRT</i>
<i>Db</i>	1	p=0,010	p=0,15	p=0,02	p=0,01	p=0,01
β_j	0,38**	1	p=0,30	p<0,001	p<0,001	p=0,01
$Cmax_{VOL}$	0,22	0,16	1	p=0,06	p=0,02	p=0,72
<i>GSI</i>	0,35*	0,59**	0,29	1	p<0,001	p<0,001
<i>IR</i>	0,39**	0,52**	0,35*	0,71**	1	p<0,001
<i>IRT</i>	0,36**	0,37**	0,05	0,46**	0,52**	1

Referencias: Densidad básica promedio por árbol (*Db*), tasa de cambio radial de la densidad básica (β_j), contracción lineal máxima en dirección radial ($Cmax_{RD}$), contracción volumétrica total ($Cmax_{VOL}$), indicador de tensiones de crecimiento (*GSI*), índice de rajado en rollizo (*IR*), índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo (*IRT*).

* Correlación significativa al 0,05; ** Correlación significativa al 0,01

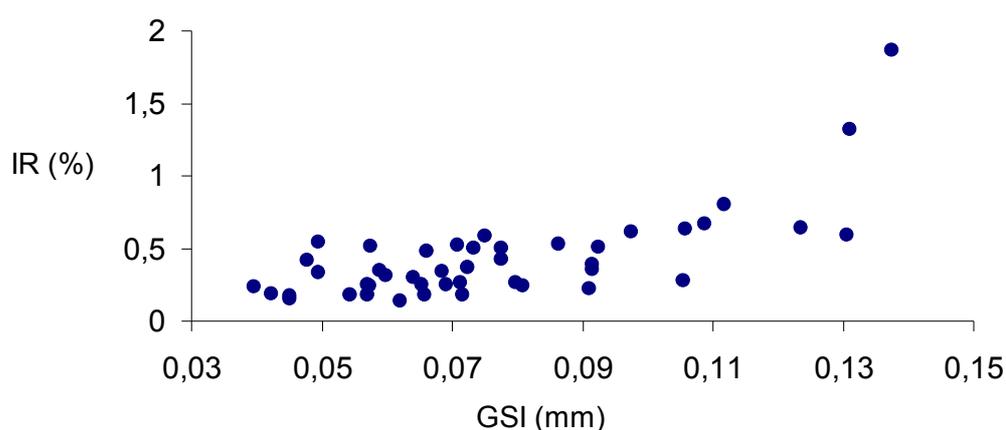


Figura 4.14: Índice de rajado en rollizo en función del indicador de tensiones de crecimiento

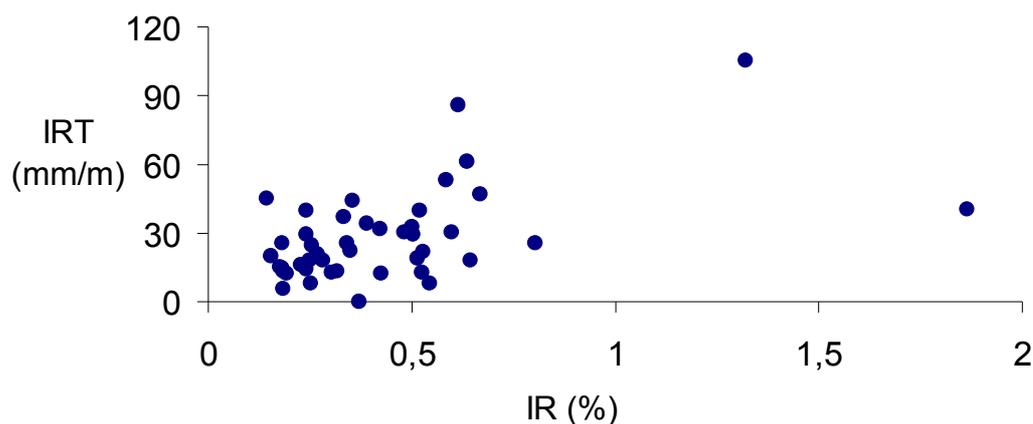


Figura 4.15: índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo en función del Índice de rajado en rollizo

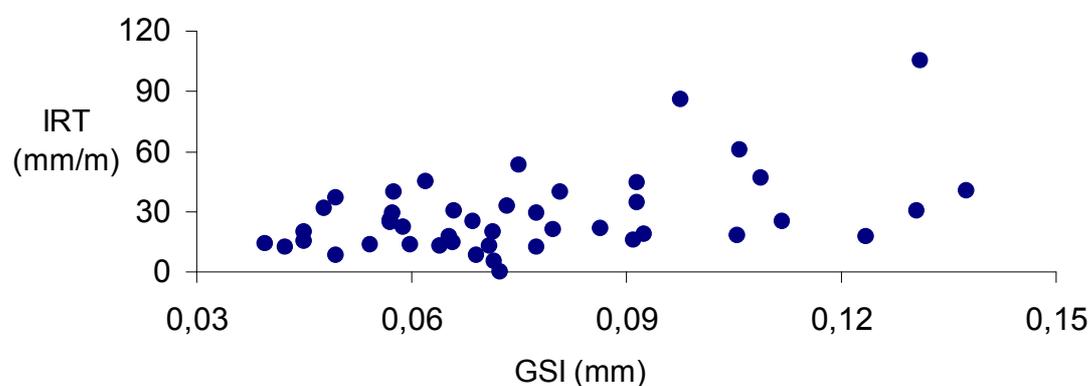


Figura 4.16: índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo en función del Indicador de tensiones de crecimiento

Los resultados de la asociación del método *CIRAD-Forêt* (*GSI*) y la magnitud con la que se manifiesta el estrellado en las caras transversales de los rollizos (*IR*) una vez apeados los árboles fue muy buena ($r=0.71$) y confirma los resultados encontrados en investigaciones previas.

Los valores de correlación muestran que no hay evidencias de una asociación positiva entre las tensiones de crecimiento y la densidad básica promedio por árbol (tabla 4.9). Los niveles de asociación aumentaron considerablemente cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica. Los coeficientes

de correlación fueron positivos y moderados en este caso ($r=0,59$ y $0,52$) y no explicaron por sí solos la variación en los niveles de tensiones de crecimiento.

Las tensiones de crecimiento presentaron valores bajos de correlación con la contracción volumétrica total ($r=0,35$ con *IR*). Este resultado se diferencia de la alta asociación encontrada en una investigación previa ($r: 0,92$) entre las tensiones de crecimiento estimadas mediante el método de Nicholson y la contracción tangencial de láminas de madera en clones de eucaliptos (Baillerés, 1994). El mismo autor expresa que la relación entre las deformaciones en la superficie del cambium y la contracción no tiene una explicación sencilla y probablemente dependa de la población muestral y del procedimiento de medición.

