

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**

**Propiedades xilotecnológicas de *Acacia melanoxylon*  
implantada en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires -  
Argentina.**

**Dora Virginia Igartúa**

**Juan Carlos Jesús Piter (Director)**

**Silvia Estela Monteoliva (co-Directora)**

***TESIS DOCTORAL***

**La Plata, Noviembre de 2013**

## AGRADECIMIENTOS

---

*A Juan Carlos Piter y a Silvia Monteoliva por su orientación y su apoyo incondicional en todos los momentos. Apoyo intelectual y afectivo, en todos los momentos.*

*A José Canale, Jorge Sánchez, Carlos Rai y Oscar Suárez por permitir y facilitar la tarea de investigación en las masas forestales de sus establecimientos.*

*A mi esposo Marcelo Elizalde por su colaboración paciente y su contención, siempre.*

*Al acompañamiento amoroso de mi hijo, mis amigos y mi colaboradora Karen.*

*A Marcelo*

*RESUMEN*

---

Desde hace unos años, la provincia de Buenos Aires (Argentina) registra cierto desabastecimiento en maderas y elevación de sus precios. La región sudeste de la provincia cuenta con un recurso forestal de *Acacia melanoxylon* R. Br que hasta el momento no ha sido caracterizado en términos dasométricos ni en lo relativo a la aptitud tecnológica de su madera. Este recurso podría formar parte de la oferta del mercado regional de madera de calidad para usos sólidos relacionados con la industria de la construcción y del mueble.

Esta Tesis tuvo como objetivo general caracterizar las propiedades xilotecnológicas de *Acacia melanoxylon* implantada en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, en vista a su empleo como madera sólida en el mercado regional de maderas. Para ello se desarrolló una investigación en base al muestreo de cuatro poblaciones locales de la especie implantadas en diferentes sitios, sobre las que se desarrollaron dos tipos de evaluaciones, una en el campo de la Dasometría y otra en el campo xilotecnológico. Con la primera, se investigaron la composición y estructura de las masas forestales correspondientes a las parcelas de estudio, así como su volumen comercial y su crecimiento medio anual. Con la segunda se investigaron: la estructura anatómica, las dimensiones celulares, el contenido de duramen, la composición química, las propiedades físicas (densidad básica, densidad normal, contracción e hinchamiento lineales máximos, anisotropía, coeficiente de contracción y Punto de Saturación de las Fibras, variación del contenido de humedad en secado natural), y las propiedades mecánicas (en flexión estática, en compresión perpendicular y paralela a las fibras, en corte paralelo, dureza). Se analizaron las variaciones de las características de la madera entre los diferentes sitios y dentro del fuste de los árboles (en sentido axial y radial). Se determinaron las relaciones lineales de las propiedades de la madera con la tasa de crecimiento y con la edad de los árboles. Por otra parte interesó conocer las relaciones de la densidad con el resto de las propiedades anatómicas y físicas, con la dureza y con el comportamiento resistente y elástico de esta madera.

Se desarrolló una analogía climática entre la región sudeste de la provincia de Buenos Aires y la región de origen (Australia). En general, la región ofrece condiciones climáticas y edáficas apropiadas para el desarrollo de la especie. Se reconocieron diferentes calidades de sitio debido a distintas condiciones de protección, de profundidad de suelos y de limitaciones de drenaje. El crecimiento de la especie, esto es, su tamaño, sus existencias en volumen y sus tasas de crecimiento, variaron entre los sitios. El recurso, se caracterizó por una estructura desuniforme de edades que puede ofrecer, a través de sus clases diamétricas superiores (25-30 cm de diámetro a la altura del pecho), rollizos comerciales de entre 6,5 m y 11 m de longitud y de una alta cilindridad.

La descripción anatómica general macro y microscópica, coincidió con la hallada por otros autores para la especie, observándose líneas oscuras dentro del duramen, que podrían estar asociadas a la presencia de madera de tensión. Las dimensiones celulares promedio fueron: longitud de fibras, 656,5 $\mu$ ; espesor de pared de las fibras, 2,17 $\mu$ ; lumen de las fibras, 8,3 $\mu$ ; ancho de las fibras, 12,9  $\mu$ ; vasos pequeños, 69,25 $\mu$  de diámetro y poco numerosos, 5/mm<sup>2</sup>. Esto proporciona una textura fina y permite inferir que esta madera logrará un buen acabado superficial por cepillado, lijado y lustre.

La madera del recurso local presentó duramen a lo largo de todo el fuste comercial y en todos los árboles, cuyo contenido fue del 53-51% de su volumen comercial. Esto resultó una proporción similar, y aún mayor que lo informado en plantaciones ordenadas de Australia y Nueva Zelanda.

La composición química promedio (sobre madera seca total, referido a madera original) resultó típica de una angiosperma dicotiledónea de color oscuro, con una destacada variabilidad entre árboles respecto a los extractivos. Resultaron mayores los contenidos de extraíbles en agua caliente (8,4%) (compuestos fenólicos) que en alcohol-tolueno (6,1%) (ceras, aceites, resinas). La proporción de lignina insoluble (25,1%) fue igual o mayor que lo informado por otros autores en la especie.

La densidad de la madera (densidad normal: 600 kg/m<sup>3</sup> y densidad básica: 517 kg/m<sup>3</sup>) se ubicó en el rango indicado por otras investigaciones para la especie, con importante

variación entre árboles. A lo largo del fuste, se presentaron árboles igualmente densos en todas sus alturas o con la base más densa. A lo ancho del fuste, la zona ubicada alrededor de la médula resultó menos o igualmente densa que el resto.

Ni los contenidos de duramen y de extractivos, ni el tamaño de las células se mostraron relacionados con la variación en la densidad de esta madera. En cambio sí se relacionó la densidad con la edad de los árboles, que estuvo comprendida en el rango 9-32 años.

La madera registró valores promedio de contracción (radial, 3,55%; tangencial, 6,63%) e hinchamiento (radial, 3,69%; tangencial, 7,13%) lineales máximos similares a lo informado para la especie, con una anisotropía levemente inferior a 2 (1,9). Los cambios en dirección radial fueron menores en la región basal de los fustes, sin influencia de la posición médula-corteza. Contrariamente, los cambios en dirección tangencial fueron mayores en la base con valores mínimos en tejidos cercanos a la médula.

Se registraron valores de resistencias en flexión (90 MPa), en compresión paralela (45 MPa) y perpendicular (12 MPa), en corte (12 MPa), así como del módulo de elasticidad en flexión (10926 MPa) y de la dureza (45 MPa), que son los esperados para una madera de densidad media y pueden considerarse adecuados para maderas de uso estructural y no estructural.

La región basal de los fustes, hasta el 30% de la altura total, resultó uniforme en relación a la densidad, al contenido de duramen, a los cambios dimensionales y a las propiedades mecánicas. Esto conduce a una homogeneidad de la troza de mayor rendimiento en aserrado, muy valorada en relación a su uso final como materia prima.

En la madera investigada se manifestó una correlación destacada (coeficientes de correlación del orden de 0,6 - 0,75) de la densidad con la contracción e hinchamiento lineales máximos y con el coeficiente de contracción dimensional. Asimismo lo fue la relación entre la densidad y las propiedades resistentes, las de rigidez y la dureza, con coeficientes de correlación ubicados en el rango 0,83-0,93.

En secado natural, iniciado en el otoño, la madera alcanzó en ocho meses la estabilización del contenido de humedad con un valor de equilibrio higroscópico del

12%. El proceso de secado natural estuvo asociado a la presencia de grietas de cara y de cabeza predominantemente pequeñas (<50 mm de longitud) y de rajaduras predominantemente largas (100-400 mm) localizadas en el tejido correspondiente a la médula.

Predominaron los nudos de cara, redondos, pequeños y muy pequeños (5-19 mm de diámetro promedio), firmes y sanos, localizados principalmente en la región central de las tablas. El material presentó una ligera desviación de las fibras (4,64%). La región basal de los fustes resultó con menor desviación respecto a la superior (3,7% vs. 6,2%).

Según la investigación dasométrica, las cuatro poblaciones se desarrollaron en diferentes calidades sitios y se diferenciaron en las dimensiones celulares, en el contenido de duramen, en la composición química y en la densidad de la madera. Consecuentemente, también lo hicieron respecto a los cambios dimensionales y comportamiento mecánico de la madera. Sin embargo, dada la desuniformidad en edades y el desconocimiento de las procedencias geográficas del material original de estos poblamientos, la evaluación del condicionamiento que los sitios ejercen en la manifestación de los atributos tecnológicos puede estar limitada en alguna medida, lo que será necesario investigar en adelante.

La investigación desarrollada permite recomendar el uso de la madera del recurso regional de *A. melanoxylon* para muebles, pisos aptos para tránsito de mediana intensidad, revestimientos, chapas y láminas para paneles, molduras, carpintería rural, productos de madera corta (mangos de herramientas), entre otros. Se la puede considerar como un material de buena trabajabilidad que logrará un adecuado acabado superficial. Sin embargo, el recurso regional actual está ofreciendo como máximo piezas de aserrío de 25-30 cm de ancho, con alta población de nudos y alta probabilidad de contener la médula, las cuales son limitantes a superar con el análisis, planificación y ejecución de pautas de ordenación forestal para el recurso.

**Palabras clave:** *Acacia melanoxylon*; densidad de la madera; anatomía de la madera; duramen y albura; composición química de la madera; cambios dimensionales; propiedades mecánicas de la madera; defectos de la madera; secado natural de la madera.

*ABSTRACT*

---

For some years, the province of Buenos Aires (Argentina) has experienced a shortage of supplies in sawn timber which has been accompanied by an increase of the prices. *Acacia melanoxylon* R. Br. (“Blackwood”) is an forest resource in the southeast region of the province (hereafter SEPBA). However, up to the present it has not been characterized in terms of forest inventory and technological properties. This resource could also fulfil the quality levels required by the local market in relation to building and furniture applications.

This Thesis was aimed at characterizing the sawn wood of *Acacia melanoxylon* R. Br. and, for this purpose, an empirical project based on the analysis of trees randomly selected from four different sites was carried out. Two main topics of the sampled material were studied: the forest inventory of the selected trees plantations and the wood technological properties. In relation to the first one, the research focused on the forest structure and composition as well as on the commercial volume and average annual growth of the trees. In relation to the second one, the study focused on the following topics: anatomical structure, cellular dimensions, heartwood and sapwood percentages, chemical composition, and the main physical and mechanical properties. In particular, the property variations and the relationship between the main physical and mechanical properties were studied.

Climate and soil characteristics were analysed in the four sites where the samples of Blackwood were collected and the results were compared to those reported for the native region of the species (Australia). Even though with differences, the sites revealed suitable conditions for the growth of the species, the differences being mainly related to the natural drainage and protection as well as the soil profile. Within and between sites the trees exhibited different ages and sizes. Commercial logs with a diameter -at breast height- ranging from 25 cm to 30 cm and a length ranging between 6,5 m and 11 m were found.



Both the macro and microstructure of the investigated material were in line with results reported by other researchers. Dark lines were observed in the heartwood, which may be associated with the presence of tension wood. The average cellular dimensions were: fiber length, 656.5 $\mu$ ; thickness of the fibre wall, 2.17 $\mu$ ; fiber lumen, 8.3 $\mu$ ; fiber width, 12.9 $\mu$ ; vessel diameter, 69.25 $\mu$ ; vessel frequency (5/mm<sup>2</sup>). These values allow inferring that this wood may easily acquire a smooth and shine finish by means of planing, sanding and polishing. 53-51 % of the commercial volume in the analysed material was composed by heartwood. These percentages are slightly higher than those reported for the same species grown in Australia and New Zealand. The chemical composition of the wood was in line with the typical one reported for hardwoods of dark colour exhibiting a high variability of extractives between trees. The presence of water extractives (8.4%) was higher than that of alcohol-toluene extractives (6.1%). The presence of insoluble lignin (25.1%) was similar to that published for the same species grown in other countries.

Density exhibited mean values (normal density at 12% MC: 600 kg/m<sup>3</sup> and basic density: 517 kg/m<sup>3</sup>) which are congruent with those previously reported for this timber species. The variability of density was important between trees. However, this variability was moderate within the trees and, as a general trend, higher values were found in both the lower and the outer part of the stems. Density was found to be highly correlated with the age of the analysed trees (from 9 to 32 years old) but this property showed no correlation with the heartwood and extractives percentages, and with the cellular dimensions.

Both the maximum linear shrinkage (radial: 3.55%; tangential: 6.63%) and the maximum linear swelling (radial: 3.69%; tangential: 7.13%) were similar to those reported for the same species of other sources. Anisotropy slightly lower than 2 (1.9) - expressed as the relation of tangential to radial movements- was found. The radial movements were lower in the basal area of the tree and no influence of the distance to the pith was registered. Contrarily, the tangential movements were higher in the basal area and they increased with increasing distance to the pith.

Strength mean values of 90 MPa, 45 MPa, 12 MPa and 12 MPa were obtained for bending, compression parallel to grain, compression perpendicular to grain and shear, respectively. The mean value of the modulus of elasticity in static bending reached 10926 MPa and the Janka hardness amounted to 45 MPa. These results are in line with those expected for a medium density wood and they can be considered appropriate for structural and non structural uses.

The basal area of the tree stem -up to 30% of the total height- showed a relatively low variability in relation to density, percentage of heartwood, shrinkage (swelling) and mechanical properties. This behaviour may be considered an important advantage when technical and economic aspects related to the potential uses of the species are concerned.

A relatively high relationship (correlation coefficients ranging between 0.6 and 0.75) was found between density and the dimensional movements. However, a relationship even higher was found between density and the mechanical properties (correlation coefficients ranging from 0.83 to 0.93).

After eight months of air-drying -which began in autumn- under protected external conditions, the boards of the studied species reached equilibrium moisture content (12 %). On the one hand, small cracks (< 50 mm in length) developed upon the air-drying and these defects were mainly situated on the faces and at the ends of the pieces free of pith. On the other hand, greater fissures were found in those pieces exhibiting pith (100-400 mm in length).

The Blackwood wood exhibited round, sound, tight knots with an average diameter ranging between 5 mm and 19 mm and predominantly located in the central zone of the boards. A relatively low slope of grain was registered which ranged from 3.7% at the bottom of the tree to 6.2% at the top.

According to the forest inventory, different conditions for the growth of the species were presented for the four sites selected in this research. Also, different wood properties were exhibited at the four sites.

The results showed that the Blackwood wood may advantageously perform in furniture and building applications such as medium-density floors, coatings, sheets and mouldings, among others. However, the current supply of this material in the regional market should overcome some difficulties related to both the dimensions of the pieces (maximum width: 30 cm) and a relatively high presence of defects such as knots and pith. Since the results of the present research describe the main characteristics of the analysed material, they also may contribute to solve the difficulties by means of an adequate planning of the forest management.

**Key words:** *Acacia melanoxylon*; wood density; wood anatomy; heartwood and sapwood; wood chemical composition; wood dimensional movements; wood defects; wood mechanical properties; air-drying of the wood.