Las correlaciones entre el índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo con el índice de rajado y el indicador de tensiones de crecimiento fueron moderadas ($r: 0,52$ y $r: 0,46$ respectivamente). Investigaciones de otros autores encontraron mayor asociación: Para *E. dunnii* de 19 años en rollizos de 3 m. y tablas tangenciales de 3 cm de espesor, se encontró un valor de correlación general de 0,8625 para el *IRT* de las tablas aserradas de dos rollizos por árbol y sus respectivos valores *GSI* (Trugilho, 2005), en *E. grandis* de 21 años se encontró una correlación entre el *IR* y *IRT* de 0,76 (Lima, 2004).

Las correlaciones entre el índice de rajaduras para las tablas aserradas por rollizo y las propiedades físicas de la madera fueron muy bajas.

5. CONCLUSIONES

Las tensiones de crecimiento estimadas a través de dos métodos para *Eucalyptus dunnii* de tres procedencias, presentaron valores más bajos que los citados en la bibliografía para la especie y mostraron alta variabilidad individual. Asimismo, la magnitud de las rajaduras de cabeza medidas en verde en las tablas aserradas evidenció una alta variabilidad para los árboles muestreados y presentó una asociación moderada con las tensiones de crecimiento medidas.

Se encontró una asociación baja entre las tensiones de crecimiento con las propiedades físicas de la madera densidad básica y contracción volumétrica total con la metodología utilizada. Los niveles de asociación aumentaron considerablemente cuando las correlaciones se hicieron entre las estimaciones de tensiones de crecimiento y la tasa de cambio radial de la densidad básica. Aunque estos coeficientes de correlación fueron positivos y moderados no explicaron por sí solos la variación en los niveles de tensiones de crecimiento. Sin embargo, estos resultados apoyan el concepto de que variaciones en los niveles de tensiones de crecimiento se encuentran asociados también a la variación en la estructura de la madera, como es el caso de la variación radial de la densidad.

Según los indicadores del proceso de aserrado y de calidad calculados en esta tesis, el porcentaje de pérdidas en el volumen de madera verde aserrada por rajaduras de cabeza no afectó considerablemente el rendimiento del aserrado. Las rajaduras de cabeza generadas como consecuencia de tensiones de crecimiento fueron responsables de la pérdida de un volumen de madera estimado en 5,48 % del volumen total de tablas producido y de un 2,42% del volumen de rollizos procesados.

Con los niveles de tensiones de crecimiento registrados no se evidenciaron mediante apreciación visual alabeos que afectasen la calidad de los productos aserrados en estado verde. Es necesario continuar los análisis de las tablas conforme baje el contenido de humedad de las mismas mediante secado

natural o en horno. Es de esperar que los defectos producidos por el secado magnifiquen algunas anomalías como grietas, rajaduras y alabeos.

REFERENCIAS

Archer R.R, 1985. On the distribution of tree growth stresses. *Wood Science and Technology* 19: 259-276.

Arnold R. J., Johnson I. G, Owen J. V., 2004. Genetic variation in growth, stem straightness and wood properties in *Eucalyptus dunnii* trials in northern New South Wales. *Forest Genetics* 11(1): 1-12.

Barchet V.G; 2001. Potencialidade de espécie de *Eucalyptus* para produção de madeira serrada. Tese de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, 166 pp.

Baillères H.; 1994. Précontraintes de croissance et propriétés mécano-physiques de clones d'*Eucalyptus* (Pointe Noire, Congo): hétérogénéités, corrélations et interprétations histologiques. Thèse (docteur)-L' Université de Bordeaux I, 162 pp.

Benson J.S., Hager T.C., 1993. The distribution, abundance and habitat of *Eucalyptus dunnii* (Myrtaceae) (Dunn's white gum) in New South Wales. *Cunninghamia* 3(1): 123-145.

Calori J.V, Kikuti P., 1997. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos 20 anos de idade. In: *Eucalypts: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts*. Salvador, Brasil. 24-29 de agosto: 321-326.

Castro, G. O., Pérez Croce, E. y Arroyo, J.; 1991. Caracterización Agroclimática de la Provincia de Corrientes. 1ra y 2da Etapa. Consejo Federal de Inversiones. Buenos Aires. 237 pp.

Chauan S, Donnelly R., Huang C., Nakada R., Yafang Y., Walker J.F. , 2006. Wood quality: Multifaceted opportunities. En Walker J.F (Ed.), *Primary Wood processing. Principles and practice*. 2nd edition: 187-201.

Clair B., Almerás T. Yamamoto H., Okuyama T. Sugiyama J.; 2006. Mechanical behavior of cellulose microfibrils in tension wood, in relation with maturation stress generation. *Biophysical Journal* 91: 1128–1135.

Clair B., Ruelle J., Thibaut B., 2003. Relationship between growth stresses, mechano-physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in chestnut (*Castanea Sativa* Mill.). *Holzforschung* 57: 189–195.

Dickson R. L., Raymond C. A., Joe W., Wilkinson C. A., 2003. Segregation of *Eucalyptus dunnii* logs using acoustics. *Forest Ecology and Management* 179: 243-251.

Fournier M., Bordonne P. A., Guitard D., Okuyama T., 1990. Growth stress patterns in tree stems. *Wood Science and Technology* 24:131-142.

Gerard J., 1992. En Thibaut B. (Eds), Actes des séminaires annuels du programme Architecture, structure, mécanique de l'arbre. Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, Paris 1er décembre 1992: 31 pp.

Gerard J., 1994. Contraintes de croissance, variations internes de densité et de module d' élasticité longitudinal, et déformations de sciage chez les eucalyptus de plantation. Thèse (docteur)-L' Université de Bordeaux I, 160 pp.

Gerard J., Baillères H., Fournier M., Thibaut B. ; 1995. Qualité du bois chez les Eucalyptus de plantation. *Bois et Forêts des Tropiques* 245: 101-117.

Jacobs M.R., 1959. Informe al gobierno de la Argentina sobre la ecología del eucalipto. Instituto Forestal Nacional. Informe N° 1019, 86 pp.

Jullien D., Gril J.; 1996. Mesures des déformations bloquées dans un disque de bois vert. Méthode de la fermeture. *Annals of Forest Science* 53 (5): 955-966.

Kubler H, 1987. Growth stresses in trees and related wood properties. *Forestry abstracts* 48 (3):131-189.

Kubler H., 1988. Sivicultural control of mechanical stress in trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 1215-1225.

Lima I.L, 2005. Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. Tesis Doctoral. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, 157 pp.

López J. A., Genes P.Y, 2005. Ajuste y validación de un método no destructivo para seleccionar genotipos de *Eucalyptus grandis* con bajo nivel de tensiones de crecimiento. Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Corrientes, Argentina, 11pp.

Malan, F.S., 1998. Relationships between growth stress and some tree characteristics in South African grown *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal* 144: 43-46.

Malan, F.S., 2008. Clonal differences in log end splitting in *Eucalyptus grandis* in relation to age, parent performance, growth rate and wood density in two even-aged trials in Mpumalanga, South Africa. *Southern Forests* 70 (1): 37-43.

Mantero C., Fernández V., Ros A, 2008. Anatomía, peso específico aparente de la madera y porcentaje de corteza en orígenes de dos especies de *Eucalyptus* cultivadas en Uruguay (*Eucalyptus dunnii* Maiden y *Eucalyptus badjensis* Beuzev.& Welch). *Agrociencia* 12(1): 20-30.

Maradei, D., 1997. *Eucalyptus dunnii* un nuevo recurso forestal para la industria. *SAGPyA Forestal* 4:7-11.

Marcó M.A., White T.L., 2002. Genetic parameter estimates and genetic gains for *Eucalyptus grandis* and *E. Dunnii* in Argentina. *Forest Genetics* 9(3):205-215.

Matos J.L.M., Iwakiri S., Rocha M.P., Paim R.M., Andrade L.O., 2003. Redução do efeito das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. *Scientia Forestalis* 64: 128-135.

Mothe F, Chanson B, Thibaut B, Martin G, Mourgues P., 1990. Étude du retrait en liaison avec la structure. I Variation radiale des retraits longitudinal et tangentiel sur des placages déroulés de douglas. *Annals of Forest Science* 47 (4): 331-334

Murphy T., Henson M., Vanclay J. K., 2005. Growth stress in *Eucalyptus dunnii*. *Australian Forestry* 68 (2): 144-149.

Nicholson J.E., Campbell G.S., Bland D.E., 1972. Association between wood characteristics and growth stress level: A preliminary study. *Wood Science* 2 (5): 109-112.

Okuyama T., Yamamoto H, Yoshida M, Hattori Y, Archer R.R., 1993. Growth stresses in tension wood: role of microfibrils and lignification. *Annals of Forest Science* 51: 291-300.

Pedrosa, 2003. Performance de vigas “I” constuídas por flanges de PLP y almas de compensado de *Pinus taeda* L e *Eucalyptus dunnii* Maiden, e alma de OSB de *Pinus spp*. Tese de Mestrado. Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 106 pp.

Pereyra, 2000. Evaluación de la madera de *Eucalyptus dunnii* (Maid) en la producción de láminas. *Yvyrareta* 10:15-20.

Raymond C.A, Kube., P.D., Pinkard L., Savage L., Bradley A.D., 2004. Evaluation of non-destructive methods of measuring growth stress in *Eucalyptus globulus*: relationships between strain, wood properties and stress. *Forest Ecology and Management* 190: 187–200.

Rocha M. P., 2000. *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como Fontes de Matéria Prima para Serrarias. Tesis Doctoral. Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 186 pp.

Rozas Mellado C., 1993. Reducción de las tensiones de crecimiento en madera de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden: Técnica de anillamiento y vaporización. *Actas Simposio los Eucaliptos en el desarrollo forestal de Chile*, Pucón Chile: 563-584.

Santos P. E. T; 2002. Avaliação de características tecnológicas de madeira para serraria em progênies de polinização aberta de eucalipto e implicações para o melhoramento genético. Tesis Doctoral. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, 153 pp.

Severo E., Tomaselli I., 2001. Efeito da pré-vaporização em algumas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus dunnii*. *Cerne* 7(2): 35-42.

Souza, M. A. M., 2006. Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden. Tesis Doctoral. Universidad Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, 90 pp.

Stanger K., 1993. A preliminary investigation of the variation in bark thickness, density and susceptibility to splitting in *Eucalyptus dunnii* Maiden. *ICFR Bulletin Series* 3/93, Pietermaritzburg, South África, 6 pp.

Thibaut B. y Gril J., 2003. Growth stresses. En J.R Barnet y G. Jeronimidis (Eds), *Wood quality and its biological basis*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK: 137-156.

Thomas, D., Henson, M., Joe, B., Boyton, S., Dickson, R., 2009. Review of growth and wood quality of plantation-grown *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Australian Forestry* 72 (1):3-11.

Touza-Vázquez M., 2001. Tensiones de crecimiento en *Eucalyptus globulus* de Galicia (España). Influencia de la silvicultura y estrategias de aserrado. *Maderas. Ciencia y tecnología* 3(1-2):68-89.

Trugilho P. F., 2005. Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus spp.* e de *Eucalyptus dunnii* Maiden e propriedades de sua madeira. 2005. Tese (Pós Doutorado em Ciências Florestais) -Universidade Federal do Paraná Curitiba, Brasil, 123 pp.

Trugilho P. F., Lima J. T., Silva Rosado S.C., Mendes L. M., Mori F. A., Souza M.A.M, 2002. Avaliação da tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus*. *Floresta e Ambiente* 9(1): 38-44.

Trugilho P.F. y Olivera J.T.S., 2008. Relações e estimativas da tensão de crescimento longitudinal em *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Revista Arvore* 32 (4): 723-729.

Vignote S., Molinero I., Gerard M., Diez M.R., 1996. Estudio de las tensiones de crecimiento de *Eucalyptus globulus* Labill en Galicia y su relación con las características de la estación y morfológicas del propio árbol. *Investigación Agraria Sistemas y Recursos Forestales* (5) 1: 153-176.

Washusen R., Harwood C., Morrow A., Northway R., Valencia J. C., Volker P., Wood M., Farrell R., 2009. Pruned plantation-grown *Eucalyptus nitens*: Effect of thinning and conventional processing practices on sawn board quality and recovery. *New Zealand Journal of Forestry Science* 39: 39-55.

Yang J.L., Baillères H., Okuyama T., Muneri A., Downes G., 2005. Measurement methods for longitudinal surface strain in trees: a review. *Australian Forestry* 68 (1): 34-43.

Yang J., Fife D., Waugh G., Downes G., Blackwell P., 2001. The effect of growth strain and other defects on the sawn timber quality of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. *Australian Forestry* 65 (1): 31-37.

ANEXO 2: MEDICIONES

Tabla A.2.1: Diámetro a la altura del pecho y altura total de los árboles muestreados

Procedencia	Árbol	DAP (cm)	H (m)
<i>Death Horse</i>	1	25,9	27,7
	2	28,9	30,1
	3	28,1	30,8
	4	27,2	32
	5	25,1	26,4
	6	29,8	28,5
	7	26,8	31,2
	8	30,1	26,4
	9	26,3	24,5
	10	25,5	21,1
	11	24,6	27,9
	12	27,1	25
	13	28,0	27,5
	14	25,3	25,5
	15	28,3	27,2
<i>Oaky Creek</i>	16	29,6	28,4
	17	32,0	30
	18	26,7	26,9
	19	25,2	25,4
	20	32,7	31,1
	21	25,3	25,3
	22	30,0	29,9
	23	27,7	31,8
	24	28,1	27,4
	25	29,6	28,6
	26	27,9	26,3
	27	28,1	30,1
	28	28,1	29,6
	29	23,2	27,9
	30	27,8	27,4
<i>Boomi Creek</i>	31	28,8	26,7
	32	26,6	29,8
	33	27,1	29
	34	24,8	26,5
	35	31,9	24,9
	36	20,5	23,5
	37	20,6	24,9
	38	22,7	29,1
	39	23,9	25
	40	27,4	26,8
	41	29,5	28
	42	24,3	30,3
	43	27,3	27,1
	44	23,8	24,7
	45	25,9	25,7