## ÍNDICE

---

1. INTRODUCCIÓN .....	001
1.1. El problema .....	002
1.2. Sobre las propiedades de la madera .....	005
1.3. Hipótesis .....	007
1.4. Objetivos .....	008
2. ANTECEDENTES .....	010
2.1. La especie .....	011
2.1.1. Zona de origen.....	011
2.1.2. Su implantación como exótica.....	013
2.1.3. Requerimientos ecológicos y aspectos centrales de su Silvicultura para la producción de rollizos maderables .....	015
2.2. La madera, un material de origen biológico.....	018
2.2.1. Propiedades de la madera en relación a su calidad como material .....	020
Densidad de la madera.....	020
Anatomía de la madera.....	021
Contenido de duramen .....	022
Composición química .....	024
Cambios dimensionales de la madera .....	027
Propiedades mecánicas .....	029
Defectos de la madera .....	034
2.2.2. Variación de las propiedades de la madera.....	038
2.2.3. Calidad de la madera .....	043
2.2.4. La madera de <i>Acacia melanoxylon</i> .....	044
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	047

3.1. <i>El recurso regional de Acacia melanoxylon</i> .....	048
3.1.1. <i>Selección de los sitios y parcelas de estudio</i> .....	048
3.1.2. <i>Caracterización de los sitios de estudio</i> .....	051
3.1.3. <i>Determinación y análisis del volumen, la estructura,             la composición y el crecimiento de las masas</i> .....	052
3.2. <i>La madera: estudios xilotecnológicos</i> .....	057
3.2.1. <i>Material experimental</i> .....	057
<i>Esquema general de muestreo</i> .....	057
3.2.2. <i>Estructura anatómica, dimensiones celulares y edad</i> .....	060
<i>Obtención de muestras</i> .....	060
<i>Descripción macroscópica</i> .....	060
<i>Descripción microscópica</i> .....	061
3.2.3. <i>Contenido de duramen y de albura</i> .....	062
<i>Acondicionamiento del material</i> .....	062
<i>Mediciones en las rodajas</i> .....	062
<i>Expresión y cálculo de los contenidos de duramen             y de albura</i> .....	063
3.2.4. <i>Composición química</i> .....	065
<i>Obtención y preparación de muestras. Determinaciones</i> .....	065
3.2.5. <i>Propiedades físicas</i> .....	066
<i>Acondicionamiento del material</i> .....	066
<i>Densidad de la madera</i> .....	067
<i>Cambios dimensionales de la madera</i> .....	070
<i>Variación del contenido de humedad en secado natural</i> .....	075
3.2.6. <i>Propiedades mecánicas</i> .....	076
<i>Acondicionamiento del material</i> .....	076
<i>Ensayos</i> .....	077
3.2.7. <i>Defectos</i> .....	082
<i>Nudos</i> .....	084
<i>Grietas y Rajaduras</i> .....	085
<i>Dirección de la Fibra</i> .....	087
3.2.8. <i>Procedimientos estadísticos</i> .....	088

4. RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	096
4.1. Parte 1 - El recurso regional de <i>Acacia melanoxylon</i> .....	097
4.1.1. El origen de las masas .....	097
4.1.2. Caracterización climo-edáfica y paisaje de los sitios de estudio....	097
4.1.3. Superficie y composición de las masas .....	104
4.1.4. Estructura de las masas .....	108
4.1.5. Existencias en volumen comercial de las masas .....	110
Volumen comercial, crecimiento y edad de los Árboles	
Tipo (AT) .....	110
Volumen comercial de las masas .....	116
4.1.6. Principales resultados sobre el recurso regional	
de <i>Acacia melanoxylon</i> .....	119
4.2. Parte 2 - La madera. Estudios xilotecnológicos.....	123
4.2.1. Información dentro-epidométrica de los árboles muestreados.....	123
4.2.2. Estructura anatómica, dimensiones celulares y duramen .....	126
Descripción macroscópica .....	126
Descripción microscópica .....	126
Dimensiones celulares.....	129
Relaciones entre dimensiones celulares, edad y crecimiento .....	134
Contenidos de albura y duramen.....	136
Relaciones entre el contenido de duramen, la edad	
y el crecimiento de los árboles .....	145
4.2.3. Composición química de la madera .....	148
Relaciones entre el contenido de lignina y de extractivos	
con la edad, el tamaño y el crecimiento de los árboles.....	152
4.2.4. Densidad de la madera .....	154
Densidad normal.....	155
Densidad básica.....	159
Relaciones de la densidad con la edad, el tamaño y	
el crecimiento de los árboles .....	162
Relaciones de la densidad con las características anatómicas,	

	<i>con la composición química y con el contenido de duramen</i> .....	164
4.2.5.	<i>Cambios dimensionales de la madera</i> .....	168
	<i>Los cambios en dirección radial</i> .....	168
	<i>Los cambios en dirección tangencial</i> .....	177
	<i>Anisotropía de la contracción e hinchamiento</i>	
	<i>máximos lineales</i> .....	187
	<i>Relaciones lineales entre la densidad normal y</i>	
	<i>los cambios dimensionales</i> .....	191
	<i>Principales resultados sobre los cambios dimensionales</i>	
	<i>y su variación</i> .....	195
4.2.6.	<i>Propiedades mecánicas de la madera</i> .....	197
	<i>Resultados generales</i> .....	197
	<i>La variación en el comportamiento elástico y resistente</i>	
	<i>en flexión estática</i> .....	202
	<i>La variación de la resistencia en compresión paralela</i> .....	205
	<i>La variación de la resistencia en corte paralelo</i> .....	207
	<i>La variación en la propiedad de dureza</i> .....	208
	<i>Las relaciones entre la densidad y las propiedades resistentes</i>	
	<i>y entre el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión</i> .....	210
4.2.7.	<i>Variación del contenido de humedad en secado natural</i> .....	216
	<i>Comportamiento general</i> .....	216
	<i>Período desde inicio de secado hasta Punto de Saturación</i>	
	<i>de las Fibras</i> .....	219
	<i>Período desde PSF hasta equilibrio higroscópico</i> .....	220
	<i>Período de equilibrio higroscópico</i> .....	222
4.2.8.	<i>Defectos de la madera</i> .....	223
	<i>Presencia de médula y de albura</i> .....	223
	<i>Nudos</i> .....	223
	<i>Grietas</i> .....	226
	<i>Rajaduras</i> .....	228
	<i>Dirección de la fibra</i> .....	231
5.	<i>CONCLUSIONES</i> .....	237
6.	<i>REFERENCIAS</i> .....	246

## ***CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN***

---

En este primer Capítulo se explicita el problema en cuyo marco se justifica el desarrollo de esta Tesis Doctoral y la misma realiza su aporte. Se enuncian las hipótesis generales que orientan la investigación y los objetivos trazados en consecuencia. Se mencionan además antecedentes relacionados a las propiedades más destacadas de la madera frente a su estudio como material.



## 2.2 EL PROBLEMA

En el marco de la presente investigación la región sudeste de la provincia de Buenos Aires se define integrada por nueve jurisdicciones: Tandil, Balcarce, General Pueyrredón, General Alvarado, Lobería, Necochea, San Cayetano, Tres Arroyos, Mar Chiquita. La misma involucra 3.338.300 ha (el 11% de la superficie territorial provincial) y una población de 937.970 habitantes que representaba en el 2001, el 18% del total provincial excluido el conurbano bonaerense<sup>1</sup>, siendo General Pueyrredón y Tandil, respectivamente, la segunda y séptima jurisdicción más poblada de la provincia (DPE, 2001).

La provincia de Buenos Aires tiene un producto bruto geográfico repartido casi igualitariamente entre el sector de servicios y el de la producción de bienes. En este último resultan principales como ramas de actividad la industria manufacturera, la construcción y la agricultura-ganadería, en ese orden, actividades que también son las destacadas en la región sudeste donde, sin embargo, la actividad agropecuaria cobra mayor importancia relativa frente a las otras dos (DPE, 2003). Así, el sudeste de la provincia de Buenos Aires es considerado una zona de producción agrícola-ganadera, con notorio desarrollo urbano, industrial y turístico.

La Construcción ha sido el sector más dinámico en el país durante la etapa de la post Convertibilidad iniciada en el año 2002. Además, su peso sobre el nivel de actividad económica general se refuerza al tener en cuenta su incidencia sobre otros sectores de la economía. De hecho, la expansión de los proveedores de materiales para la construcción ha estado entre las más relevantes dentro de la industria manufacturera donde se encuentra la fabricación de mobiliarios de madera. Por otra parte, también la producción de maderas para uso estructural y encofrados, tanto como para carpintería de obra presentan una importante dependencia de la actividad de la construcción (IERIC, 2005).

---

<sup>1</sup> Región definida según el Instituto de Estadísticas y Censo del país.

El sudeste de la provincia de Buenos Aires registró el segundo mayor índice provincial de actividad de la construcción promedio del período enero 2003 a diciembre de 2005 (DPE, 2005a). General Pueyrredón ha sido, conurbano bonaerense incluido, la máxima jurisdicción solicitante de permisos de edificación en los últimos dos años del período, en tanto que la segunda y/o tercera solicitante en el resto del mismo (DPE, 2005b).

La industria del mueble es el sector de la madera que en el mundo presenta mayor crecimiento y dinámica. En el país es uno de las tres principales áreas de actividad del sector maderas y en los últimos años ha crecido, fundamentalmente en el segmento de los muebles de madera sólida de *Eucalyptus grandis*, recurso forestal altamente disponible en el noreste del territorio nacional. La industria del mueble demanda madera sólida, madera contrachapada, tableros de fibra y aglomerados, que actualmente se producen con especies cultivadas, y, en menor medida, con maderas nativas e importadas (MRECIyC, 2006). Los informes sectoriales indican que los núcleos más destacados de la industria del mueble a nivel de la provincia de Buenos Aires se localizan en su zona norte, sin embargo también existen emprendimientos en el sudeste bonaerense, fundamentalmente en General Pueyrredón.

En este contexto general resultan definidas las demandas nacional, provincial y regional de maderas de calidad para diversos usos relacionados con el sector de la construcción y la industria del mueble.

La provincia de Buenos Aires, generalmente la segunda y/o tercera jurisdicción nacional por su magnitud en extracción de rollizos, dirige mayormente su oferta de maderas a industrias de la trituración, esto es, celulosa/papel, tableros de fibras, y tableros de partículas. No es destacada su oferta de maderas hacia industrias de aserrado, faqueado o compensado, de las que, por otra parte, tiene poca capacidad instalada (SAGPyA, 2005). Las especies que componen la oferta provincial corresponden a los géneros *Salix*, *Populus* y *Eucalyptus* (SAGPyA, 1998).

En particular, la región del sudeste bonaerense no ofrece las maderas sólidas que demanda el mercado regional en relación a la construcción e industria del mueble. Si bien no hay estudios que caractericen este mercado, puede indicarse que esta oferta se atiende con madera aserrada de especies nativas y exóticas provenientes del noreste del

país. Desde hace unos años se registra cierto desabastecimiento y elevación de los precios en el mercado regional dado que, en el marco del comercio exterior de productos forestales del país, estas maderas participan en buena medida en la exportación. En efecto, desde los años 2002-2003, el aumento del tipo de cambio favoreció la participación del capítulo “maderas y sus manufacturas” en las exportaciones de productos forestales. En el 2003 tal participación fue del 31% y durante los años siguientes ha sido sostenidamente del 60%, siendo sus tres principales componentes, en similar magnitud, los tableros de fibras, la madera aserrada y otras manufacturas de madera (SAyDS, 2010).

La región cuenta con un recurso forestal de *Acacia melanoxylon* R. Br conocida en Argentina como “aromo negro”, “acacia aromo” y “acacia australiana”, (Pinilla Suárez, 2000). Este recurso hasta el momento no ha sido inventariado ni caracterizado en términos dasométricos<sup>2</sup>, ni en lo relativo a la aptitud tecnológica de su madera. Las masas están localizadas en buena medida en sitios serranos, en composición pura o asociada a *Eucalyptus globulus* Labill., implantada sin fines comerciales en macizos de reparo y no sujeta a planes de Ordenación Forestal<sup>3</sup>.

Es una especie forestal versátil en sus usos (madera aserrada para todo tipo de uso, ebanistería, chapas, muebles, leña y forraje para el ganado) y de alta adaptabilidad que crece naturalmente en un amplio rango de ecosistemas forestales de Australia, con una extensa distribución latitudinal (16-43° S) a lo largo de su costa este (Maslin y Pedley, 1982a; Maslin y Pedley, 1982b).

El valor de su madera está dado fundamentalmente por el duramen, cuyo color varía de castaño dorado a castaño oscuro y puede tener tintes y rayas diferentes, además de presentar una buena durabilidad natural. Desde hace más de un siglo es considerada

---

<sup>2</sup> *Campo de la Dasonomía que se refiere a la medición de los árboles, de las poblaciones y de los productos forestales. Para ello contempla el análisis de las dimensiones, las formas y los volúmenes de árboles aislados, así como la estimación de los volúmenes de las poblaciones en pie (Dendrometría). La metodología y cálculo del crecimiento o incremento del volumen de árboles y poblaciones son objeto de la Epidometría (Pardé, 1961).*

<sup>3</sup> *Campo de la Dasonomía que planifica y organiza la producción forestal conforme a las leyes económicas, sin infringir las biológicas impuestas por la investigación silvícola y epidométrica. Se trata por tanto, del gobierno económico del monte, y como tal se la ha conocido también como Dasocracia. (Pita Carpenter, 1971)*

internacionalmente como una de las maderas más decorativas del mundo, perteneciendo a la categoría del nogal, caoba y teca (Nicholas y Brown, 2002) y ha sido el puntal de la industria de muebles finos de Tasmania (Tasmanian Timber Promotion Board, 2012).

En Australia se realiza el aprovechamiento de montes nativos y en Tasmania, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Brasil y Chile, de plantaciones comerciales. Estos últimos son los países donde la especie tiene mayores antecedentes como exótica (Siebert y Bauerle, 1995; Geldenhuys, 1996; Fairweather y McNeil, 1997; Pinkard y Beadle, 2002; Seydack, 2002; Medhurst *et al.*, 2003; Geldenhuys; 2004). También ha sido introducida en Italia, Francia, España, Palestina, Portugal, Etiopía, Congo, Kenia y Japón (INFOR-CONAF, 1997; Nicholas y Brown, 2002; Santos *et al.*, 2005).

Contrariamente al valor que se le otorga en su lugar de origen, en Argentina y en Chile no existe un mercado formal de la madera de *A. melanoxylon*. Sin embargo, en este último país, se desarrollan transacciones que la involucran como leña y materia prima pulpable (INFOR-CONAF, 1997).

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, *Acacia melanoxylon* podría formar parte de la oferta del mercado regional de madera de calidad para usos sólidos relacionados con la industria de la construcción y del mueble, generando oportunidades para el desarrollo local, sea desde el recurso ya implantado, o desde nuevos planteos comerciales bajo Ordenación Forestal. Si bien existe investigación en otros países que da cuenta de su calidad, no es el caso en lo local, hasta el inicio de la presente investigación.

### 2.3 SOBRE LAS PROPIEDADES DE LAS MADERAS

El comportamiento de las maderas ante distintas acciones o solicitudes a las que puedan estar expuestas como material guarda relación con la estructura anatómica y la composición. Éstas determinan su condición de material heterogéneo y variable en su apariencia estética, tanto como en su comportamiento físico y mecánico ante sus diferentes aplicaciones (Tortorelli, 1956; Panshin y de Zeeuw, 1980; Coronel, 1994; Tinto, 1997; Barnett y Jeronimidis, 2003). Las propiedades físicas de las maderas

determinan su comportamiento ante factores del medio natural sin que éste afecte química o mecánicamente su estructura interna; y las propiedades mecánicas indican su comportamiento cuando sobre ellas actúan cargas o sollicitaciones externas, que las someten a esfuerzos de corte, de compresión, de flexión o de tracción (Coronel, 1994). Estudiar estas propiedades permite comparar materiales, establecer resistencias y tensiones admisibles de uso, tipificar las maderas y establecer comparaciones entre éstas y otros materiales de uso estructural. Entre las propiedades físicas, la densidad es el atributo universalmente utilizado como índice de calidad de madera en relación a sus usos. Resulta de las dimensiones celulares, de la composición química y de las proporciones relativas de los tejidos constitutivos y está correlacionada con la mayoría de las propiedades físico-mecánicas (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Coronel, 1994; Coronel, 1995; Tinto, 1997; Barnett y Jeronimidis, 2003).

Ésta y otras propiedades de la madera pueden variar ampliamente dentro de un árbol, entre árboles de una misma especie en un mismo sitio o entre diferentes localizaciones geográficas (Zobel y Talbert, 1988). La variabilidad en las propiedades de la madera debe ser conocida debido a que los usos están relacionados a esas propiedades. La aptitud o calidad de la madera para un particular propósito está determinada por esta variabilidad que afecta su estructura y así, sus propiedades (Panshin y de Zeeuw, 1980).

En madera sólida, la presencia de lignina y de celulosa se asocia con las resistencias. Los extractivos imparten la durabilidad natural otorgando al leño protección frente a los hongos xilófagos, insectos y organismos marinos. Además pueden incrementar la densidad, mejorar la estabilidad dimensional de las maderas, y afectar la aplicación de adhesivos y pinturas. Los factores externos, como luz y agua, alteran la calidad de los extractivos pudiendo influenciar negativamente el valor estético de la madera (color y diseños) (Barnett y Jeronimidis, 2003; Panshin y de Zeeuw, 1980). Las propiedades mecánicas de las maderas -y la expresión de su valor estético- también se ven afectadas negativamente tanto por la presencia de nudos, como por las características del grano, dado que afectan las resistencias y estabilidad dimensional de la madera (Castiglioni, 1957; Barnett y Jeronimidis, 2003).

Las proporciones de albura y de duramen son atributos de calidad de importancia para los diferentes usos finales. El duramen contiene extractivos y un menor contenido de

humedad que la albura, mientras que ésta contiene células de parénquima vivas. Los polifenoles infiltran las paredes de las células del duramen, reduciendo la contracción y la capacidad de hinchamiento de la madera e incrementando su durabilidad y otras propiedades (Hillis, 1987). La presencia de extractivos puede estabilizar el alabeo en la parte central de la madera juvenil. Sin embargo, no significa necesariamente una alta resistencia mecánica. El duramen generalmente tiene menor permeabilidad que la albura, esto sugiere que es más difícil secarlo, y menos penetrable por los preservantes, pintura y colorantes (Zhang, 1997a). La madera destinada a productos aserrados es muy apreciada cuando presenta una alta proporción de duramen. En el pulpado, en cambio, el alto contenido de extractivos del duramen requiere costos adicionales de blanqueo. La tilosis propia del proceso de duraminización impide la penetración de los licores de impregnación (Lourenço *et al.*, 2008).

El volumen de nudos y de los tejidos anormales asociados a ellos también son características a evaluar en términos de calidad de maderas. Su presencia afecta resistencias de la madera en usos sólidos y como fibra. La madera contenida en y alrededor de los nudos tiene en ocasiones alto contenido de resinas y bajo contenido de celulosa (Zobel y Talbert, 1988).

## 2.4 HIPÓTESIS

El recurso regional de *Acacia melanoxylon* presenta atributos tecnológicos que permiten considerarla apta para usos de alto valor agregado en la industria de la construcción y del mueble.

Las condiciones que la región ofrece para el crecimiento de *Acacia melanoxylon* afectan la expresión de las propiedades de su madera.

## 2.5 OBJETIVOS

### 2.6 Objetivo general

Caracterizar las propiedades xilotecnológicas de *Acacia melanoxylon* implantada en el sudeste de la Provincia de Buenos Aires, en vista a su empleo como madera sólida en el mercado regional de maderas.

### 2.7 Objetivos Particulares

- Describir las condiciones de desarrollo de la especie en la región en términos de a) calidad de sitio, evaluada a través de criterios ecológicos (clima, suelo, topografía) y dasométricos (volumen y crecimiento en madera); b) de composición florística y de estructura de las masas.
- Describir morfológicamente la madera en términos de estructura anatómica, caracteres organolépticos y dimensiones celulares.
- Determinar la composición química.
- Determinar el contenido de duramen y de albura en el fuste, y analizar su variación así como su correlato en términos de edad, densidad, morfología celular y composición química.
- Determinar la densidad de la madera y analizar su variación en función de la distancia a la médula y la altura en el fuste, así como su correlato en términos morfológicos y químicos.
- Determinar y analizar la variación de los cambios dimensionales en función de la distancia a la médula y de la altura en el fuste, así como su correlación con la densidad.

- Determinar y analizar la variación del contenido de humedad en piezas de tamaño usual desde el apeo hasta el estado de equilibrio higroscópico en secado natural.
- Determinar y analizar el comportamiento mecánico de la especie y su correlación con la densidad para las siguientes propiedades: flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras, corte paralelo a las fibras, y dureza.
- Determinar la presencia de defectos asociados a la estructura del tejido leñoso en términos de presencia de nudos, de grietas, de rajaduras y de desviación de la fibra.
- Analizar las relaciones entre la expresión de las propiedades de la madera y las condiciones de crecimiento que la región ofrece para la especie.
- Definir usos potenciales del material de acuerdo con las características tecnológicas determinadas.



## **CAPÍTULO 2 – ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS**

---

En este Capítulo se hará referencia, por una parte, a los antecedentes bibliográficos que constituyen el estado del arte sobre *Acacia melanoxylon* R. Br. en relación a su lugar de origen, requerimientos ecológicos, aspectos de su Silvicultura para la producción de rollizos maderables y características de su madera.

Por otra parte, se presentarán antecedentes correspondientes al marco teórico que conceptualiza a la madera como un material de origen biológico, abordando aspectos sobre su biosíntesis, sus propiedades tecnológicas y la variabilidad que la caracteriza.

## 2.1. LA ESPECIE

*Acacia melanoxylon* R. Br. es conocida en Argentina como "acacia australiana", "acacia aromo", "aromo negro". En Chile se la denomina principalmente "aromo australiano". Su nombre botánico deriva de los términos griegos "melas" y "xylon", que se traducen como madera negra. En referencia a las características de su madera se han originado internacionalmente otros nombres vulgares: "australian blackwood", "black wattle", "Blackwood", "BW" (Pinilla Suárez, 2000; Nicholas y Brown, 2002; Maslin y McDonald, 2004).

Taxonómicamente pertenece a la familia *Leguminosae*, subfamilia *Mimosoideae* y, dentro de ésta, a la tribu *Acacieae* que contiene dos géneros. El género *Acacia* es el más numeroso -alrededor de 1300 especies- y en los últimos años ha estado sujeto a revisión respecto de su status genérico (Maslin *et al.*, 2003).

### 2.1.1. ZONA DE ORIGEN

Su distribución natural es muy amplia en cuanto a latitud (16° a 43° S) cubriendo la zona costera oriental del territorio australiano, presentándose desde Mt. Lewis, en Queensland, hasta Mount Lofty Ranges en Australia Meridional. También es abundante en el estrecho de Bass y en la isla de Tasmania (Maslin y Pedley, 1982a; Maslin y Pedley, 1982b; Kannegiesser, 1989; Searle, 2000; Maslin y Mc Donald, 2004) (Figura 2-1). Está principalmente restringida al frente costero pero se extiende hasta los 200 km dentro del continente donde encuentra mayores altitudes, desde 1500 msnm en zona Norte a 1000 msnm en la zona central de Tasmania (Playford *et al.*, 1993).

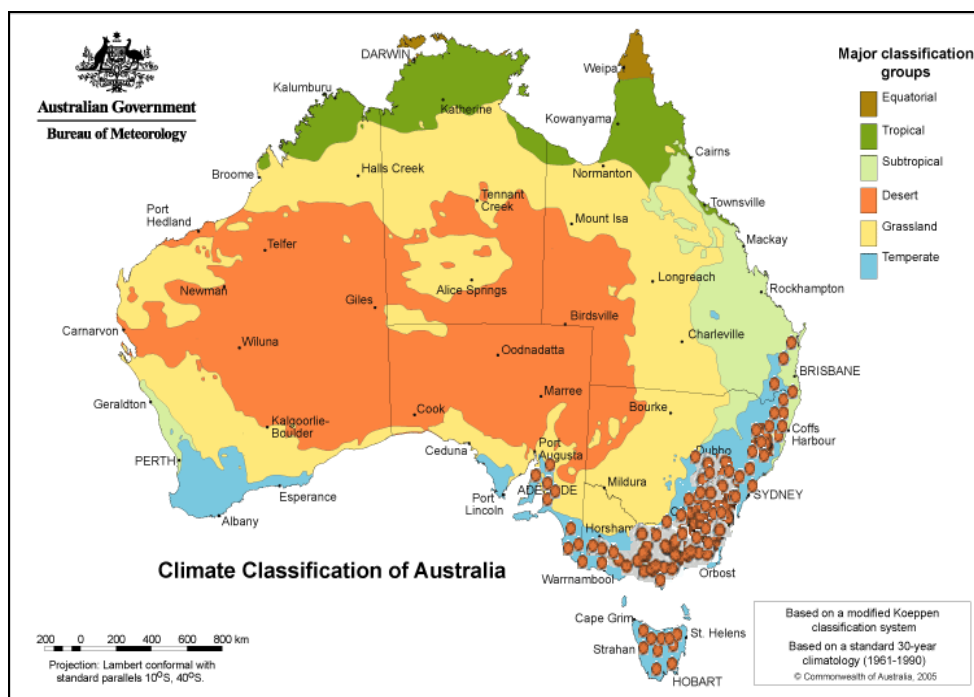


Figura 2-1. Distribución de *Acacia melanoxylon* (círculos naranjas) sobre la cartografía de los grupos climáticos de Koeppen. Elaboración propia basada en Bureau of Meteorology Australian Government (2008) y Maslin y McDonald (2004).

En los sitios de origen donde la especie crece mejor, se desarrolla en tres sistemas de bosque que Jennings (1998) describió como “The blackwood swamps” (pantanos de acacia), “The wet eucalypt” (bosque húmedo de eucalipto) y “The rain forest” (bosque pluvial o tropical). Las barreras entre estos tres ecosistemas fueron determinadas por la ocurrencia de fuego y por condiciones del suelo (Jennings, 1998; Searle, 2000). La especie tiene un amplio rango ecológico y es comúnmente encontrada como un árbol de sotobosque en los bosques de eucaliptos, como un árbol codominante en la riberas de los bosques pluviales y como árbol dominante en los pantanos de acacia. Tiene mayor tolerancia a condiciones de suelo saturado que la mayoría de los eucaliptos o especies de bosque pluvial y, como se dijo, tiende a convertirse en un componente significativo de poblaciones en pantanos y sitios bajos con anegamientos estacionales (Jennings, 2004).

Alrededor de dos tercios de la producción comercial de *A. melanoxylon* proviene de los bosques naturales de Tasmania, principalmente del noroeste, zona correspondiente al

ecosistema de los pantanos que se encuentran estacionalmente inundados, con agua superficial oxigenada que fluye lentamente (Nicholas y Brown, 2002; Pinkard y Nielsen, 2004). Es muy claro que Tasmania ha dominado hasta la actualidad y por más de una centuria el mercado australiano de madera de alta calidad de la especie (Jennings, 1998; Nicholas, 2007). El mejor desarrollo en términos de crecimiento y de forma sucede en estos pantanos con bosques puros de *A. melanoxylon*, producto de la profundidad de los suelos y la restricción de luz lateral que ese ambiente significa, lo que incrementa su dominancia apical y su crecimiento en altura (Pinkard y Beadle, 2002; Beadle *et al.*, 2004). Las semillas se presentan en el suelo por décadas, en un vasto número y ante cambios resultantes por la ocurrencia de fuego o de disturbios mecánicos se propicia una intensa germinación (Jennings, 1998).

#### 2.1.2. SU IMPLANTACIÓN COMO EXÓTICA

La especie ha sido introducida en varios países: Nueva Zelanda, Sudáfrica, Brasil, Italia, Francia, España, Argentina, Chile, Palestina, Portugal, Etiopía, Congo, Kenia y Japón, y en algunos de ellos ha sido evaluada como especie comercial potencialmente productora de madera de calidad (INFOR-CONAF, 1997; Pinkard y Beadle, 2002; Nicholas y Brown, 2002; Santos *et al.*, 2005; Igartúa y Piter, 2007; Santos *et al.*, 2007; Igartúa y Monteoliva, 2009; Igartúa *et al.*, 2009; Monteoliva e Igartúa, 2010). Los dos primeros países se reportan como aquéllos en los que la Silvicultura de plantación de *A. melanoxylon* tiene mayor historia (Pinkard y Beadle, 2002).

En Sudáfrica, fue introducida desde Australia alrededor de 1848 y extensivamente plantada desde 1909 (Geldenhuis, 2004). La percepción de su cultivo como una amenaza para las plantaciones indígenas motivó que, además de su aprovechamiento forestal, se desarrollasen políticas de control sobre la especie, revisadas periódicamente. En tanto, también progresaban las investigaciones sobre su ecología y demografía (Geldenhuis, 1996; Seydack, 2002; Geldenhuis, 2004), y sobre su Silvicultura, aportada particularmente por de Zwaan entre los años 1970 y 1980.

En Nueva Zelanda, la superficie plantada informada al año 2002 fue de 3000 ha (Nicholas y Brown, 2002). Su madera es tan apreciada que se ha justificado la mayor

inversión necesaria para compensar a los plantadores debido a los mayores costos, menores volúmenes de producción y rotaciones más largas comparadas con las de *Pinus radiata*, especie muy consolidada en el desarrollo foresto-industrial en ese país (Fairweather y Mc Neil, 1997). El mercado neocelandés es joven y de menor escala que el australiano aunque puede desarrollar una fuerte posición otorgando mayor valor de uso final a su madera, que, al igual que el mercado australiano, orienta su oferta hacia madera libre de nudos (clearwood) (Nicholas, 2007).

La especie crece en Chile y ha demostrado adaptación a las condiciones locales, por ello, desde 1987 el Instituto Forestal de Chile (INFOR), y también las Universidades, desarrollan investigación sobre aspectos de su Silvicultura y la aptitud tecnológica de su madera tanto para usos sólidos como papeleros (Ananias, 1989; Campos *et al.*, 1990; Espinosa U, 1997; Pinilla Suárez *et al.*, 2004; Pinilla Suárez *et al.*, 2006). En este país *A. melanoxylon* ocupa una superficie de 4000 ha en rodales mayores a 4 ha y existe una superficie desconocida en que la especie se ha establecido en cortinas, en masas mixtas y en masas derivadas de su regeneración natural (Pinilla Suárez *et al.*, 2006)

La especie se introdujo a inicios del siglo pasado en Portugal, donde se desarrolla en poblamientos espontáneos, preferentemente en la zona litoral norte, región nativa de *Pinus pinaster* Aiton, y es considerada como alternativa para la oferta de material leñoso producido en el país. Se ha evaluado en su aptitud pulpable y aserrable y sus crecimientos en referencia a las dos especies principales del país *P. pinaster* y *Eucalyptus globulus* Labill. (Freire *et al.*, 2003; Santos *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2007).

En India, Hawaii y China se han indicado, en conjunto, más de 5000 ha plantadas (Nicholas y Brown, 2002; Fangqiu *et al.*, 2004). En Hawai, esta especie fue evaluada como candidata para la producción de madera de alta calidad, donde resultó una especie prometedora en algunos sitios y no en otros. En China, aunque fue plantada por primera vez alrededor de 1950, y evaluada recién en el año 1990, resultó prometedora por sus crecimientos, así, se informó el establecimiento de más de 500 ha (Nicholas y Brown, 2002). En la región templada Nilgiri Hills de India fue introducida en 1842, ha sido utilizada como combustible, madera utilitaria y su follaje ha sido recolectado con uso forrajero. Si bien se adaptó eficientemente, no se siguió plantando. En Sri Lanka, fue introducida alrededor del 1860 y es común en altitudes de 1400-1200 msnm. Se

establecieron plantaciones en 1918 y se reportaron buenos crecimientos en áreas donde se desarrollaba con protección. Sus principales usos han sido en la construcción, como combustible y como especie ornamental. Entre 1929 y 1935 alrededor de 1200 ha fueron plantadas en mezcla con eucaliptos y cipreses. Los depredadores fueron la principal causa del abandono de plantaciones.

En Argentina, solamente se han encontrado referencias bibliográficas de su presencia y naturalización en sitios serranos de Balcarce, provincia de Buenos Aires (Martínez Crovetto, 1947), y en suelos someros de las sierras de Azul, en la misma provincia (Bardi *et al.*, 2001). En el año 2006 se iniciaron estudios dasométricos y xilotecnológicos sobre el recurso de *Acacia melanoxylon* implantado en el sudeste de la provincia de Buenos Aires (Igartúa y Piter, 2007; Monteoliva e Igartúa, 2008; Igartúa *et al.*, 2009; Igartúa y Monteoliva, 2009; Monteoliva e Igartúa, 2010; Monteoliva *et al.*, 2012).

### 2.1.3. REQUERIMIENTOS ECOLÓGICOS Y ASPECTOS CENTRALES DE SU SILVICULTURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ROLLIZOS MADERABLES

Según Esterhuyse (1985), el aroma australiano es favorecido por un clima templado, con abundantes precipitaciones, en general sobre 800 mm al año, y bien distribuidas. Siebert y Cerdá (1994) recomendaron seleccionar áreas geográficas con más de 1000 mm sin nieve y con una temperatura media anual de 11-13° C, para establecer *A. melanoxylon* en Chile, evitando áreas con período seco superior a los 6 meses. En la zona tropical de Australia, la especie es susceptible a un desequilibrio hídrico sin embargo, en climas templados (>30° S), las exigencias en lluvias anuales disminuyen, calificándose como sitios óptimos aquellos con más de 600 mm, pero sin un período seco definido (Ramírez y Schlatter, 1998; Maslin y McDonald, 2004).

En cuanto al régimen térmico, se ha indicado que los sitios de crecimiento óptimo en la región de origen no presentan una temperatura media anual inferior a 10°C. Las temperaturas medias mínimas en donde la especie se desarrolla no descienden en ningún mes del año bajo 0° C, y la temperatura mínima absoluta no desciende de -10°C (Maslin

y McDonald, 2004). Al sur de Australia, donde la especie alcanza su mejor desarrollo, la temperatura media del mes más cálido oscila entre 19 y 22° C, pudiendo, más al norte, llegar a 26-30° C; en tanto las temperaturas medias anuales varían entre 10 y 18° C. *Acacia melanoxylon* necesita por lo menos 130 días libre de heladas, en general, dependiendo de su procedencia. En algunos sectores costeros de Australia y Tasmania las heladas pueden estar ausentes en todo el año, lo que favorece el desarrollo de la especie (Ramírez y Schlatter, 1998; Maslin y McDonald, 2004).