Tabla A.2.3: Valores de desplazamiento (δ) registrados con el método CIRAD-Forêt

Árbol	Valor de desplazamiento por orientación cardinal			
	δ Norte (mm)	δ Este (mm)	δ Sur (mm)	δ Oeste (mm)
1	0,075	0,075	0,088	0,072
2	0,066	0,144	0,092	0,088
3	0,098	0,169	0,152	0,075
4	0,058	0,093	0,084	0,075
5	0,024	0,058	0,068	0,048
6	0,080	0,092	0,088	0,085
7	0,052	0,065	0,083	0,048
8	0,082	0,112	0,138	0,115
9	0,042	0,052	0,076	0,058
10	0,056	0,073	0,022	0,040
11	0,069	0,073	0,073	0,085
12	0,092	0,062	0,083	0,086
13	0,106	0,116	0,152	0,148
14	0,039	0,038	0,026	0,066
15	0,066	0,079	0,081	0,093
16	0,109	0,086	0,136	0,092
17	0,050	0,046	0,099	0,068
18	0,058	0,062	0,126	0,120
19	0,088	0,075	0,113	0,094
20	0,050	0,092	0,063	0,078
21	0,020	0,064	0,058	0,038
22	0,095	0,075	0,113	0,083
23	0,038	0,055	0,069	0,018
24	0,027	0,072	0,182	0,083
25	0,044	0,052	0,095	0,073
26	0,044	0,070	0,110	0,052
27	0,038	0,069	0,078	0,054
28	0,069	0,063	0,056	0,086
29	0,046	0,105	0,082	0,028
30	0,043	0,075	0,080	0,058
31	0,060	0,092	0,088	0,046
32	0,136	0,162	0,085	0,141
33	0,065	0,065	0,075	0,088
34	0,038	0,038	0,036	0,046
35	0,078	0,108	0,160	0,076
36	0,072	0,031	0,070	0,044
37	0,055	0,092	0,074	0,068
38	0,093	0,115	0,198	0,144
39	0,035	0,064	0,098	0,038
40	0,056	0,095	0,114	0,020
41	0,054	0,055	0,050	0,070
42	0,062	0,040	0,076	0,052
43	0,040	0,048	0,060	0,050
44	0,070	0,103	0,164	0,098
45	0,053	0,065	0,074	0,036

Tabla A.2.4: Valores de las mediciones efectuadas para el cálculo del índice de rajado.

Árbol	Sección inferior del rollizo			Sección superior del rollizo		
	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)
1	212,21	51,59	0,47	203,70	158,61	0,92
		81,80	1,08			
		87,00	0,90			
2	266,07	81,10	0,50	226,65	90,14	0,29
		103,92	1,16		96,96	1,19
		125,93	0,98		64,27	0,91
					121,88	0,72
3	246,39	100,05	0,50	233,45	100,81	1,02
		187,84	0,95		122,31	1,33
					103,23	0,72
					50,13	0,16
4	254,79	141,11	1,08	237,41	176,18	1,39
5	218,51	58,44	0,57	205,58	87,72	0,56
		68,79	0,90		157,66	0,80
		96,10	1,19			
6	255,04	54,17	0,73	236,68	101,41	1,09
		185,90	1,35		94,16	1,11
7	229,68	48,61	0,33	225,55	30,10	0,34
		45,17	0,54		64,36	0,38
					53,61	0,76
8	266,95	98,46	0,76	230,19	99,78	1,03
		127,55	1,31		67,72	0,77
		115,13	0,99		107,72	1,07
					111,99	1,19
9	234,45	22,84	0,25	212,13	116,24	0,48
		158,55	0,51		8,58	0,19
10	218,98	152,20	1,19	202,45	24,05	0,19
					122,80	0,92
11	225,69	184,69	1,08	202,51	57,58	0,28
					69,91	0,91
					149,66	0,91
12	253,35	152,88	0,78	208,05	12,29	0,29
					156,03	0,52
13	252,46	107,04	0,84	217,84	80,07	0,84
		127,98	1,12		19,05	0,32
					65,23	0,98
					106,41	1,27
14	228,20	62,99	0,45	205,89	110,22	0,63
		63,60	0,67			

Árbol	Sección inferior del rollizo			Sección superior del rollizo		
	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)
15	273,95	30,67	0,29	235,04	79,55	0,86
		73,65	0,42		41,82	1,04
		73,18	0,83		45,32	1,04
16	274,69	143,90	1,13	237,57	46,33	0,24
		213,66	0,66		113,73	0,67
					116,30	1,25
				95,87	1,08	
17	282,84	149,15	0,89	264,64	153,63	0,53
18	239,95	47,72	0,36	231,55	61,72	0,46
		145,06	0,75		170,50	0,89
19	230,16	174,24	1,15	193,97	27,15	0,35
					63,55	1,05
					80,82	1,05
20	314,54	100,69	0,55	248,00	83,14	0,66
		220,19	1,33		46,36	0,28
					99,49	0,91
					100,37	1,31
21	213,00	101,95	0,34	185,54	131,92	0,43
22	261,89	98,42	0,76	248,25	78,28	0,46
		199,55	0,75		165,37	0,84
23	261,83	69,09	0,58	245,43	53,35	0,20
		64,91	0,52		72,63	0,30
					66,71	0,56
					63,28	0,49
24	265,81	85,00	0,56	226,83	161,49	0,39
		70,89	0,45		94,62	0,65
25	249,11	81,12	0,53	233,94	80,30	0,47
		139,86	1,11		105,64	1,04
					93,48	0,98
26	249,14	169,03	0,70	223,27	145,25	0,71
27	255,87	159,93	1,06	234,88	174,89	0,75
28	249,88	162,53	0,55	232,16	76,29	1,08
					93,00	0,61
					112,42	0,65
29	204,95	73,48	0,60	188,39	72,24	0,49
		55,97	0,45		54,45	0,38
					61,53	0,39
30	233,04	134,26	0,72	218,10	72,66	1,06
					12,65	0,38
					88,31	0,66

Árbol	Sección inferior del rollizo			Sección superior del rollizo		
	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)	Diámetro s/c (mm)	Largo de rajadura (mm)	Ancho de rajadura (mm)
31	258,51	25,84	0,26	244,01	148,76	0,48
		73,64	0,72			
		79,43	0,67			
32	226,11	96,31	0,66	222,65	110,72	1,43
		98,58	1,04		2,08	110,59
		111,30	1,22		105,13	
		99,30	1,55			
33	245,64	184,08	0,90	222,54	190,36	1,29
		13,12	0,30		23,82	0,22
34	204,05	47,77	0,34	192,89	132,08	0,77
		41,70	0,24			
		45,76	0,39			
35	291,55	43,58	0,24	248,04	35,66	0,26
		118,10	0,91		72,38	0,33
		139,22	0,91		84,71	0,74
36	173,86	48,09	0,45	157,97	84,10	0,46
		43,73	0,42			
		6,93	0,12			
37	169,45	91,74	0,50	157,58	126,31	0,83
38	192,05	100,77	0,94	177,31	91,64	1,06
		102,37	1,83		145,85	1,06
		177,09	2,82			
39	207,38	126,50	0,93	183,49	110,15	0,84
40	290,73	211,54	1,10	225,27	143,49	0,52
41	261,31	55,21	0,37	221,20	43,34	0,31
		81,21	0,49		68,20	0,71
		96,37	0,99		29,66	0,45
42	221,58	95,66	0,46	212,23	56,80	0,28
		72,00	0,42		92,35	0,98
		79,60	0,85		93,55	1,39
43	246,76	142,43	0,93	221,01	158,10	0,95
44	192,06	70,85	0,90	186,47	96,46	0,80
		74,50	0,61		84,42	1,14
					78,38	1,15
45	215,26	143,47	0,78	198,46	110,28	0,56

Tabla A.2.5: Valores de masa anhidra y volumen saturado medidos por probeta

No Año	Orientación cardinal Norte						Orientación cardinal Sur					
	P ₁		P ₂		P ₃		P ₁		P ₂		P ₃	
	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)
1	7,6	17,7	26,9	51,8	45,5	73,9	6,1	14	14,4	29,1	44,3	71,4
2	8,9	20,9	29,7	56,9	60,5	93,4	8,4	19,5	14,8	29,4	54,3	80,3
3	5,6	13,2	20,7	40	36,1	61,9	7,5	16,4	23,4	40,3	39,9	63,7
4	5,5	11,9	15,4	31,4	34,2	59,6	6,5	13,6	20,6	34,3	34	52,5
5	5,9	11,8	17,9	32,2	18	26,8	8,1	14,5	23,9	38,9	44,2	65,6
6	5,4	12,1	16,1	33,4	37	62,8	4,9	11,2	16,2	33,2	35,4	59
7	7,3	13,2	26,6	48,5	46,5	76,3	6,4	13,2	18,4	33,9	33,6	53,4
8	7	14,6	27,9	51	54,6	84,4	10,4	22,5	28,8	52,8	60,4	90
9	10,1	20,9	28,9	57,6	47,5	82,5	3,6	7,1	21,7	39	34,5	56,3
10	6,4	13,5	17,1	30,5	25,1	42	9,1	17,3	23,7	40,1	18,2	30,1
11	5,1	9,8	14,7	26,1	25,1	39,4	3,1	6	8,3	14,9	16,7	27,5
12	8,2	17,3	19,8	38,1	46,6	75,5	4	8,5	15,5	29,5	29,9	51
13	7,6	16,5	21,2	39,6	38,2	61,8	5,2	11,5	13,4	22,5	26,8	44
14	5,6	11,5	27,3	55,3	54,6	94,8	5,1	10,7	13,8	26	24,5	41,1
15	6,1	14,4	19,5	39,8	39,6	66,5	4,7	9,1	13,1	24,5	27,4	44,3

Referencias: Probetas correspondientes a una posición interna cercana a la médula (P₁), intermedia en el radio (P₂) y más externa cercana a la corteza (P₃)

Abeto	Orientación cardinal Norte						Orientación cardinal Sur					
	P ₁		P ₂		P ₃		P ₁		P ₂		P ₃	
	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)
16	5,8	12,8	18,5	34,5	32	53,4	5,8	13	15,4	28,3	29,8	47,6
17	3,6	8,1	17,2	34,3	31,3	52,4	5,3	10,8	22,4	33,8	33,1	48,3
18	5	10,9	16,2	31,1	41,1	66,3	4,7	9,3	29,2	47,3	52,1	87,9
19	5,5	12,4	14,4	25,8	23,9	41,3	6,2	15,8	14,7	29,5	34,3	62,6
20	10,1	20,7	30,4	52	44,5	73,4	11,6	23,2	23,7	41,9	42,8	71,1
21	3,7	8,3	16,3	23,1	19,2	31,4	5,6	12,2	15,4	29,3	25,3	42
22	16,2	35,9	45,8	92,5	96	157,3	9,5	17,5	24,9	43,8	40,1	66
23	8,1	17,3	31	54,3	55,3	89,2	9,8	20,2	30,5	53,9	50,6	82,9
24	7,9	16,4	30,1	53,6	52,6	82,1	6,9	15	22,8	43	40,9	64,7
25	9,4	18,6	18,2	32,2	27,1	44,4	9	18,7	23	40,5	40,2	63,6
26	10,1	22,8	29,9	58,4	54,2	93,7	6,5	14,1	16	31,2	31,5	53,9
27	5,9	13,1	15,3	34	28,3	53,1	5,2	10,8	12,7	23,2	19,9	34,9
28	8,7	18,6	24,7	48,5	45,7	75,1	3,6	7,5	8,5	17,1	18,9	30,5
29	6,7	13,8	14,8	29,1	26,7	45,1	5,2	11,2	14,8	28	28,5	46,5
30	4,1	8,2	14,2	26,6	30,8	50,6	4,5	7,8	9,6	14,8	14,6	23,9

Referencias: Probetas correspondientes a una posición interna cercana a la médula (P₁), intermedia en el radio (P₂) y más externa cercana a la corteza (P₃)

Árbol	Orientación cardinal Norte						Orientación cardinal Sur					
	P ₁		P ₂		P ₃		P ₁		P ₂		P ₃	
	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)	Masa seca (g)	Volumen verde (cm ³)
31	8,7	17,9	35,9	71,6	61,5	107,4	5	10,3	28,9	54,7	49,4	83,9
32	4,2	8,6	27,5	42,3	44	62,5	5,7	11,9	18,7	30,5	30,2	46,9
33	3,9	8	11,4	22,1	22,6	39,6	7,1	14,7	21,1	38,3	32,3	55,5
34	8,7	17,6	27,7	47,3	42,2	69,7	8,9	18,3	22,2	39,9	32,9	54,2
35	7,8	17,9	17,6	34,3	33,6	55,2	6,8	15	31,2	57	57,7	92,8
36	4,3	9,5	11,6	24,7	18,9	34,7	4,3	9,3	11,4	22,7	21	38
37	4,2	8,9	10,5	19	19,2	31,5	3,8	7,1	10,3	17,7	18,7	29,5
38	3,4	7,3	10,1	19,2	20,2	30,7	5	10,7	13,1	23,7	22,9	32,9
39	4,5	10,1	12	24,8	23,6	44,8	3,2	7,6	7,7	16,9	22,6	40,8
40	6,5	13,2	17,9	35,9	31,1	50,3	7,3	15,3	22,8	42,3	45,9	69,5
41	6	14,2	15,4	28,4	20,5	36,6	6,8	14,4	20	36,8	33,3	58,7
42	4,1	8,7	11,1	20,7	25,4	40,6	6,4	12,2	21,6	38,4	45,3	70,5
43	6,2	14,2	18	36,7	35,1	60,6	8	17,4	20,4	40	42,8	72,1
44	3,9	7,7	12,3	23	19,9	34,7	4,6	9,3	13,6	26,5	19,9	35,1
45	8,1	17,9	17,3	34,6	25	45,1	9,2	20,6	16,6	34,6	31,3	57,8