La especie crece principalmente en suelos de mediana a alta fertilidad, profundos, con buen drenaje, y neutros a ácidos, raramente en podsoles arenosos. Se ha indicado que logra la mejor calidad en suelos profundos y húmedos, en lo posible sobre los 70 cm y con buen drenaje (Siebert y Cerdá, 1994; Ramírez y Schlatter, 1998; Pinilla, 2000). No obstante, *A. melanoxylon* parece adaptarse a diferentes profundidades de suelo, habiéndose encontrado en terrenos delgados presentando raíces superficiales y crecimiento no muy bueno en estas condiciones (Schlegel, 1989). Se han informado los mejores crecimientos en suelos forestales podzólicos de buena calidad y suelos aluviales (INFOR-CONAF, 1997), en texturas franco limosas o de transición (Siebert y Cerdá, 1994; Maslin y McDonald, 2004). *A. melanoxylon* ha demostrado tolerancia y capacidad de adaptación al anegamiento temporario tal como ocurre en la zona pantanosa de Tasmania (Pryor *et al.*, 2006).

La Silvicultura de *A. melanoxylon* ha abordado como cuestión central el ambiente de protección en que debe desarrollarse (Pinkard y Beadle, 2002). El concepto de protección hace referencia al control de la intensidad lumínica, de los efectos negativos del viento y de los depredadores. La protección es una circunstancia crítica para su buen desarrollo en términos de forma del fuste y de incrementos en diámetro y altura. Ha probado ser una especie de difícil desarrollo en plantaciones sin una sustancial cantidad de intervenciones (Pinkard y Beadle, 2002). El manejo de la luz es también un factor importante para lograr fustes únicos, sin presencia de ramas laterales y con destacadas alturas comerciales debido a la pobre dominancia apical que caracteriza a la especie. Esto ha sido objeto de investigación, evaluándose la pertinencia cultivos acompañantes o protectores, la realización de raleos y podas y los efectos de estas intervenciones en la forma y el crecimiento de la especie. (Siebert y Bauerle, 1995; Pinkard y Beadle, 2002; Medhurst *et al.*, 2003; Pinkard, 2003; Pinkard *et al.*, 2004; LaSala y Jennings, 2008).

Nicholas y Brown (2002) señalaron, en la experiencia de Nueva Zelanda, que aspectos como la precipitación, la altitud, y el suelo tendrían, en casos de desprotección, mínimos efectos relativos sobre el crecimiento y la forma. La protección puede ser provista por la topografía, la vegetación adyacente o cortinas de vegetación (Ramírez y Schlatter, 1998).

En el manejo de los bosques nativos de *A. melanoxylon* ha surgido también la necesidad de protección de los procesos de regeneración debido a la acción de depredadores sobre lo que se ha desarrollado investigación (Siebert y Bauerle, 1995; Parsons *et al.*, 1997; Jennings, 1998; Jennings y Dawson, 1998; Jennings *et al.*, 2000; Jennings, 2003; Jennings, 2004).

En los bosques nativos, la supresión de luz lateral por la presencia de los distintos individuos que componen las masas, resulta en árboles de *A. melanoxylon* altos y derechos, con mínima cantidad de ramas en el área inferior (Unwin *et al.*, 2006). Exposiciones a pastoreo, a situaciones de máxima luminosidad en sitios abiertos, a fuertes vientos y a heladas pueden reducir la naturalmente débil dominancia apical de la especie, produciendo muchas ramas, fuste corto y un bajo incremento en altura cuando crecen bajo estas situaciones (Pinkard y Beadle, 2002). Se logra un óptimo crecimiento y forma cuando los árboles de la especie están implantados en claros dentro de un dosel establecido por otros árboles, o por regeneración, cuando las plantas han recibido suficiente luz para crecer entre las copas de árboles más viejos (Geldenhuis, 1996; Jennings, 1998; Seydack, 2002; Geldenhuis, 2004; Maslin y McDonald, 2004).

En Chile se ha establecido aramo australiano en todas las exposiciones, pero se han destacado las exposiciones sur, en las cuales se combinan condiciones ambientales de menor temperatura, mayor humedad relativa y suelos con mayor disponibilidad hídrica, que exposiciones norte donde se la encontró generalmente formando el defecto llamado doble flecha (INFOR-CONAF, 1997).

## 2.2. LA MADERA, UN MATERIAL DE ORIGEN BIOLÓGICO



La madera es un recurso natural renovable proveniente del tallo de vegetales superiores denominados árboles. Un producto de alto valor comercial (producción de fibras, de material sólido y de energía) y ambiental (sumidero de carbono).

La madera representa el mayor avance en la evolución de las plantas durante el período Cretáceo que ha permitido a los árboles alcanzar considerables alturas y longevidad, cumpliendo tres importantes funciones: la conducción ascendente del agua, así como el soporte e incremento de la biomasa arbórea mientras el árbol se ajusta a varias circunstancias ambientales (vientos, pendiente, nieve, luz) y el almacenamiento temporario de reservas para el crecimiento (Plomion *et al.*, 2001).

La madera o xilema es un material heterocelular, un tejido vegetal complejo resultante del ensamble tridimensional de diferentes tipos celulares originados en un proceso de biosíntesis cuyas características y mecanismos de regulación vienen siendo revisados desde el año 1999 (Dejardin *et al.*, 2010). Dicho proceso involucra la actividad de un tejido meristemático (el cambium), seguida de una profunda diferenciación celular que implica una etapa de expansión, otra de deposición ordenada de las capas de la pared celular secundaria, otra de lignificación y otra de muerte celular. Finalmente ocurre la transformación de las células xilemáticas muertas para dar origen al duramen (Plomion *et al.*, 2001; Barnett y Bonham, 2004; Dejardin *et al.*, 2010).

La madera de árboles pertenecientes al grupo de las angiospermas, denominados vulgarmente hardwoods o latifoliadas, es heterogénea y más compleja que la de los árboles pertenecientes a las gimnospermas, vulgarmente softwoods o coníferas y que la de algunas angiospermas primitivas. Las fibras, los vasos y el parénquima xilemático caracterizan, en diferentes arreglos topográficos, a la madera de las angiospermas; en tanto que las traqueidas y el parénquima xilemático caracterizan el más uniforme leño de las coníferas. Fibras y traqueidas son los elementos anatómicos más abundantes en el tejido leñoso de angiospermas y gimnospermas respectivamente. Así, puede indicarse que la madera está formada principalmente por paredes secundarias de elementos fibrosos (fibras / traqueidas) muertos (Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010).

Las particulares características estructurales, bioquímicas y funcionales de las paredes celulares secundarias de fibras y traqueidas han sido profundamente estudiadas y descritas tanto en tejidos xilemáticos normales como en aquellos considerados anormales o especiales (madera de reacción, cambium anómalo, etc). También lo ha sido la relación entre tales características y el comportamiento/propiedades de la madera (Panshin y de Zeeuw, 1980; Walker, 2006).

Se acepta que la pared celular secundaria de las células leñosas tiene una estructura laminar constituida por tres capas, formadas en diferentes momentos durante la diferenciación celular. Se reconoce la naturaleza particular de cada una de dichas capas en términos de su contenido de celulosa organizada en unidades estructurales denominadas microfibrillas y el arreglo espacial de éstas en la matriz amorfa de hemicelulosa-xilanos y de lignina. (Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010). Scott (1902) (citado por Barnet y Bonham, 2004) consideraba a esta apariencia de los tejidos leñosos como el más importante evento de la evolución de las plantas vasculares. Los árboles logran así ser capaces de soportar enormes solicitaciones bajo condiciones normales o de equilibrio, al tiempo que son capaces de modificarse durante su desarrollo frente a fuerzas direccionales externas, como el viento actuando sobre jóvenes tallos o la gravedad actuando sobre sus fustes y ramas (Barnet y Bonham, 2004).

El conocimiento acerca de la biosíntesis o formación de la madera es aún incompleto. La xilogénesis es un proceso excepcionalmente complejo de diferenciación celular controlado por factores exógenos (fotoperíodo y temperatura), endógenos (fitohormonas) y por la interacción entre ellos. El proceso es conducido por la expresión de numerosos genes estructurales, algunos de ellos conocidos, que gobiernan el origen de las células, su diferenciación, su muerte programada y la formación del duramen. También están involucrados genes regulatorios desconocidos que dirigen estas ordenadas secuencias de desarrollo (Plomion *et al.*, 2001; Barnet y Bonham, 2004; Dejardin *et al.*, 2010).

La investigación en las ciencias de la madera ha producido una extensa literatura, básicamente descriptiva, correspondiente a estudios anatómicos, bioquímicos y tecnológicos convencionales. También se han aplicado más recientemente, desde hace

10 años, las modernas ciencias genómicas para entender los mecanismos moleculares y fisiológicos de la actividad cambial y la formación de la madera. Esto ha iniciado la identificación de genes que controlan la expresión de las propiedades de la madera, y la definición de criterios de selección temprana y de herramientas para alterar dichas propiedades en árboles transgénicos (Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010).

### 2.2.1. PROPIEDADES DE LA MADERA EN RELACIÓN A SU CALIDAD COMO MATERIAL

La calidad de la madera se relaciona con su grado de excelencia en relación a alguna aplicación preconcebida de cada rollizo, pieza o fibra de madera bajo consideración (Savidge, 2003).

La madera puede ser estudiada, caracterizada y valorada a través del estudio de numerosos atributos. Así, se consideran sus aspectos estructurales intrínsecos (anatomía y biometría), su composición química, aspectos organolépticos (color, grano, diseño), sus propiedades físicas (densidad, estabilidad dimensional, contenido de humedad), su comportamiento mecánico ante diversas sollicitaciones, y la presencia de anomalías o defectos.

#### 2.2.1.1. DENSIDAD DE LA MADERA

La densidad<sup>4</sup> expresa la cantidad de “sustancia madera” (Zobel y Talbert, 1988). Es de relevancia para los forestales ya que tiene un efecto importante sobre el rendimiento y la calidad del producto final y porque es fuertemente heredable. Debido a esto ha adquirido importancia en la mayoría de los programas de mejoramiento genético forestal sin importar si el objetivo es producir fibras (pulpas, papeles, tableros) o productos sólidos de la madera (piezas de aserrío estructurales y no estructurales,

---

<sup>4</sup> Densidad: masa de un volumen de madera o, masa de madera por unidad de volumen de madera (kg/m<sup>3</sup>)

muebles, piezas torneadas, puertas, ventanas, chapas y láminas, encofrados, postes). Es indicadora de muchas de las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

La densidad no es una propiedad simple sino la resultante de una combinación de características estructurales, cada una de la cuales tiene un sólido patrón hereditario propio. Está determinada principalmente por la cantidad de madera de verano o tardía, el tamaño de las células y el grosor de las paredes celulares. La madera de verano se caracteriza por tener paredes celulares gruesas, y es formada durante la estación de crecimiento (primavera y verano). Es una característica muy variable, aún entre árboles de la misma especie, sitio y edad. En las latifoliadas también influyen sobre la densidad la presencia de vasos, parénquima axial y radios medulares (Zobel y Talbert, 1988).

Dicho de otro modo, la variación en densidad es el resultado de los cambios en diámetro, longitud y espesor de las paredes de las células del tejido leñoso, así como en el volumen relativo de los diferentes tipos celulares al interior del fuste de los árboles. A esto se suma la presencia de sustancias extractivas. La variabilidad de la mayoría de las propiedades mecánicas y elásticas de la madera pueden estimarse a partir de la variación en densidad dado que estas propiedades están estrechamente relacionadas (Panshin y de Zeeuw, 1980).

#### 2.2.1.2. ANATOMÍA DE LA MADERA

La anatomía de la madera no solamente satisface un interés para el campo de la botánica, de la fisiología y de la sistemática vegetal, sino que aporta al conocimiento de las propiedades de la madera como material.

Las propiedades de la madera de calidad para usos sólidos (madera estructural, piezas de aserrío y de torneado, muebles, carpintería de obra, postes) descansan en su estructura anatómica y su composición química. Esto es relativamente simple de indagar en maderas blandas o softwoods en las que se acepta una relación estrecha entre las dimensiones de las traqueidas y la densidad, pero se vuelve más complejo en maderas de latifoliadas con la presencia de un número de elementos anatómicos adicionales, particularmente los vasos. Encontrar evidencias de la relación anatomía/propiedades de

la madera y la evaluación de éstas podía volverse menos consumidora de tiempo y recursos ante las modernas metodologías disponibles para la captura y procesamiento y análisis de imágenes (Hillis, 1980).

Las dimensiones celulares, la organización celular, la organización y composición química de las paredes celulares, las proporciones de los diferentes tipos celulares, y los patrones de variación respectivos tienen consecuencias en las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Desde un punto de vista biométrico, la longitud de las fibras, tanto como su ancho y el espesor de sus paredes celulares, el tamaño, distribución y cantidad de vasos se vuelven características estructurales relevantes en la madera de latifoliadas (Panshin y de Zeeuw, 1980).

### 2.7.1.3 CONTENIDO DE DURAMEN

En corte transversal, el tronco de un árbol maduro puede mostrar zonas coloreadas en forma diferencial que son la manifestación macroscópica de la ocurrencia del proceso de duraminización. Se han reconocido como albura a la zona externa, como duramen a la interna o central, y a una zona intermedia o de transición entre ellas (Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010).

La transformación final de las células leñosas las conduce a experimentar una muerte programada debida a la producción de hidrolasas sintetizadas por ellas mismas y que hasta ese momento permanecían inactivas en sus vacuolas. Así, se degrada el contenido celular más no las paredes celulares. Este proceso ocurre muy rápido en las células leñosas llamadas fibras, traqueidas y vasos luego de su diferenciación a partir del cambium. Ello no es así en las células del parénquima radial y longitudinal que permanecen vivas y funcionales varios años. Cuando el parénquima de la zona de transición se vuelve disfuncional se forma el duramen (Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010). Hillis (1980) consideró que la formación de duramen está controlada por dos principales factores, o es la edad de dichas células parenquimáticas la que determina su muerte, o es el incremento de la distancia entre ellas y la periferia del tallo, o, en algunas especies es una combinación de estos factores.

Se sugiere que el duramen se podría formar como respuesta a estímulos hidráulicos, y que puede hacerlo en forma irregular en los sentidos radial y longitudinal del tronco para mantener una óptima proporción de albura (Berthier *et al.*, 2001).

Si bien no está claro cómo y porqué se forma el duramen, se ha propuesto también que factores endógenos (como el incremento en etileno, o en el contenido de agua en la zona de transición) o exógenos (como solicitaciones por viento, o inclinación de los fustes) pueden accionar la expresión de genes (al momento bastante poco identificados) involucrados en la biosíntesis de fenoles en las células parenquimáticas de la zona de transición. Cuando éstas mueren, liberan y difunden los fenoles hacia las células vecinas, otorgando al duramen el color, las resistencias mecánicas y la durabilidad (Hillis, 1980; Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010).

La formación de duramen está bajo control genético, algunas especies no lo producen aún a muy avanzada edad (Hillis, 1987).

La presencia de duramen y un mayor contenido del mismo son cualidades deseables para algunos usos sólidos de la madera (madera estructural, muebles, postes), ya que le otorgan mayor durabilidad natural, color y/o diseño, mejor estabilidad dimensional, además de menor humedad y mayor densidad. En particular para *A. melanoxylon*, sus principales atributos tecnológicos en el mercado de maderas para mueblería de Australia y Nueva Zelanda están relacionados con el duramen, su contenido y su color (Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002).

Varias investigaciones, cuyos resultados serán compartidos en el Capítulo 4, han informado sobre el contenido de duramen en la especie: en Nueva Zelanda (Haslett, 1986; Nicholas *et al.*, 1994; Nicholas y Brown, 2002), en Australia (Searle y Owen, 2005), en Portugal (Knapic *et al.*, 2006), en Tasmania (Bradbury, 2005) y en Sudáfrica (Harrison, 1974).

### 2.2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la madera es compleja, los diferentes componentes químicos no se distribuyen uniformemente en el tejido leñoso. Ocurren variaciones entre grupos vegetales (coníferas vs. latifoliadas), entre especies, dentro de especies, entre elementos anatómicos (células del parénquima radial y axial, fibras, traqueidas, vasos) e, incluso, la composición química varía dentro la pared fibrosa. Asimismo, la variación de la madera en términos de madera de verano y de primavera, madera juvenil y madura, tanto como la presencia de madera de reacción (tipos de madera que se describirán más adelante, en el apartado 2.2.2.1), implican variaciones de la composición química. Asimismo, condiciones de suelo, de clima, de localización geográfica influyen esta composición (Fengel y Wegener, 1984; Pettersen, 1984).