Referencias: Probetas correspondientes a una posición interna cercana a la médula (P₁), intermedia en el radio (P₂) y más externa cercana a la corteza (P₃)

Tabla A.2.6: Valores de contracción lineal máxima medidos en probetas en dirección tangencial y radial por árbol y orientación cardinal

Árbol	Orientación cardinal Norte		Orientación cardinal Sur	
	$C_{max_{TG}}$ (%)	$C_{max_{RD}}$ (%)	$C_{max_{TG}}$ (%)	$C_{max_{RD}}$ (%)
1	13,90	8,50	13,66	7,50
2	12,44	8,08	12,39	8,40
3	12,34	6,29	12,46	8,25
4	13,15	8,38	15,82	6,77
5	12,71	5,44	14,10	7,87
6	11,80	5,79	13,75	6,16
7	16,41	7,33	15,26	8,80
8	11,07	7,04	12,06	6,79
9	11,27	6,57	11,57	6,59
10	11,76	5,39	13,11	6,75
11	13,40	7,23	13,17	7,59
12	10,09	5,88	10,60	7,05
13	14,48	5,76	14,19	6,26
14	14,12	7,49	14,64	8,28
15	10,98	4,29	11,86	5,21
16	7,42	7,47	8,30	8,28
17	10,38	5,37	12,22	7,80
18	12,10	7,33	15,15	7,53
19	13,49	7,80	12,75	7,49
20	12,74	6,00	14,01	6,87
21	12,82	8,28	12,79	6,25
22	19,16	8,75	15,15	8,95
23	11,45	8,42	11,67	8,64
24	12,28	7,74	11,45	7,41
25	12,73	7,64	15,80	6,94
26	11,62	6,79	15,57	6,40
27	14,98	5,58	14,82	7,40
28	14,84	6,90	13,88	7,42
29	11,74	5,48	12,87	6,99
30	13,96	7,37	13,96	7,45
31	12,94	6,14	14,04	5,84
32	15,41	8,08	13,61	7,68
33	10,86	7,00	10,87	6,81
34	10,49	5,11	11,80	4,93
35	12,24	5,57	14,78	7,92
36	11,06	7,43	12,11	7,19
37	11,99	8,26	12,58	9,49
38	14,60	6,55	14,67	9,18
39	10,56	4,91	11,84	7,23
40	10,79	6,23	13,64	7,37
41	10,94	6,37	14,14	6,58
42	11,55	7,09	11,45	6,36
43	11,97	5,81	11,50	5,56
44	13,82	7,86	10,88	7,16
45	11,99	6,57	11,99	6,21

Tabla A.2.7: Dimensiones de los rollizos obtenidos por árbol

Árbol	Largo (cm)	Diámetro con corteza del extremo inferior (cm)	Diámetro con corteza del extremo superior (cm)
1	201	23,1	23,0
2	197	28,3	24,7
3	201	25,9	25,4
4	201	27,4	24,3
5	201	23,6	23,0
6	202	27,9	25,3
7	200	24,7	22,9
8	200	28,9	26,0
9	204	25,8	23,7
10	198	24,0	22,0
11	200	24,5	21,4
12	201	27,1	22,7
13	203	27,4	24,9
14	201	25,7	22,8
15	201	29,3	24,7
16	201	29,5	26,8
17	201	30,4	29,3
18	201	26,2	22,7
19	201	24,8	22,7
20	198	32,2	29,0
21	202	24,3	21,0
22	201	29,5	28,0
23	200	28,6	25,1
24	200	28,6	25,0
25	201	27,1	25,5
26	199	27,4	24,4
27	201	28,3	26,5
28	201	27,5	25,2
29	201	22,4	21,5
30	206	25,8	23,1
31	201	28,0	26,9
32	202	27,5	24,5
33	198	26,9	26,8
34	196	21,6	20,8
35	199	31,0	29,6
36	199	19,9	17,0
37	194	19,1	16,7
38	197	22,1	19,4
39	201	22,2	20,3
40	198	27,9	25,6
41	196	28,3	25,8
42	201	24,0	21,2
43	200	26,7	25,4
44	200	21,4	21,3
45	202	24,1	22,1

Tabla A.2.8: Ancho, longitud de tablas y longitud y número de rajaduras de las piezas aserradas

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
1	1	17,5	201	9	7		
1	2	17,5	201	9	10		
1	3	17,5	201	7	17		
1	4	17,5	201				
1	5	8	201				
2	6	18	195,5				
2	7	18	195,5	9	9,5		
2	8	17,9	196,5	23	38		
2	9	17,8	196,5	47	10		
2	10	9	197	5	6,5	17	13
2	11	9	197	15	7	12	11
2	12	17,5	197	10			
3	13	18	201				
3	14	18	201	26	10		
3	15	18	201				
3	16	18	201				
3	17	9	201				
4	18	17,5	201,5				
4	19	17	200,5	5			
4	20	17,5	201,3	7	9		
4	21	17,5	201	9			
4	22	17	200,5				
4	23	9	200,5				
5	24	17,5	200,5	10			
5	25	17,5	200,5				
5	26	17,5	200,5				
5	27	17,5	200,5	6,5			
5	28	8,5	200,5				
6	29	17,5	201,5	15			
6	30	17,5	201,5	11			
6	31	18	201	10			
6	32	9	201	17			
6	33	9	201				
6	34	8	200,5				
7	35	17,5	200				

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
7	36	17,5	200	24	42		
7	37	17,5	200	24			
7	38	17,5	200				
7	39	17,5	200				
8	40	18	200				
8	41	18	200	11	15		
8	42	18	200	8	7	8	
8	43	18	200	12			
8	44	18	200				
8	45	18	200				
9	46	17,5	202	6	4		
9	47	17,5	203	6,5	5,5		
9	48	17,5	202,5	5	7,3	11,5	
9	49	17,5	203	7			
9	50	9	203,5				
10	51	17	198	6,5			
10	52	17,5	198	10	5		
10	53	17,5	198	20	8,5		
10	54	17,5	198	8	4		
10	55	16	198				
11	56	17,8	199,9	10,5	28	3	
11	57	17,8	199,5	10	8	6,5	
11	58	17,5	200	10	4,5	11,5	
11	59	17,8	200	9	5,5		
11	60	17,5	199,5				
12	61	17,5	200,5	8	10,5		
12	62	17,5	200,5	6	11		
12	63	17,5	200,5	10	17		
12	64	17,5	200,5	8,5			
12	65	17,5	200,5	6	3		
13	66	17	203	3	7		
13	67	17,5	203	8	7		
13	68	17,5	203	15			
13	69	17,5	203	22,5	7,5	4	
13	70	17	203	7	7		