Los constituyentes químicos de la madera se pueden clasificar en dos categorías, los constituyentes mayoritarios (estructurales) de la pared celular, macromoléculas de elevado peso molecular, que son la celulosa, las hemicelulosas y las ligninas. Por otro lado, los constituyentes minoritarios, de naturaleza inorgánica (cenizas) y de naturaleza orgánica (sustancias extraíbles o extractivos). De todos ellos, la celulosa es el componente más uniforme entre las distintas materias fibrosas mientras que el tipo y proporción de los demás pueden variar de una especie a otra (Fengel y Wegener, 1984).

En el marco de la variación mencionada, se indica la siguiente composición general aproximada de la madera (como porcentaje de su peso seco) para latifoliadas: celulosa 40%-50%; lignina 25%-35%; hemicelulosas 25%; sustancias orgánicas e inorgánicas 4-10% (Pettersen, 1984; Plomion *et al.*, 2001; Barnet y Bonham, 2004; Walker, 2006; Dejardin *et al.*, 2010).

La celulosa es un polímero constituido por unidades D-glucosa unidas por enlaces  $\beta$ -1,4 glicosídicos, constituyendo una cadena molecular cuyo grado de polimerización (cantidad de unidades D-glucosa) varía según especie, posición en el tallo y tipo de célula. La cadena molecular de celulosa es lineal, balanceada, con tendencia a formar uniones inter e intra moleculares. Esto le permite organizarse físicamente en estructuras densamente empaquetadas de tipo cristalino, con un elevado grado de ordenamiento lateral junto a otras moléculas, constituyendo estructuras que se definen como fibrosas, de alta resistencia a la tracción e insolubles en la mayoría de los solventes. Las fibrilas fundamentales, constituidas por alrededor de 40 moléculas lineales apareadas

lateralmente, se unen para formar entidades mayores, las microfibrillas (100-300 Å), visibles al microscopio electrónico y depositadas con distintas orientaciones en las ya mencionadas capas de la pared celular. La organización de las microfibrillas no es la de un cristal puro dado que se forman regiones completamente cristalinas y, sin ningún límite distintivo, suceden también zonas desordenadas o menos cristalinas, con grados de ocurrencia variables entre distintos materiales fibrosos (Pettersen, 1984; Walker, 2006).

El ordenamiento de las microfibrillas de celulosa en una de las capas de la pared celular ( $S_2$ ), orientadas casi paralelamente al eje de la fibra (es decir, con bajo ángulo microfibrillar), es el responsable del comportamiento anisotrópico de las maderas, otorgándoles mayores resistencias a las sollicitaciones axiales respecto a las transversales (Panshin y de Zeeuw, 1980).

La organización física de la celulosa y su constitución molecular determinan combinadamente sus posibilidades de reacción química que la pueden conducir a diferentes fenómenos, entre ellos los de sorción y los de hinchamiento (swelling). La celulosa localizada en las regiones desordenadas o poco cristalinas es altamente reactiva frente a solventes y soluciones polares, mientras que en las regiones cristalinas puede ocurrir lo contrario. La interacción con agua es un ejemplo de swelling intercristalino e implica fenómenos de adsorción/desorción y de hinchamiento/contracción de todo el complejo de polisacáridos de la pared celular, lo que macroscópicamente se manifiesta como un engrosamiento/afinamiento de dicha pared y por lo tanto la contracción/hinchamiento de toda la pieza de madera (Petersen, 1984; Walker, 2006).

Las hemicelulosas son los polisacáridos no celulósicos de la pared celular, polímeros de bajo peso molecular e íntimamente asociados a la celulosa. Su estructura no cristalina las hace más reactivas frente a las mismas reacciones y mecanismos químicos que sufre la celulosa. Son muy hidrófilas y los procesos de swelling se inician y promueven dentro de las zonas de concentración de hemicelulosas (Petersen, 1984; Walker, 2006).

La lignina es la sustancia orgánica polimérica más importante en el mundo de las plantas luego de la celulosa ya que le otorga rigidez a la pared celular. Su estructura es irregular con muchas potenciales uniones que la llevan a ser una gran molécula



tridimensional, no hidrolizable e hidrófoba. Es un material amorfo, termoplástico, con propiedades adhesivas (en el rango 70-120 C), insoluble en agua y solventes orgánicos neutros. Nunca aparece sola en la naturaleza sino asociada a la celulosa y otros carbohidratos. Su presencia, a través del proceso de lignificación de las células, asegura la unión entre ellas, su rigidez y la protección frente a reacciones químicas (Petersen, 1984; Walker, 2006). Su organización estructural (tipos de enlaces químicos) puede conferir más o menos flexibilidad al sistema de paredes celulares y contribuir así a las propiedades físicas y mecánicas de la madera (Abreu *et.al*, 1999).

Las sustancias extraíbles pueden dividirse en tres grupos desde el punto de vista químico, los terpenos (presentes en las oleoresinas de ciertas coníferas), los componentes alifáticos –grasas y ceras predominantes en las células del parénquima- y los constituyentes fenólicos del duramen y la corteza. De éstos últimos se han identificado cientos de compuestos entre los que se destacan los taninos condensados. Los extractivos pueden tener gran influencia en las propiedades de la madera aunque ellos contribuyan sólo en algún grado a la masa total de la madera (Fengel y Wegener, 1984; Pettersen, 1984). Contribuyen a propiedades de la madera como el color, olor, la durabilidad natural y la densidad, en éste último caso, incrementándola (Pettersen, 1984; Hillis, 1987; Walker, 2006).

Recientemente se ha encontrado que la presencia de extractivos reduce la foto degradación de la lignina (y por lo tanto de la madera). Esta habilidad protectora es debido a la propia degradación de los extractivos mismos que enlentece la degradación de la lignina (Tzu-Cheng Chang *et al.*, 2010).

Los extractivos son los componentes químicos que muestran la mayor variabilidad, tanto en cantidad como en calidad. Dentro del árbol son más abundantes en la base y en el duramen (Hillis, 1987; Walker, 2006). La ocurrencia de daños físicos, estrés mecánico o ataque biótico produce una respuesta de los árboles con producción de tejido traumático, sintetizando y depositando determinados compuestos de protección en las áreas afectadas. Muchos de estos compuestos son extractivos y esto se traduce en una gran variabilidad entre árboles. No deben soslayarse, además, las diferencias entre genotipos (Barnett y Jeronimidis, 2003).

Investigaciones sobre *A. melanoxylon*, en Tasmania, Portugal, Chile y Argentina, han informado respecto a su composición química y serán considerados en el Capítulo 4 (Rodríguez y Poblete, 1990; Mansilla *et al.*, 1991; INFOR-CONAF, 1997; Santos *et al.*, 2006; Lourenco *et al.*, 2008; Monteoliva e Igartúa, 2008; Barry *et al.*, 2003; Seigler, 2003).

#### 2.1.1.1. CAMBIOS DIMENSIONALES

La madera es higroscópica, es decir que pierde y toma humedad como resultado de los cambios de humedad y temperatura atmosférica circundante. Debido a su naturaleza anisotrópica, estos cambios de contenido de humedad producen variaciones en las dimensiones de la pieza de madera (contracción e hinchamiento) cuando ocurren por debajo del punto de saturación de las fibras. Esas variaciones no son iguales en las 3 direcciones (axial, radial o tangencial) (Coronel, 1994).

Los valores de contracción dependen de la especie, de las condiciones de crecimiento, de efectos genéticos, de la posición dentro del árbol; por lo tanto la explicación de este comportamiento recae en la estructura interna de la madera. Este punto de vista pone en consideración diferentes escalas de estudio. Así, por ejemplo, la variación de la anisotropía entre los planos longitudinales y transversales está influenciada por varios factores dependiendo de la escala o nivel de estudio. Podemos asociarla a: el ángulo microfibrillar en la pared celular, la estructura y espesor de las capas de la pared celular, la organización celular (en estratos alineados o alternados), las propiedades localmente diferentes entre las paredes tangenciales y radiales, la proporción entre leño temprano y tardío, al tamaño y cantidad de radios, la proporción de los diferentes tejidos (vasos, parénquima y fibras) (Walker, 2006). Los valores de contracción dependen de la combinación de estos caracteres en cada especie. Por lo tanto, no es posible una generalización para explicar el comportamiento de una especie frente a los cambios del contenido de humedad.

Los valores de contracción lineal máxima, es decir la experimentada entre el punto de saturación de las fibras y el estado anhidro, para madera “normal” varían entre 3-6% en sentido radial y 6-12% en el tangencial. Como la contracción longitudinal puede

considerarse despreciable (0,05-0,3%) normalmente no se la tiene en cuenta tecnológicamente para definir el uso de la madera. Sin embargo, hay dos excepciones en las cuales la contracción axial o longitudinal toma valores altos: la madera de reacción y la madera juvenil. Recordemos que la madera de reacción se produce en todos los árboles en la salida de ramas, en los fustes inclinados, cerca de la copa y en las cepas y raíces; por otro lado la madera juvenil es producida en todas las especies en los primeros años de crecimiento asociadas a un cambium joven (con diferencias más marcadas en coníferas) (Los conceptos de madera juvenil y de reacción se desarrollan en el apartado 2.2.2.1). La contracción longitudinal para la madera de reacción y la madera juvenil puede ser del 1% o mayor. Actualmente, estos dos tipos de madera se presentan con mayor frecuencia, ya que el aprovechamiento proviene de forestaciones de corta rotación tanto para coníferas como para latifoliadas. Esta diferencia de contracción entre la madera “normal” y la madera de reacción y la madera juvenil puede explicarse por la estructura de las fibras, su composición química y por la disposición en la pared celular (Panshin y de Zeeuw, 1980; Coronel, 1994).

Para clasificar el comportamiento de una madera frente a la contracción se utiliza el coeficiente de anisotropía. Este coeficiente (T/R) es el cociente entre la contracción tangencial y la contracción radial. Junto con los valores de contracción normal máxima, expresan la estabilidad de la pieza de madera e indican la armonía en la disminución de sus dimensiones a medida que se va secando. Valores de T/R superiores a 2 indican que la pieza tendrá problemas de defectos de forma (alabeos) durante el secado (Coronel, 1994).

En nuestro país, la norma IRAM 9543 (1966) estipula los métodos para determinar los valores más representativos de los cambios dimensionales. Siguiendo los procedimientos de esta norma, que adopta un método aplicable a madera estacionada al aire, se pueden obtener resultados comparables en el plano nacional e internacional de la contracción y el hinchamiento lineal máximo en las orientaciones radial y tangencial del leño, el coeficiente de contracción lineal, el coeficiente de anisotropía dimensional tanto para la contracción como para el hinchamiento y el contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras.

### 2.1.1.2. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que definen la aptitud y capacidad para resistir cargas externas, no incluyendo los esfuerzos debidos a las tensiones internas producto de los cambios de humedad (Coronel, 1995).

El accionar de las cargas o fuerzas sobre la madera, da lugar a diversos efectos o comportamientos, entre los cuales pueden mencionarse:

Bajo cargas reducidas la madera se deforma de acuerdo a la Ley de Hooke, es decir, la deformación es proporcional a la carga por unidad de área. Al tener las características de un material cristalino, la madera muestra una relación lineal entre esfuerzo y deformación hasta el límite de proporcionalidad. Al aumentar la carga por encima del límite de proporcionalidad, el diagrama resulta curvilíneo. Sin embargo, si las tensiones no son superiores al límite de elasticidad, el material conserva sus propiedades elásticas, es decir, al descargar la probeta, ésta recupera su dimensión y forma original. Es así como en esta zona la madera presenta un comportamiento elástico.

Cuando la carga sobrepasa el límite elástico, el comportamiento de la madera es diferente, ya que se produce un proceso de escurrimiento o deslizamiento viscoso del material leñoso siguiendo la Ley de Newton. En este escurrimiento o fluencia, los esfuerzos que se producen están relacionados fundamentalmente con la velocidad de la deformación y con el tiempo de duración de la carga. Se presenta la característica de que a pesar de las cargas aplicadas, la estructura interna permanece continua produciéndose en el material el comienzo de una deformación parcialmente irreversible. La explicación de ello se encuentra en la estructura cristalina – paracristalina o amorfa de la pared celular. Aquí, la madera comienza a comportarse prácticamente como un material elastoplástico y toma una deformación parcialmente irreversible.

Con el aumento de la carga el fenómeno de deslizamiento del material continúa con mayor velocidad y comienzan a producirse lugares de discontinuidad en la estructura celular. Por lo tanto la madera presenta en esta parte un comportamiento netamente plástico, con un proceso de deformación irreversible. Al seguir aumentando la carga, se produce la rotura de la pieza. Se denomina resistencia máxima de la madera o módulo

de rotura a la tensión a la cual la pieza se rompe (Panshin y de Zeeuw, 1980; Coronel, 1995).

Para explicar el comportamiento mecánico de la madera, ésta se podría idealizar como un conjunto de elementos celulares de sección circular orientados longitudinalmente y seccionados por los radios dispuestos a manera de pequeñas cuñas que parten del centro hacia la periferia. Dentro de los elementos celulares longitudinales o axiales, las fibras son las más robustas (de mayor espesor de pared) y a ellas se debe gran parte de la resistencia de la madera. Las fibras funcionan como columnas individuales, las cuales reciben parte de las acciones y se apoyan en las células vecinas, ya que las paredes adyacentes están cementadas. El arreglo por capas de la pared celular también influye en la capacidad de la madera para resistir las acciones a tensión o a compresión. Como se dijo, la capa S2 de la pared celular está formada por microfibrillas orientadas casi paralelas (bajo ángulo microfibrillar) al eje de la célula y del árbol, las cuales contribuyen a la resistencia mecánica de la madera, por ejemplo ante las acciones de compresión y de tensión involucradas en la flexión. Debido a que las capas S1 y S3 forman una envoltura de microfibrillas entrecruzadas y de mayor ángulo microfibrillar sobre la capa S2, ésta presenta resistencia y rigidez frente a la compresión paralela, es decir, disminuyen en algún grado el pandeo de las microfibrillas de la capa S2.

La lignina y las hemicelulosas que componen la pared forman una matriz rígida, en la que están embebidas las microfibrillas que también contribuyen a la respuesta de la madera en compresión. La lámina media que une las células a lo largo de sus caras laterales, altamente lignificada, también contribuye a la resistencia de la madera. Los puentes de hidrógeno, inter e intra cadenas celulósicas, forman una red compleja capaz de inhibir cualquier tendencia de las cadenas celulósicas a sufrir traslaciones o rotaciones dentro de las microfibrillas, manteniendo así el empaquetamiento cristalino de la celulosa.

Los radios celulares, al desviar el alineamiento paralelo de las fibras, influyen disminuyendo la resistencia a la flexión de la madera, de este modo, el desvío está en función del ancho de los radios. Los radios cuando son muy abundantes o de gran tamaño, provocan una desviación en el alineamiento paralelo de los elementos celulares longitudinales, disminuyendo su capacidad para resistir acciones a compresión. Los

sitios a lo largo de los elementos celulares axiales, modificados por la abundante presencia de radios de gran tamaño, son zonas débiles donde ocurren inicialmente las fallas en compresión paralela. En este contexto, la abundancia, el tamaño y la disposición de los radios, podrían afectar en mayor escala la resistencia en compresión de la madera que lo que afectan las fibras.

El menor ángulo microfibrillar contribuye al aumento de resistencia de las fuerzas involucradas en la flexión (tracción y compresión). Los vasos y el parénquima axial disminuyen la resistencia, ya que poseen paredes delgadas y gran lumen, por lo que tienden a colapsar rápidamente frente a la sollicitación de una carga. Cuanto mayor diámetro y frecuencia de vasos y mayor proporción de parénquima presente en la especie de angiosperma, menor será su resistencia. Existen numerosos estudios que relacionan características anatómicas (ancho de los anillos, la proporción de tejidos, la biometría de sus tipos celulares) y las características físicas (densidad y contracciones), con las propiedades mecánicas (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Jett, 1995; Zhang, 1997b; Müller *et al.*, 2004; Bárcenas Pazos *et al.*, 2005). Las relaciones halladas son dispares y dependen de las especies de coníferas (con transición gradual o abrupta) y de angiospermas (porosidad circular o difusa). Los defectos o anomalías presentes en la madera disminuyen notablemente sus propiedades físico-mecánicas como material.

La determinación de las propiedades mecánicas es un proceso que requiere de equipo y personal calificado, un programa, materiales y tiempo para realizar los ensayos destructivos. Los estudios anatómicos pueden significar un ahorro de tiempo y dinero, y por la relación que tienen con las propiedades mecánicas permiten en algunos casos predecirlas, pero el conocimiento preciso del comportamiento de una determinada especie puede lograrse a través del resultado de ensayos normalizados. Por otra parte, debido a la influencia que aspectos como el clima, el suelo, entre otros, ejercen sobre la estructura de la madera, el conocimiento del comportamiento mecánico de una especie está ineludiblemente vinculado a la zona de cultivo de la misma. Dentro de las propiedades mecánicas, la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión son consideradas las más importantes ya que determinan, junto a la densidad, el grado estructural para una madera aserrada y definen la calidad técnica y el valor económico de la misma (Barnett y Jeronimidis, 2003; Glos 1995a; Glos 1995b; Hoffmeyer, 1995; Steer, 1995; Walker, 2006).

No obstante, es necesario diferenciar dos modalidades existentes actualmente para la determinación de las propiedades mecánicas. La primera de ellas se basa en la realización de ensayos sobre probetas pequeñas y libres de defectos. Existen numerosos antecedentes en el mundo y en nuestro país acerca de la normalización de este tipo de ensayos. Por su relevancia, puede destacarse la norma ASTM D 143 (2007) cuya primera edición data de 1922 pero que ha experimentado actualizaciones periódicas hasta el presente. En nuestro país se encuentran vigentes en la actualidad numerosas normas IRAM cuya publicación data de varias décadas. Dentro de éstas se pueden citar las normas IRAM 9542 (1965) e IRAM 9545 (1985) para ensayos en flexión estática, IRAM 9541 (1965) para ensayos de compresión paralela a las fibras, IRAM 9547 (1977) para ensayos de compresión perpendicular a las fibras, IRAM 9596 (1990) para ensayos de corte paralelo a las fibras, IRAM 9570 (1971) para ensayos de dureza Janka, entre otras. El empleo de normas orientadas a la realización de ensayos sobre cuerpos de prueba pequeños y libres de defectos conserva aún actualmente su vigencia cuando el objetivo es conocer nuevas combinaciones especie/procedencia. No obstante, han perdido paulatinamente importancia para la determinación de propiedades destinadas al uso estructural de la madera.

La evolución de los criterios de diseño basados en los estados límite, tanto de resistencia como de servicio, y la calibración de la seguridad de los mismos, han producido, en las últimas décadas, transformaciones en la normativa de ensayo que normalmente acompaña a las reglas de diseño. En este sentido, la necesidad de conocer los valores característicos de las propiedades de resistencia y rigidez con un fundamento estadístico enlazado a la confiabilidad requerida en el diseño impulsó el desarrollo de métodos normalizados de ensayo sobre piezas de tamaño estructural. Paralelamente se produjeron importantes avances en el desarrollo de criterios, sustentados estadísticamente, tanto para el diseño de muestras como para el procesamiento de los resultados obtenidos y se consolidó definitivamente el concepto de clasificación por resistencia, tanto visual como mecánica. Habida cuenta de la importante influencia que factores como el contenido de humedad, la duración de la carga y el esquema estático, entre otros, ejercen sobre el comportamiento mecánico de la madera, las modernas normas que estandarizan los ensayos para hacer comparables los resultados en el plano internacional, estipulan con precisión estos factores.

Un ejemplo claro de este avance es el experimentado en Europa, donde las reglas de diseño adoptadas por el Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1, 2005) a partir de la década de 1990, fueron acompañadas por normas para ensayos sobre piezas de tamaño estructural (EN 408, 2010), de análisis estadístico (EN 384, 2010) y a su vez las distintas combinaciones especie/procedencia pueden insertarse en un sistema internacional de clases resistentes para uso estructural (EN 338, 2010). En nuestro país se encuentra próxima a su publicación la norma IRAM 9663-1 que por primera vez en nuestro medio establece métodos de ensayo estáticos sobre piezas de tamaño estructural, y la norma IRAM 9664, que normaliza la base estadística requerida para el muestreo y el procesamiento de los resultados. Estas dos normas serán de gran utilidad en el futuro para sustentar el Primer Proyecto Argentino de Estructuras de Madera –CIRSOC 601- actualmente en trámite de aprobación. Adicionalmente, el conocimiento de las relaciones existentes entre las distintas propiedades mecánicas constituye un factor favorable para el conocimiento integral de una especie. El enorme esfuerzo que significa, en particular para un país con poca tradición en la temática como Argentina, la determinación de todas las propiedades mecánicas, se puede simplificar con suficiente grado de aproximación conociendo el valor característico de la resistencia a flexión, el valor medio del módulo de elasticidad y el valor característico de la densidad. De estas propiedades, consideradas fundamentales por el sistema europeo establecido en la norma EN 338 (2010), pueden derivarse las restantes y ese criterio fue adoptado por las normas IRAM 9663-1 y 9664 que se encuentran en el trámite final de aprobación como fue mencionado anteriormente.

No obstante la consideración que debe hacerse de las dos modalidades actualmente imperantes en el plano internacional para la determinación de las propiedades mecánicas de la madera, ya descriptas más arriba, es necesario recalcar que a través de cada una de ellas es posible lograr importantes aportes para el conocimiento de este material. Desde esta perspectiva puede considerarse que cuando se investiga una especie de una determinada procedencia en forma inicial, como es el caso de la presente tesis, no es común que el abordaje de los ensayos se haga sobre cuerpos de prueba para tamaño estructural. En estas circunstancias resulta más conveniente determinar las propiedades mecánicas más importantes sobre probetas libres de defectos para luego analizar su interrelación con otras propiedades del material y avanzar en esa línea sobre



el conocimiento general de la especie. La decisión de investigar una especie para uso estructural suele ser posterior al conocimiento básico de la misma y en ella inciden factores tanto técnicos como económicos y culturales (Glos y Lederer, 2000).

### 2.1.1.3. DEFECTOS DE LA MADERA

Los defectos o anomalías presentes en la madera disminuyen notablemente las propiedades estéticas y físico-mecánicas de la madera como material. Pueden clasificarse en defectos de estructura (nudos, grano, tensiones de crecimiento, grietas, rajaduras, madera de compresión, madera juvenil, etc) y defectos de forma o alabeos (abarquillado, combado, encorvado y revirado).

Se definen en particular algunos de los defectos considerados más importantes y que se incluyen en la Tesis.

Nudos: Los nudos están considerados dentro de las características o defectos más importantes de la madera (Hoffmeyer, 1995; Glos, 1995a). Su presencia, que puede ser en calidad de nudos individuales o agrupados –sobre todo en las coníferas-, está directamente relacionada con el comportamiento mecánico del material pero también con aspectos estéticos. El nudo es más duro, más denso que la madera que lo rodea. Frecuentemente, dependiendo de la especie, contiene kino y/o gomas (extractivos) y se contrae de forma diferente que la madera circundante. Por lo tanto, una pieza con nudos fijos puede incrementar la dureza y la resistencia a la compresión, pero a su vez disminuye la resistencia a tracción y flexión. También ve afectadas las características superficiales de lisura, no toma las pinturas y barnices, no se puede cepillar bien y se incrementa enormemente la tarea de aserrado. La disminución de la resistencia se debe fundamentalmente a la reducción del área de la sección transversal que puede transferir los esfuerzos y a la desviación localizada de las fibras que se produce alrededor del o los nudos. En referencia a la medición de los defectos en general, y en particular de los nudos, es necesario considerar la extendida aplicación que ha tenido la norma europea EN 1310 (1997). Si bien los métodos de clasificación consideran diversos defectos o características con influencia sobre la calidad de la madera, los problemas expuestos anteriormente en referencia a la presencia de nudos pueden considerarse dentro de las

principales causas que han motivado el desarrollo de métodos de clasificación que limitan su tamaño conforme al grado de calidad adoptado. No obstante es importante distinguir, en este sentido, la clasificación fundada sobre conceptos de comportamiento mecánico (por resistencia) de la basada en el aspecto del material.

La clasificación por resistencia puede ser visual o mecánica y se basa en estudios de correlación entre los defectos, en este caso la nudosidad, y el comportamiento mecánico. La nudosidad es normalmente medida estableciendo la proporción del tamaño del nudo y las dimensiones de la sección transversal de la pieza, existiendo al respecto numerosos criterios que están relacionados tanto a aspectos culturales como a fundamentos estadísticos (ASTM D 245, 2006). La clasificación visual por resistencia se basó en la tradición y en la experiencia hasta finales del siglo diecinueve, aprovechando los conocimientos regionales de las especies y sus anomalías más importantes (Glos, 1995a). La evolución experimentada desde las primeras décadas del siglo veinte hasta el presente, ha ido acompañada de la redacción de rigurosas normas de clasificación por parte de los países que más utilizan este recurso, tanto a través de especies latifoliadas como de coníferas (ASTM D 3737, 2007; DIN 4074-1, 2008; DIN 4074-5, 2008). No obstante, la complejidad y la cantidad de grados de calidad elegidos deben ser evaluados convenientemente con el fin de posibilitar una aplicación real y eficiente de los métodos en los procesos ligados a la producción, comercialización y utilización del material. No sería lógico establecer un número elevado de clases si no se cuenta con un método de clasificación con la confiabilidad necesaria, que permita distinguir con precisión las propiedades de las mismas, y que sea asimilable por las personas que deben llevarlo a cabo. A su vez se debe considerar el aprovechamiento económico del material, es decir que la producción real de los aserraderos quede equilibradamente incluida en el sistema. Con el fin de mejorar la precisión de los métodos visuales de clasificación por resistencia, ya en la década de 1960 fueron desarrollados procesos mecánicos en Australia, Estados Unidos, Reino Unido, y con posterioridad en otros países (Glos, 1995a). Este mecanismo, si bien es más costoso, convenientemente ajustado presenta ventajas desde el punto de vista de la confiabilidad de los resultados, a la vez que una velocidad de operación muy elevada. En este sentido debe señalarse que las máquinas pueden clasificar más de 100 metros lineales de tabla por minuto. Por su parte, permiten determinar otros parámetros, tales como el módulo de elasticidad y la densidad, que están mejor correlacionados con las propiedades

resistentes que aquellos que se detectan en la clasificación visual. A consecuencia de las inversiones que requiere, su empleo puede adoptarse si existen volúmenes importantes de material para clasificar. Los métodos mecánicos de clasificación por resistencia han adquirido un desarrollo importante en los países desarrollados para su aplicación a las tablas destinadas a la construcción de vigas laminadas encoladas (Glos y Diebold, 1994). En Argentina no existen hasta la fecha experiencias consolidadas referidas a la clasificación mecánica por resistencia y la norma IRAM 9662 (2006) contempla solamente métodos de clasificación visual para tablas de tres especies cultivadas en el país y destinadas a la construcción de madera laminada encolada estructural.

La clasificación por aspecto, generalmente visual, tiene por objetivo fundamental separar las piezas en distintos grados de calidad que difieren estéticamente, y es empleada intensamente cuando el material está destinado a formar parte de un ambiente que capitalice la calidez y el buen aspecto de la madera. En numerosas ocasiones este tipo de clasificación se torna indispensable para acceder con el material a mercados de alto valor agregado, vinculados entre otros a la carpintería, muebles, pisos, etc. En particular, en Argentina, la protección de las especies autóctonas que por razones ecológicas se tiende a implementar, ha impulsado la utilización de maderas provenientes de forestaciones en productos de alto impacto económico. Desde esta perspectiva se explica la adopción de métodos de clasificación por aspecto que en muchos casos han aplicado empresas siguiendo su experiencia propia y que en otros han merecido la redacción de reglas propuestas por especialistas o instituciones afines al sector. A manera de ejemplo, se cita el método para madera de *E. grandis* de Argentina (Shield, 2007).

Grano: es la orientación de los elementos del sistema axial con respecto al eje vertical del tronco. Cualquier desviación de los elementos con respecto al eje vertical se considera un defecto para la madera sobre todo para los usos estructurales o como madera redonda (orientaciones oblicuas o entrecruzadas). Existen excepciones como en determinadas aplicaciones no estructurales como las láminas para enchapados, en donde las desviaciones del grano determinan figuras muy decorativas y buscadas.

El grano (fibra) puede ser espiralado u oblicuo en coníferas con una orientación izquierda o derecha que puede incrementar su inclinación con la edad del ejemplar. El

origen de este grano está relacionado con divisiones pseudo-transversales en las iniciales cambiales fusiformes. Estas divisiones se orientan en una dirección y la elongación de las nuevas iniciales formadas induce a esta inclinación.

El efecto del grano espiralado en la utilidad de la madera depende un poco de la severidad de la inclinación y de la aplicación. En general reduce seriamente la resistencia y rigidez de la madera, contribuye al alabeo, rajaduras y grietas de los postes o madera redonda, aumenta la rugosidad y acabado superficial de la pieza de madera aserrada. Los límites para la inclinación del grano o fibra se establecen en relación al grado de calidad al cual se asigna una pieza de madera y normalmente oscilan entre 160 mm / m para los menos exigentes y 70 mm /m para los de mayor calidad (DIN 4074-5, 2008).

Grietas y rajaduras: son rupturas de la madera a lo largo del grano que ocurren durante el secado de la madera. Se producen por dos causas principales: la contracción diferencial radial y tangencial y por la contracción diferencial de las distintas capas de tejidos ocasionados por diferencias en el contenido de humedad. Al comienzo del secado las capas superficiales de la tabla comienzan a secarse primero y se contraen, sin embargo el centro de la tabla todavía está con un contenido de humedad alto y no sufre cambios en sus dimensiones, por lo que el centro hace de controlador de la contracción superficial en este estadio del secado. En consecuencia, la superficie está en tensión y el centro en compresión. Cuando el secado avanza las condiciones se invierten. Estas diferencias en las fuerzas interiores de las tablas y la velocidad e intensidad con la que se generan, producen como resultado la aparición de grietas y rajaduras de mayor o menor gravedad para el uso final.

Las grietas superficiales son un defecto menor ya que en general se las elimina con el cepillado de la tabla. Las grietas más profundas o las rajaduras pueden afectar las características de terminación de la madera y disminuyen la resistencia sobre todo al corte. Las normas de clasificación normalmente establecen límites para las grietas y rajaduras y esos límites varían si las mismas son pasantes y no pasantes así como si son de extremo o no (EN 14081-1, 2006; IRAM 9662, 2006)

Otros defectos: La presencia de médula, usualmente asociada a fisuras, ocasiona en determinadas especies un disminución de la calidad de la madera que se manifiesta tanto desde el punto de vista estético como de su comportamiento mecánico. Un caso particular que ha sido investigado ampliamente en nuestro país es el de la madera aserrada de *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia de nuestro país (Piter *et al.*, 2004a; Piter *et al.*, 2004b; Sosa Zitto *et al.*, 2009). Como consecuencia de la influencia negativa que la presencia de médula ejerce sobre la madera de esta especie, que afecta tanto el comportamiento mecánico como la trabajabilidad del material, la norma IRAM 9662 (2006) no acepta la utilización de tablas con la presencia de esta característica en la fabricación de madera laminada encolada.

Los ataques biológicos producidos por hongos cromógenos suelen estar limitados en reglas de clasificación por aspecto pero no en la clasificación por resistencia. El ataque de hongos xilófagos, causante de los distintos tipos de pudrición, normalmente no se admite. La presencia de orificios producidos por insectos xilófagos es normalmente limitada en cuanto al diámetro del agujero como en la cantidad de los mismos (IRAM 9662, 2006). Los defectos de aserrado, o daños mecánicos en general, así como deterioros de características particulares son habitualmente limitados por analogía con otros de presencia más común en este material.

## 2.2.2. VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA MADERA

La variabilidad de la madera ocurre: a) dentro del árbol, b) entre árboles de una misma especie, c) en ocasiones ocurre entre poblaciones de una especie en una sola localidad, d) con frecuencia ocurre entre poblaciones de una especie que crecen en diferentes áreas geográficas y e) entre especies, (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988).

### 2.2.2.1. La variación dentro del árbol.

La variación de la madera dentro de un árbol se origina por tres causas. Una de ellas es la formación, en zonas templadas, de madera **de primavera o temprana versus madera tardía** o de verano dentro de un mismo anillo de crecimiento. Las diferencias

climáticas primavera/verano condicionan la actividad formadora de madera resultando una madera temprana de células más cortas, de paredes más delgadas y de mayor diámetro radial que las de la madera tardía o de verano, que se destacan por el grosor de sus paredes tangenciales y estrechos lúmenes. El pasaje de un tipo celular a otro dentro de una misma estación de crecimiento puede ser relativamente progresivo o abrupto según las especies, y es generalmente abrupto entre estaciones de crecimiento (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Plomion *et al.*, 2001; Dejardin *et al.*, 2010).

La otra causa de variación dentro del árbol es la presencia de **madera juvenil y de madera madura**. Es reconocida en la literatura, sobre todo en referencia al leño más simple de las coníferas, la variación de las propiedades de la madera ocurrida desde la médula hacia la corteza y desde la base del árbol hacia el ápice. Estas variaciones son la manifestación de la formación de madera con diferentes características a medida que el árbol y el cambium avanzan en edad. Se suma al factor “edad del cambium”, la naturaleza de los cambios postcambiales que sufren los distintos tipos celulares. En este contexto surgieron los conceptos de madera juvenil y madera madura y el reconocimiento de las propiedades y problemas tecnológicos asociados a la formación de estos dos tipos de maderas (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Plomion *et al.*, 2001).