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
13	71	17,5	203				
13	72	9	203				
14	73	15,5	200,5				
14	74	15,5	200	10			
14	75	15,5	200	4,5	10		
14	76	15,5	200	5			
14	77	7,75	200				
14	78	15	200				
15	79	17,5	201				
15	80	18	201	12			
15	81	18	201	8			
15	82	18	201	15	16		
15	83	17,5	201				
15	84	17,5	201				
16	85	18	200,5	11	4		
16	86	18	200,5	14	12	12,5	
16	87	17,5	200,7	12	18,5		
16	88	17,5	200,5	20	12,5		
16	89	17,5	200,5	15	16		
16	90	9	200,5				
17	91	17,5	201				
17	92	17,5	201				
17	93	17,5	201				
17	94	17,5	201	11,5	10		
17	95	17,5	200,5	9	4		
17	96	17,5	200	7			
17	97	17,5	199				
18	98	17,5	200,5				
18	99	17,5	200	12	9		
18	100	17,5	199,5	29,6	4,5		
18	101	17,5	200	20,5	13		
18	102	9	200				
19	103	12	201				
19	104	16,5	201				
19	105	16,5	201	11			

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
19	106	16,5	201				
19	107	16,5	201	13	14		
20	108	18	194,5				
20	109	17,5	195,5				
20	110	17,5	195,5	7	8		
20	111	18	196	9	4	6	
20	112	18	196,5				
20	113	18	197				
20	114	9	198				
21	115	16	202				
21	116	16	202	5			
21	117	16	202	9	10		
21	118	16	202	7	10		
21	119	16	202				
22	120	17,5	200	10			
22	121	18	200	12			
22	122	18	201	11,5	12		
22	123	17,5	200	7,5	6	7,5	
22	124	17,5	200	8			
22	125	17,5	200	8			
23	126	17,5	200				
23	127	17,5	200				
23	128	18	199,3	8	6,5		
23	129	18	199,5	9	5	6	
23	130	18	199,5	8			
23	131	18	199,5				
23	132	9	199,3				
24	133	17,5	199				
24	134	17,5	199,5	9	8		
24	135	17,5	199				
24	136	17,5	200	8	4	9	
24	137	18	200				
24	138	9	199				
25	139	13,5	201				
25	140	18	201				

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
25	141	18	201	10,5	8	14	
25	142	18	201	32	9		
25	143	18	201				
25	144	17,5	201				
26	145	17,5	199	3			
26	146	17,5	198,5				
26	147	17,5	198,5				
26	148	17,5	198	11			
26	149	17,5	199	5			
26	150	8,75	199				
27	151	9	200,5				
27	152	17,9	200,5	10,5			
27	153	17,5	201	10			
27	154	18	201	12			
27	155	17	201				
27	156	8,5	201				
28	157	15,5	200,5				
28	158	8	200,5				
28	159	15,5	200,5	21			
28	160	15,5	200	6	24		
28	161	15,5	200				
29	162	15,5	201	10			
29	163	15,5	201	10			
29	164	15,5	201	7	9		
29	165	15,5	201				
29	166	15,5	201				
30	167	16,5	205,5				
30	168	16,5	205,5				
30	169	17,5	200				
30	170	17,5	200	9	2	8	
30	171	16,5	200	7			
31	172	18	200	7			
31	173	18	200,5				
31	174	18	200,5				
31	175	18	200,5	8,5			

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
31	176	18	201				
31	177	18	201				
31	178	18	201				
32	179	18	202	13,5	21		
32	180	18	202	11,5	23,5	15	
32	181	18	202	18	7	22	
32	182	17,5	202	20	20		
33	183	18	196,5	10			
33	184	18	197,5	11			
33	185	18	196	7,5	16		
33	186	18	196,5	10	8,5		
33	187	9	196,5				
34	188	8	195,5				
34	189	15,5	194,5				
34	190	15,5	194	8,5	7,5		
34	191	15,5	194	5	6		
34	192	8	194				
35	193	18	199				
35	194	17,5	199				
35	195	17,5	199	12	31		
35	196	17,5	199				
35	197	17,5	199				
35	198	9	199				
36	199	10	198,5	4	5		
36	200	10	198,5	7	5		
36	201	10	198,5				
36	202	10	198,5				
37	203	11	193				
37	204	11	194				
37	205	11	193,5				
37	206	11	193,5				
38	207	14,5	195,5	20			
38	208	15,5	197	22,5			
38	209	15,5	196	19,5			
38	210	7,5	196				

Árbol	Identificación de tabla	Ancho (cm)	Largo (cm)	Rajadura (cm)			
				1	2	3	4
39	211	15,5	200,5	9	10		
39	212	15,5	200,5	10			
39	213	15,5	200,5	11,5			
39	214	15,5	200,5	4			
39	215	13,5	200,3				
40	216	17,5	196,5	8	8,5		
40	217	18	196,5	9			
40	218	17,5	196,5	6			
40	219	17,5	196,5	7,5			
40	220	17,5	197,5				
41	221	17	194,5	12	6,5		
41	222	17	195	10,5	6		
41	223	17	195	10,5			
41	224	17	195	10			
41	225	17,5	196				
42	226	16	200,5	18,5	6		
42	227	16	201	8	9		
42	228	15,5	201	8	9,5		
42	229	15,5	201	8,5	4	9	
42	230	7,75	201				
43	231	18	199,6	5			
43	232	17,5	199,5	12	12		
43	233	17,5	199,5	14	13		
43	234	17,5	199,5	12	10		
43	235	17,5	199,5				
43	236	17,5	199,5	6	4		
44	237	15,5	199	10	9		
44	238	16	198,5	25	10		
44	239	16	200	9	13	12	
44	240	16	199	5			
44	241	8	199				
45	242	15	202	5	4,5		
45	243	15	202	10,5	4		
45	244	14,5	202	11	10		
45	245	14,5	202	5			
45	246	15	201,5				

ANEXO 3: VALORES PROMEDIO PARA LAS VARIABLES DEL ESTUDIO

Tabla A.3.1: Valores promedio por árbol para las variables consideradas

Árbol	HgCI	GSI	IR	Db	β	Cmax _{TG}	Cmax _{RD}	Cmax _{VOL}	IRT
1	0,52	0,078	0,504	0,561	0,186	13,78	8,00	21,78	29,21
2	1,72	0,098	0,613	0,588	0,234	12,42	8,24	20,66	85,81
3	1,14	0,124	0,644	0,572	0,164	12,43	6,07	18,5	17,82
4	1,38	0,078	0,426	0,622	0,141	12,40	7,27	19,67	12,38
5	0,92	0,05	0,544	0,543	0,143	14,49	7,57	22,06	8,21
6	1	0,086	0,528	0,566	0,153	13,41	6,66	20,06	21,83
7	1,31	0,062	0,143	0,582	0,1	12,78	5,97	18,75	45
8	0,58	0,112	0,803	0,6	0,188	15,83	8,06	23,9	25,42
9	0,73	0,057	0,181	0,555	0,099	11,57	6,92	18,49	25,7
10	0,54	0,048	0,423	0,574	0,101	11,42	6,58	18	31,63
11	0,45	0,075	0,584	0,59	0,104	13,29	7,41	20,7	53,35
12	0,97	0,081	0,242	0,564	0,129	10,34	6,47	16,81	39,8
13	2,358	0,131	0,597	0,574	0,157	14,33	6,01	20,35	30,51
14	1,39	0,042	0,191	0,547	0,104	14,38	7,88	22,27	12,29
15	0,93	0,08	0,269	0,556	0,137	11,42	4,75	16,17	21,04
16	1,35	0,106	0,635	0,566	0,163	7,86	7,87	15,73	61,13
17	0,64	0,066	0,18	0,601	0,174	11,30	6,58	17,88	14,73
18	1,68	0,092	0,354	0,587	0,124	13,62	7,43	21,05	44,34
19	1,82	0,093	0,513	0,528	0,145	13,12	7,64	20,76	18,81
20	0,85	0,071	0,524	0,578	0,11	13,37	6,44	19,81	12,65