En el campo de las ciencias biológicas es completamente esperable, entonces, que la madera varíe al interior del árbol, aunque éste crezca en un ambiente externo relativamente invariable (Savidge, 2003). Se reconocen en la literatura patrones típicos de variación radial y axial de la morfometría celular y de las propiedades de la madera, sobre todo de su densidad, tanto para coníferas como para latifoliadas (Panshin y de Zeeuw, 1980) que formarán parte de la discusión del presente trabajo.

La madera juvenil se produce en árboles jóvenes y en las jóvenes regiones apicales de árboles maduros, los que además también producen madera madura. La madera juvenil es menos densa (paredes celulares delgadas y con poca abundancia relativa de madera de verano), de mayor ángulo microfibrillar y diferente composición química que la madera madura, lo que asegura flexibilidad a los jóvenes árboles en contraposición a las mayores resistencias mecánicas que la madera madura otorga a los viejos árboles (Zobel y Talbert, 1988; Dejardin *et al.*, 2010). Se reconoce topográficamente en el fuste de un

árbol maduro la presencia de un cilindro interno de madera juvenil, que contiene a la médula, también llamado madera de corazón, madera interna, madera de médula, madera inmadura. Este cilindro ha sido formado como resultado de la actividad del cambium durante edades tempranas del árbol. Además se encuentra madera madura desde la región basal hasta diferentes alturas en el fuste dependiendo de la edad cronológica del árbol (Hillis, 1980; Yang *et al.*, 1994; Yang y Benson, 1997).

La madera juvenil, frente a la madera madura, es débil en usos como madera sólida debido a su menor densidad y menores resistencias mecánicas. Presenta problemas de secado, y produce pulpas y papeles bastante distintos a los elaborados con madera madura (Hillis, 1980; Zobel y Talbert, 1988). Sin embargo, se acepta que en la madera de latifoliadas, las diferencias entre las propiedades de madera juvenil y madura son relativamente modestas (Jett y Zobel, 1975). En general la madera juvenil se forma durante los primeros 5-25 años dependiendo de las especies, pasándose, también por lo general, de una manera gradual (zona de transición) a la formación de madera madura. El límite entre madera juvenil y madura no está aún claro y diferentes autores lo han estudiado en base a diferentes criterios como el ancho de los anillos de crecimiento, los cambios en sentido radial de la densidad y del largo de fibras (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Yang *et al.*, 1994).

La tercera causa de variación de la madera dentro del árbol es la formación de **madera de reacción**, en particular **madera de tensión** para latifoliadas. La formación de madera *per se* no es suficiente para que el árbol regule su enorme cuerpo. El manejo de los patrones de tallo y ramas es regulado a través de la formación de madera de reacción, tejidos especiales que pueden forzar al tallo y ramas hacia una cierta orientación para mantener un equilibrio favorable en el espacio. En respuesta a una orientación no vertical o no óptima del tallo causada por vientos, nieve, pendientes, o asimetría en la forma de las copas, es que se forma este tipo de madera (Du y Yamamoto, 2007). Esta madera anormal/especial, tiene características morfológicas y químicas tan diferentes respecto a la madera normal, que su presencia se vuelve un problema importante frente a todos los usos de la madera, aunque represente beneficios para el árbol desde el punto de vista fisiológico y morfológico. Posee, respecto a la madera normal, menor contenido de lignina, mayor contenido de celulosa, menor tamaño y número de vasos y menor ángulo microfibrillar en la capa S<sub>2</sub> de las paredes celulares. En latifoliadas para usos

sólidos, la presencia de madera de tensión incrementa las contracciones longitudinales, radiales y tangenciales durante el secado y por lo tanto los defectos de forma (alabeos) de las tablas aserradas (Zobel y Talbert, 1988; Plomion *et al.*, 2001; Du y Yamamoto, 2007; Dejardin *et al.*, 2010).

Actualmente se considera que, en base a estudios sobre todo en coníferas, los estímulos iniciales o primarios para la formación de la madera de reacción son variados e implican aquéllos de naturaleza gravitacional, de naturaleza mecánica y de naturaleza bioquímica (Du y Yamamoto, 2007). La formación de madera de reacción es un fenómeno gravitrópico pero regulado por un complejo mecanismo, que en latifoliadas parece serlo principalmente por las hormonas auxinas y giberelinas (Funada *et al.*, 2008). Es necesario conocer más acerca de la regulación del gravitropismo y crecimiento de los árboles antes de que el mecanismo de la formación de madera de reacción pueda ser dilucidado (Du y Yamamoto, 2007).

La ocurrencia de estas tres causas intrínsecas de variación de la madera dentro de un árbol produce como resultado las correspondientes variaciones en sentido radial y axial de las propiedades estructurales (tamaños celulares, composición química), físicas y mecánicas de la misma. Numerosas investigaciones han permitido observar y modelar estas variaciones, sobre todo en referencia a la densidad que, como se dijo, se relaciona con las demás. Panshin y de Zeeuw (1980), Downes *et al.* (1997), y Kojima *et al.* (2009) revisan y describen tipologías de variación para la densidad y tamaño de las células que serán discutidas en los apartados correspondientes del presente trabajo.

#### 2.2.2.2. La variación en las propiedades de la madera entre árboles de una misma especie y edad, creciendo en un mismo sitio.

La densidad así como otras propiedades de la madera varían ampliamente de un árbol a otro. En todas las características que se han estudiado hasta la fecha se ha encontrado esa variación, independientemente de la especie o de los sitios de que se trate. (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988). La existencia de variación individual entre los árboles es de gran importancia en los programas de mejoramiento genético forestal.



### 2.2.2.3. Variación de la madera de una misma especie entre diferentes sitios y áreas geográficas.

Cualquier factor que afecte el patrón de crecimiento de un árbol puede afectar también las propiedades de la madera. Por lo tanto, la calidad de sitio que ofrecen diferentes áreas geográficas a las masas forestales naturales y/o áreas de introducción para las masas exóticas, pueden producir variaciones en las propiedades de la madera. Algunas de estas variaciones tienen una causa principalmente ambiental, no de base genética, es decir no son heredables (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988).

La relación crecimiento / propiedades de la madera se ha estudiado con detalle, es confusa y compleja debido al número de factores que afectan tanto a las propiedades de la madera como al crecimiento, lo que impide hacer afirmaciones definitivas. En ocasiones la confusión se ha originado en inadecuados muestreos que entrañaron comparaciones madera juvenil/madera madura sin notarlo.

En muchas coníferas, factores genéticos y de manejo (ambientales) que mejoran la tasa crecimiento o la forma del árbol son bastante independientes de aquéllos relacionados con la densidad, por lo tanto, mayores crecimientos pueden significar mayores, iguales o menores valores de densidad. En latifoliadas las relaciones son más complejas pero existe similar controversia. Una relación directa y positiva entre crecimiento y densidad se ha encontrado en especies de porosidad circular (*Fraxinus*, *Quercus*), pero esa tendencia no es la generalidad en especies de porosidad difusa como *A. melanoxydon* (Zobel y Talbert, 1988).

En relación al tamaño de las células, parece ser que cualquier tratamiento ambiental que hace que una conífera crezca más rápido, da como resultado células más cortas, lo que ha sido explicado por la velocidad con que ocurren las divisiones transversales de las células cambiales lo que impediría que las células diferenciadas alcancen su longitud total. Este patrón puede invertirse en latifoliadas como se ha demostrado en especies del Género *Populus* (álamos), donde los árboles de crecimiento más rápido poseen fibras más largas. En la actualidad la relación longitud de fibras-crecimiento no se ha estudiado con detalle en la mayoría de las especies latifoliadas (Zobel y Talbert, 1988).

### 2.2.3. CALIDAD DE LA MADERA

La calidad de la madera puede modificarse por la elección de procedencias adecuadas, por métodos genéticos y por intervenciones silvícolas. Estas últimas (edad de rotación, espaciamiento, fertilización, raleos) modifican el crecimiento y la forma de los árboles.

Los métodos genéticos se sustentan en que la mayoría de las propiedades de la madera varían de moderadamente a muy heredables, algunas de ellas genéticamente independientes entre sí (densidad y largo de fibras), otras no tanto (grosor de pared y densidad, o las características métricas de las fibras entre sí). Se ha encontrado un importante patrón hereditario para casi cualquier propiedad de la madera, pero el énfasis se ha puesto en la densidad, propiedad que está cerca de ser la característica ideal para manipularse genéticamente debido a la gran variación que existe de un árbol a otro, a su gran heredabilidad, a su mínima interacción genotipo-ambiente y a sus importantes efectos sobre el rendimiento y la calidad de diferentes productos. Tanto en latifoliadas como en coníferas el rango de heredabilidad para la densidad está entre  $h^2=0,5$  y  $h^2=0,7$ . Del mismo modo, las componentes del tamaño celular (longitud, ancho y espesor de fibras/traqueidas) muestran marcada heredabilidad y una variación entre árboles similar a la de la densidad. Un área del mejoramiento que ha sido muy ignorada es la de obtención de maderas de calidad para usos sólidos especiales como la fabricación de muebles o ebanistería. Se ha hecho lo suficiente como para saber que se pueden lograr interesantes avances con el mejoramiento genético en esta área. Aunque se han desarrollado menos estudios en latifoliadas que en coníferas, se cuenta con bastante información acerca de la genética de la madera de latifoliadas. Los patrones hereditarios están razonablemente establecidos aunque, por la complejidad de estas maderas, los resultados son menos predecibles (Zobel y Talbert, 1988).

### 2.2.4. LA MADERA DE *Acacia melanoxylon*

Desde hace más de un siglo *Acacia melanoxylon* es considerada internacionalmente como una de las maderas más decorativas del mundo, perteneciendo a la categoría del nogal, caoba y teca (Nicholas y Brown, 2002) y ha sido el puntal de la industria de muebles finos de Tasmania (Tasmanian Timber Promotion Board, 2012).

En general se la considera un material fácil de procesar como madera sólida, láminas y chapas, es empleada en la elaboración de muebles –ebanistería-, de paneles, de revestimientos interiores y tonelería. Fácil de aserrar, con bajos niveles de colapso en comparación con otras latifoliadas, es relativamente fácil de secar, con bajas contracciones y pocas dificultades para el faqueado y el debobinado si los rollizos no tienen nudos (Nájera y López, 1969; Gleason, 1986; Campos *et al.*, 1990; Searle, 2000). En Chile, al producto de los raleos se lo ha utilizado como materia prima en la fabricación de tableros de partículas (Pelen *et al.*, 1998) o como leña de alto poder calórico (Siebert y Bauerle, 1995).

Su densidad permite considerarla como una madera semipesada, con valores que oscilan entre 465-670 Kg/m<sup>3</sup>. Se ha informado una destacada variación entre árboles, entre procedencias y sitios para este atributo (Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002; Igartúa y Monteoliva, 2009; Igartúa *et al.*, 2009; Tasmanian Timber Promotion Board, 2012). Asimismo, la edad del cambium o edad fisiológica que determina la presencia de madera juvenil, es el factor más significativo en las variaciones en densidad dentro de cada tallo (Harris y Young, 1988; Igartúa *et al.*, 2009).

Sobre su estructura anatómica se ha informado la presencia de poros poco abundantes y de tamaño variable, dispuestos en porosidad difusa. Los radios leñosos son finos, de color más claro que el resto de la madera. Los anillos están muy marcados, presentando un contraste entre la zona de primavera y la de verano, por el color marrón oscuro de esta última. Sin parénquima destacable a simple vista. Su textura es homogénea y el grano derecho u ocasionalmente ondulado (Nájera y López, 1969).

Posee albura y duramen perfectamente diferenciados y sus principales atributos tecnológicos están relacionados con el duramen, su contenido y su color, características, éstas, muy variables, que parecen estar influenciadas en mayor medida por el medio ambiente (Nicholas y Brown, 2002). La madera del duramen comúnmente es de color marrón dorado o pardo amarillento, a menudo conteniendo vetas más oscuras o rayas rojizas; la albura es pálida (Searle, 2000). Produce madera de tensión que tiende a evidenciarse dentro del duramen como madera más oscura, densa y dura. Sin embargo, la madera de tensión causa pocos problemas en el secado y su coloración agrega mucho

al carácter de la pieza cuando no se necesita combinar el color, por lo que su presencia puede considerarse menos defectuosa que en otras especies (Harris y Young, 1988; Nicholas y Brown, 2002).

En Australia y Nueva Zelanda se la indica como una madera que tiene una dureza de entre 4,23 – 4,60 kN (sin estacionar), y entre 4,89 – 6,60 kN (estacionada). Se indican niveles insignificantes de colapso, con valores de contracción del orden de 1,5% en sentido radial y 4% de contracción tangencial. En cuanto a su durabilidad, allí se la clasifica como moderadamente durable, no considerándosela apta para estar en contacto con el suelo, ni en situaciones de exposición a la intemperie pero sí en usos interiores (Nicholas y Brown, 2002; Tasmanian Timber Promotion Board, 2012).

Es relativamente fácil de secar y las tablas aserradas tienen contracciones radiales y tangenciales mínimas si el secado es en horno. Tiene un pequeño colapso interno si se la seca al aire durante varios meses antes de llevarla al horno. Luego de acondicionar a 70°C, las tablas pueden seccionarse en chapas de 0,5 mm de espesor sin dificultad. Los rollizos son moderadamente fáciles de debobinar si no tienen nudos, a pesar de que las chapas podrían abrirse o alabearse durante el secado. No hay problemas con el teñido. Los extractivos encontrados en el duramen pueden ocasionar dermatitis y algunas alergias (Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002).

La investigación desarrollada en Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica indica que la selección genética puede mejorar características económicamente importantes de su madera. Ha sido determinada una importante variación entre procedencias geográficas y entre árboles dentro de procedencias para características claves como densidad básica, contenido de humedad, altura, diámetro y forma de los tallos, porcentaje y color del duramen. Esto indica el valor potencial de una cuidadosa selección del material genético en la especie (Searle, 2000).

En relación a sus mercados, los más consolidados corresponden a Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica, citándose, en el año 2002, un valor de US\$ 3000 por m<sup>3</sup> de madera aserrable sin nudos, en comparación, con *Pinus radiata* que cotizó US\$ 750 - 800 por m<sup>3</sup>. En Australia se producen bonificaciones en el precio relacionadas con el

color de su duramen (Nicholas y Brown, 2002; Tasmanian Timber Promotion Board, 2012).

En Argentina y Chile no existe un mercado formal de la madera de *A. melanoxylon*. Sin embargo, en éste último país, se desarrollaron transacciones que la involucraron como leña y materia prima pulpable, teniendo un mercado atractivo a nivel de estos productos. También se han producido exportaciones como madera aserrada con destino a Australia principalmente y, en menor medida a Sudáfrica (INFOR-CONAF, 1997).

## ***CAPÍTULO 3 – MATERIALES Y MÉTODOS***

---

En este Capítulo se hará referencia a los procedimientos metodológicos utilizados para el desarrollo de la investigación en sus dos dimensiones principales. Por una parte, la investigación sobre el recurso forestal regional en términos de las condiciones y características de su desarrollo y de las existencias en volumen comercial en pie. Por otra, los estudios de las características tecnológicas de su madera en relación a los usos como material sólido.

### **3.1. EL RECURSO REGIONAL DE *Acacia melanoxylon* , CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DE SU DESARROLLO, EXISTENCIAS EN VOLUMEN COMERCIAL**

#### **3.1.1. SELECCIÓN DE LOS SITOS Y PARCELAS DE ESTUDIO**

El material de estudio correspondió a masas de *Acacia melanoxylon* implantadas en los Partidos de Balcarce, Gral. Alvarado y Mar Chiquita, de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 3-1). La selección de los sitios se sustentó en la información primaria lograda oportunamente a través de entrevistas a informantes calificados y de inspecciones de masas para reconocer y localizar el recurso. Se desarrollaron, *a posteriori* entrevistas en profundidad con los administradores o propietarios de los establecimientos que mostraron interés y aceptación para permitir seleccionar en ellos las parcelas de estudio y muestreo.

El área sudeste de la provincia de Buenos Aires definida en la presente investigación abarca tres grandes dominios geo-edáficos: al norte, el área de los derrames hacia la Pampa Deprimida; al centro, el área peri serrana de la Tandilia (Sierras del Tandil) con eje NO-SE; al sur, la llanura inter serrana entre Tandilia y Ventania (Sierras de la Ventana). El concepto central para calificar a los suelos de todos los sitios estudiados es el del “argiudol típico” (Culot, 2000). Los criterios y circunstancias que determinaron la selección de sitios y delimitación de parcelas de estudio fueron: a) cubrir la variación geo-edáfica descrita para la región, b) elegir masas normalmente pobladas según lo indica la Ordenación Forestal, y c) la aceptación por parte de los propietarios de los establecimientos.