Referencias: Índice de competencia individual de Hegyi (HgCI), indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado en rolizo (IR), densidad básica promedio por árbol (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β), contracción lineal máxima en dirección tangencial (Cmax_{TG}), contracción lineal máxima en dirección radial (Cmax_{RD}), contracción volumétrica total (Cmax_{VOL}), índice de rajaduras para las tablas aserradas por rolizo (IRT).

Árbol	HgCl	GSI	IR	Db	β	CmaxTG	CmaxRD	CmaxVOL	IRT
21	1,17	0,045	0,154	0,598	0,034	12,80	7,26	20,06	20,1
22	0,09	0,092	0,39	0,563	0,112	17,16	8,85	26,01	34,3
23	0,95	0,045	0,175	0,583	0,138	11,62	8,53	20,16	15,25
24	0,66	0,091	0,226	0,587	0,166	11,86	7,57	19,44	15,9
25	1,79	0,066	0,482	0,582	0,128	14,26	7,29	21,55	30,32
26	1,34	0,069	0,253	0,541	0,129	13,59	6,59	20,19	8,03
27	0,77	0,06	0,316	0,516	0,086	14,90	6,49	21,39	13,43
28	1,05	0,069	0,342	0,558	0,14	14,36	7,16	21,52	25,44
29	1,54	0,065	0,249	0,557	0,128	12,31	6,23	18,54	17,82
30	0,74	0,064	0,302	0,59	0,071	13,96	7,41	21,37	12,86
31	0,57	0,072	0,184	0,548	0,095	13,49	5,99	19,48	5,51
32	1,4	0,131	1,322	0,643	0,19	14,51	7,88	22,39	105,08
33	0,98	0,073	0,501	0,552	0,091	10,86	6,91	17,77	32,62
34	1,34	0,04	0,241	0,577	0,116	11,15	5,02	16,16	14,32
35	0,74	0,106	0,282	0,568	0,171	13,51	6,74	20,25	18,1
36	1,52	0,054	0,185	0,515	0,091	11,58	7,31	18,89	13,32
37	1,26	0,072	0,372	0,587	0,118	12,28	8,88	21,16	0
38	1,39	0,138	1,866	0,6	0,21	14,64	7,87	22,5	40,28
39	1,3	0,059	0,35	0,508	0,107	11,20	6,07	17,27	22,14
40	0,72	0,071	0,268	0,581	0,155	12,21	6,80	19,01	20,18
41	1,27	0,057	0,242	0,539	0,116	12,54	6,47	19,01	29,2
42	0,36	0,058	0,519	0,596	0,136	11,50	6,72	18,22	39,9
43	1,07	0,05	0,334	0,541	0,138	11,73	5,68	17,42	36,85
44	1,61	0,109	0,669	0,544	0,07	12,35	7,51	19,86	46,9
45	0,74	0,057	0,255	0,51	0,098	11,99	6,39	18,37	24,52

Referencias: Índice de competencia individual de Hegyi (HgCl), indicador de tensiones de crecimiento (GSI), índice de rajado en rolizo (IR), densidad básica promedio por árbol (Db), tasa de cambio radial de la densidad básica (β), contracción lineal máxima en dirección tangencial (CmaxTG), contracción lineal máxima en dirección radial (CmaxRD), contracción volumétrica total (CmaxVOL), índice de rajaduras para las tablas aserradas por rolizo (IRT).

ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS

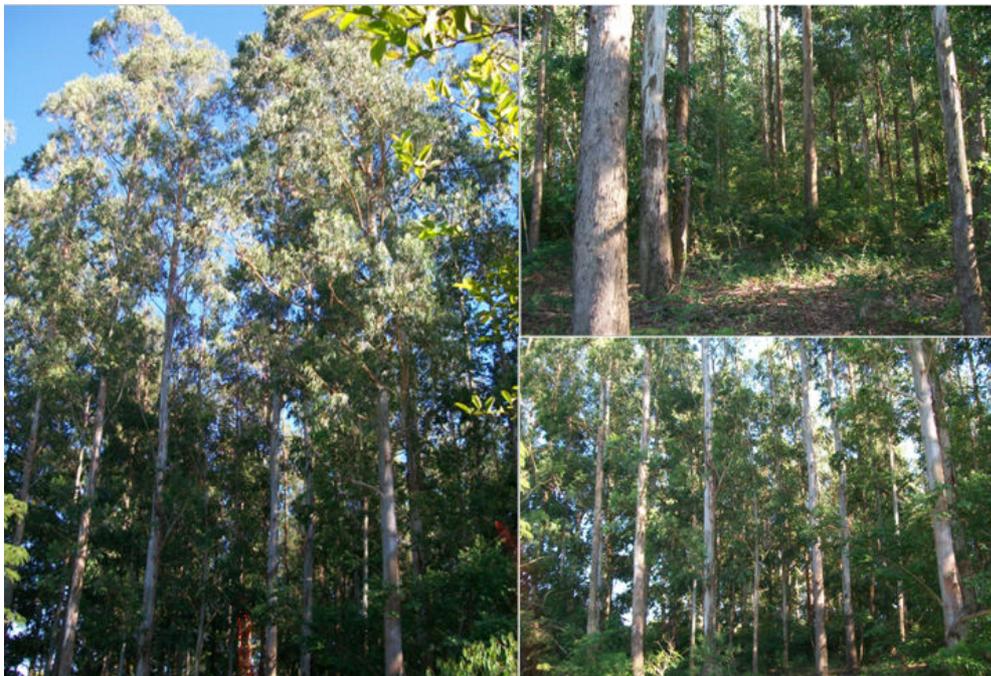


Figura A.4.1: Vista del ensayo de procedencias y familias de E. dunnii



Figura A.4.2: Caras transversales de rollizos con diferente nivel de intensidad de estrellado.



Figura A.4.3: operaciones de carga, descarga y aserrado de rollizos.



Figura A.4.4: Pasos realizados en la medición de dimensiones de tabla, número y largo de rajaduras de cabeza.



Figura A.4.5: Rodajas utilizadas para la confección de probetas y determinación de propiedades físicas