Los sitios seleccionados, en cada uno de los cuales se delimitó una parcela de estudio fueron (Figura 3-1):

1. Mar Chiquita (MCh) ubicado en el límite entre el área peri serrana de la Tandilla y la zona de los derrames hacia la Pampa Deprimida ( $37^{\circ}43'58''$  S;  $57^{\circ}27'18''$  O; 1msnm).
2. Cinco Cerros (CC) ( $37^{\circ}43'59''$  S;  $58^{\circ}14'30''$  O; 163 msnm.) ubicado en el área peri serrana.
3. Los Tuelches (LT) ( $37^{\circ}55'67''$  S;  $58^{\circ}06'27''$  O; 155 msnm) ubicado en el área peri serrana.
4. Las Cortaderas (LC) ( $38^{\circ}17'29''$  S;  $58^{\circ}09'09''$  O; 31 msnm) ubicado al sur de la región de estudio, al inicio de la llanura interserrana entre el sistema de Tandilla y el de Ventania (Sierras de la Ventana).





Figura 3-1. Localización del área de estudio, A: la provincia de Buenos Aires-Argentina, B: los sitios de muestreo en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires, (1) Mar Chiquita, (2) Cinco Cerros, (3) Los Tuelches y (4) Las Cortaderas.

### 3.1.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

Los regímenes de temperatura y precipitaciones son factores importantes en la definición del tipo y estructura de la vegetación, y en consecuencia, de su productividad. Para especies forestales que se introducen como exóticas fuera de su área de origen, las analogías climáticas entre dichas áreas y las de introducción resultan comparaciones efectivas para evaluar su adaptación en los nuevos ambientes (Pita Carpenter, 1971; Golfari, 1975). Estos autores han citado por su pertinencia para este tipo de comparaciones los siguientes elementos de los regímenes térmico e hídrico, que fueron también considerados en el presente trabajo: temperatura media anual, media del mes más frío y media del mes más cálido, temperatura media del período vegetativo (octubre-noviembre-diciembre-enero-febrero-marzo, en el hemisferio sur), mínima media anual, mínima absoluta, máxima media anual y máxima absoluta, distribución anual de las precipitaciones, precipitaciones estivales y precipitación media del período vegetativo.

Para establecer la analogía climática entre la zona de origen de *A. melanoxylon* y la región de estudio en el Sudeste de la provincia de Buenos Aires, se seleccionó la información de localidades australianas localizadas en correspondencia latitudinal con la región de estudio. Ellas pertenecen al Estado de Victoria (Hamilton, Orbost y Macedon Forestry) y a la zona norte de la isla de Tasmania (Marravah, Scottsdale y Sheffield). La fuente de información fue el Área de Meteorología del gobierno de Australia (Bureau of Meteorology Australian Government, 2008).

En la región de estudio, la información climática disponible correspondió a las localidades de Balcarce y Mar del Plata. La fuente de información para Balcarce fue la estadística agro meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA (EEA-INTA Balcarce, 2008) y de la Estación Experimental Agropecuaria Castelar del INTA (EEA-INTA Castelar, 2008). En tanto para Mar del Plata, lo fue la estadística del Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina (SMN, 2008).

Con el fin de caracterizar los suelos y paisajes de los sitios involucrados en este trabajo, los mismos se ubicaron sobre la superficie del globo mediante posicionamiento satelital (GPS marca Garmin, modelo Extreme 500). Una vez tomados los puntos perimetrales

de las parcelas la información fue convertida al formato shape (shp) y procesada en el programa ArcView 3.x, calculándose sus superficies. La información vectorial se convirtió a formato compatible con Google Earth (KLM) para posteriormente identificar en el Sistema de Información Geográfica (SIG) desarrollado localmente, las unidades cartográficas correspondientes. La información edáfica volcada en este SIG local corresponde a la publicada en las Cartas de suelos de la República Argentina cuya cartografía es a escala 1:50000 (INTA-CIRN, 1979). La clasificación de los suelos se corresponde a la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 2006) y las tierras se caracterizaron mediante el Sistema propuesto por Klingebiel y Montgomery (1961).

### 3.1.3. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL VOLUMEN, LA ESTRUCTURA, LA COMPOSICIÓN, Y EL CRECIMIENTO DE LAS MASAS

En el presente trabajo interesó el volumen como contenido sólido, expresado en unidades cúbicas [m<sup>3</sup>], en adelante “volumen”. La definición de objetos físicos en el árbol para la determinación del volumen (cubicación) se desarrolló según Caillez (1980). El tocón tuvo su límite superior entre los 15-30 cm sobre el nivel del suelo. La base de la copa o punto de copa, se definió como el lugar donde la copa claramente inicia su ramificación, y el fuste, como la parte del tallo situada entre el tocón y la base de la copa. La altura del árbol hasta el punto de copa se consideró la altura comercial y hasta el límite superior de la copa, la altura total.

En el campo de la Dasometría, se ha definido como “diámetro normal” o de referencia al diámetro a una altura sobre el suelo que en la mayoría de los países que usan el sistema métrico es de 1,3 metros. El diámetro normal también recibe la denominación de Diámetro a la Altura del Pecho (DAP). Esta altura es cómoda para la medición y está algo alejada de la influencia del ensanchamiento que se produce en la base del árbol (Pardé, 1961; Mutarelli, 1963; Caillez, 1980; Prodan *et al.*, 1997).

El DAP se determinó como el promedio de dos mediciones directas realizadas con forcípula de aluminio, una en sentido norte-sur, y la otra en sentido este-oeste, siguiendo las prescripciones de Caillez (1980) y Prodan *et al.* (1997) en el caso de terrenos y/o árboles inclinados y árboles bifurcados sobre o bajo el DAP.

### 3.1.3.1. LA CUBICACIÓN DE ÁRBOLES INDIVIDUALES

Esta tarea puede realizarse por diferentes mecanismos dentro de los que se mencionan el empleo de fórmulas volumétricas, los métodos gráficos o planimétricos y las curvas de perfil. En el presente trabajo se empleó una de las fórmulas volumétricas más utilizadas, la fórmula de Smalian (Mutarelli, 1963, Caillez, 1980; Prodan *et al.*, 1997). Dicha fórmula se aplicó en el marco de una cubicación compuesta, tarea que implicó el apeo de los árboles, en oposición a las cubicaciones simples que se desarrollan sobre árboles en pie. La pieza de interés fue el fuste, el que se dividió en trozas, cada una de las cuales fue dimensionada para el cálculo de su volumen con y sin corteza según la expresión [1]. La sumatoria de los volúmenes de cada troza constituyó el volumen comercial real del árbol

$$V = \frac{(B + b)}{2} L \quad [1]$$

donde:

V= Volumen (con o sin corteza) de la troza, en m<sup>3</sup>

B, b= Áreas (con y sin corteza) de la secciones superior e inferior de la troza, en m<sup>2</sup>

L = Longitud de la troza en m.

El coeficiente mórfico (CM) que es una valoración de la conicidad del tronco es decir, una valoración del decrecimiento del diámetro a lo largo del tronco fue definido por Pardé (1961) como el cociente entre el volumen real del árbol y el de un hipotético cilindro de diámetro igual a su DAP, y altura igual a la del árbol. En el presente trabajo este concepto se aplicó al fuste, calculando su CM como el cociente entre el volumen real del fuste y el del cilindro hipotético de similares DAP y altura total y/o comercial.

El crecimiento, conceptualizado como la relación entre la biomasa acumulada y el tiempo invertido en ese desarrollo, se expresó como “crecimiento medio anual individual”. Éste se calculó como el cociente entre el valor acumulado de la variable en el árbol (sea altura, DAP o volumen) y la edad actual del árbol (Pita Carpenter, 1971).

### 3.1.3.2. CUBICACIÓN DE LAS MASAS: EXISTENCIAS EN VOLUMEN COMERCIAL

Cada parcela (una por sitio) se tomó como una unidad de inventario desarrollándose en ellas un censo, es decir, la toma de registros sobre la totalidad de los ejemplares en pie. El procedimiento inventarial involucró las siguientes etapas:

- A) Medición y conteo de los DAP en terreno y su clasificación en clases diamétricas.
- B) Determinación, localización y apeo del árbol de diámetro promedio de cada clase diamétrica, que se constituyó en el ÁRBOL TIPO de las mismas.
- C) Cubicación compuesta de los árboles tipo.
- D) Determinación del volumen de las parcelas-sitio en base a la información de los árboles tipo

La estratificación de los DAP en clases diamétricas se dispuso para describir y analizar la estructura o forma principal de masa. El bosque o el rodal pueden tener una estructura de edad uniforme (estructura regular) o de edad no uniforme (estructura irregular). En una masa de edad uniforme típica, la distribución de los diámetros normales en clases se adecua a la función de distribución de probabilidades Normal. En una masa de edad no uniforme, el mayor número de fustes se encuentra dentro de las clases diamétricas más pequeñas (Pita Carpenter, 1971; Daniel *et al.*, 1982).

Las clases diamétricas definidas en la presente investigación fueron: clase I (0-5 cm); clase II (5-10 cm); clase III (10-15 cm); clase IV (15-20 cm); clase V (20-25 cm); clase VI (25 cm a más).

Se graficaron las distribuciones diamétricas empíricas mediante la elaboración de histogramas, excluyéndose aquellos árboles que no superaron el metro de altura y/o los 2 cm de DAP. Se analizaron las funciones de densidad (histogramas suavizados) asociadas a los histogramas de cada parcela de estudio a través de sus coeficientes de asimetría ( $\alpha$ ) y curtosis ( $\gamma$ ), calculados mediante el software de libre uso "R" (R Development Core Team, 2011). Fue evaluada también, la aproximación de las

distribuciones empíricas a la distribución de probabilidades Normal mediante el test Shapiro-Wilk operado con el citado software.

No disponiéndose de tablas de volumen para *Acacia melanoxylon*, el cálculo del volumen de las masas se apoyó en la determinación de Árboles Tipo por cada clase diamétrica, cuya cubicación aportó información dendrométrica que fue aplicada a la clase correspondiente. Sobre ellos también se desarrollaron las determinaciones de la edad. Algunos Árboles Tipo fueron luego objeto de los estudios xilotecnológicos.

Para seleccionar el Árbol Tipo de cada clase diamétrica, se estimó el área basal promedio por clase como la suma de las áreas transversales a la altura del pecho dividida por el número de árboles pertenecientes a la clase. A partir de dicha área basal media se estimó el DAP promedio de la clase. Se localizó en la masa un árbol de DAP promedio y que perteneciera al estrato de los codominantes, que se consideró el Árbol Tipo de la clase. (Pardé, 1961; Mutarelli, 1963).

A partir del volumen real con y sin corteza de cada Árbol Tipo y del número de individuos de cada clase se determinaron las existencias en volumen real por clase [ $\text{m}^3/\text{clase}$ ]. La sumatoria de los volúmenes de todas las clases diamétricas de la parcela estimó sus existencias en volumen real con y sin corteza ( $\text{m}^3/\text{parcela}$ ). Estas estimaciones fueron llevadas a la hectárea ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ). En las poblaciones estudiadas no se pudo determinar el crecimiento medio anual a nivel de masas. Debido a que las mismas resultaron de edad no uniforme, no se contó con una edad media de cada una de ellas para el cálculo de su crecimiento medio anual. La valoración apropiada del crecimiento en masas de edad no uniforme la podría brindar el crecimiento corriente anual sólo posible de determinar a partir de sucesivos inventarios en el tiempo (Pita Carpenter, 1971), lo que no fue el caso de la presente investigación.

### 3.1.3.3. DETERMINACIÓN DE LA EDAD DE LOS ÁRBOLES TIPO

La estimación de la edad se realizó en los Árboles Tipo, luego de su apeo, a partir de una rodaja basal (30 cm sobre nivel del suelo) y por observación microscópica de cortes histológicos transversales que cubrieron la totalidad del radio. El procedimiento

histológico se indicará más adelante al tratar la metodología aplicada a los estudios anatómicos.

#### 3.1.3.4. COMPOSICIÓN DE LAS MASAS

La composición de las masas en las parcelas fue analizada en términos de las diferentes especies en ellas implantadas, considerando masas puras de *A. melanoxylon* a aquellas donde el 90 % ó más de los dominantes y codominantes pertenecieron a la especie (Daniel *et al.*, 1982). Se distinguieron también las siguientes categorías en relación a la composición del vuelo de *A. melanoxylon*, individuos con fuste único, árboles bifurcados bajo el DAP (en adelante bifurcados), árboles bifurcados sobre el DAP, cepas y árboles muertos en pie. Se definió además la categoría de “árboles asociados” para dar cuenta de una situación relacionada a los hábitos de regeneración que la especie mostró notoriamente en las parcelas evaluadas. Se trató de árboles agrupados espacialmente, consecuencia del rebrote de raíces y/o de cepas (Figura 3-2).



Figura 3-2. Árbol bifurcado bajo el DAP (izq.), en adelante “bifurcados”. Árboles asociados: grupo de seis árboles (der.).

## 3.2. LA MADERA: ESTUDIOS XILOTECNOLÓGICOS

### 3.2.1. MATERIAL EXPERIMENTAL

El material experimental fue obtenido a partir de 20 árboles de *Acacia melanoxylon*, cinco por cada uno de los sitios estudiados. Estos árboles fueron seleccionados al azar con dos restricciones: pertenecer a clases diamétricas superiores (excluyendo clases I y II) y al estrato de los codominantes, en una situación de población apreciada subjetivamente como normal (Daniel *et al.*, 1982). El muestreo a campo se inició en el mes de abril de 2006 (Cuadro 3-1).

#### 3.2.1.1. EL ESQUEMA GENERAL DE MUESTREO

Un muestreo destructivo de cada uno de los veinte árboles seleccionados permitió la provisión del material experimental para todos los ensayos, excepto el correspondiente al estudio de la variación del contenido de humedad desde el apeo hasta el estado de equilibrio higroscópico en secado natural que se detallará más adelante (apartado 3.2.5.4). Se definieron cuatro alturas en el fuste: la base, la altura del pecho (AP), correspondiente a 1,3 m sobre el nivel del suelo, el 30% de la altura total (30% AT) y el 50% de la altura total (50% AT). La tarea inventarial previa (apartado 3.1.3.1) permitió apreciar que el punto de copa que define el extremo superior del fuste correspondería a no más del 50%-60% de la altura total de los ejemplares. Por ello se determinó como máxima altura de muestreo al 50% de la altura total (Figura 3-3).

La estrategia general de muestreo de cada uno de los 20 árboles implicó (Figura 3-3):

- a) el retiro, en cada altura de muestreo, de tres rodajas de 5 cm de espesor, una de las cuales se destinó al estudio del contenido del duramen y de la variación radial de la densidad seca al aire, las dos restantes a la determinación de la densidad básica según será detallado más adelante. De una de las rodajas basales



destinada a determinar densidad básica se tomó la mitad para estudiar composición química.

- b) El retiro, en cada altura de muestreo, de una troza de entre 40 cm – 60 cm de largo para las determinaciones de los cambios dimensionales. En el caso de los 5 árboles del sitio Cinco Cerros, primer material procesado (Cuadro 3-1), se omitió, por error, coleccionar material de la base para el estudio de los cambios dimensionales. Hubo un sobre-dimensionamiento de la rodaja para estudios anatómicos que impidió contar con el material para estudiar cambios dimensionales en la base.
- c) El retiro en la base de una rodaja de 10 cm de espesor para los estudios anatómicos y de morfometría celular, así como para la determinación de la edad de cada ejemplar.
- d) El retiro de dos trozas de aproximadamente 2 m de largo para los ensayos mecánicos y análisis de defectos estructurales y relativos al secado. Estas trozas representaron respectivamente la región entre AP-30% AT y la región entre 30% AT – 50% AT.

Cuadro 3-1. Fechas de ejecución de los inventarios y de los muestreos para estudios xilotecnológicos.

SITIOS	Fecha de inventario forestal *	Fecha de muestreo destructivo **
Cinco Cerros (CC)	19 abril 2006	26 abril 2006
Los Tuelches (LT)	10 noviembre 2006	24 junio 2007
Las Cortaderas (LC)	14 marzo 2007	21 setiembre 2006
Mar Chiquita (MCh)	20 marzo 2007	4 abril 2007

\* Para el estudio de la composición, estructura y existencias en volumen en las masas.

\*\* Para los estudios xilotecnológicos.

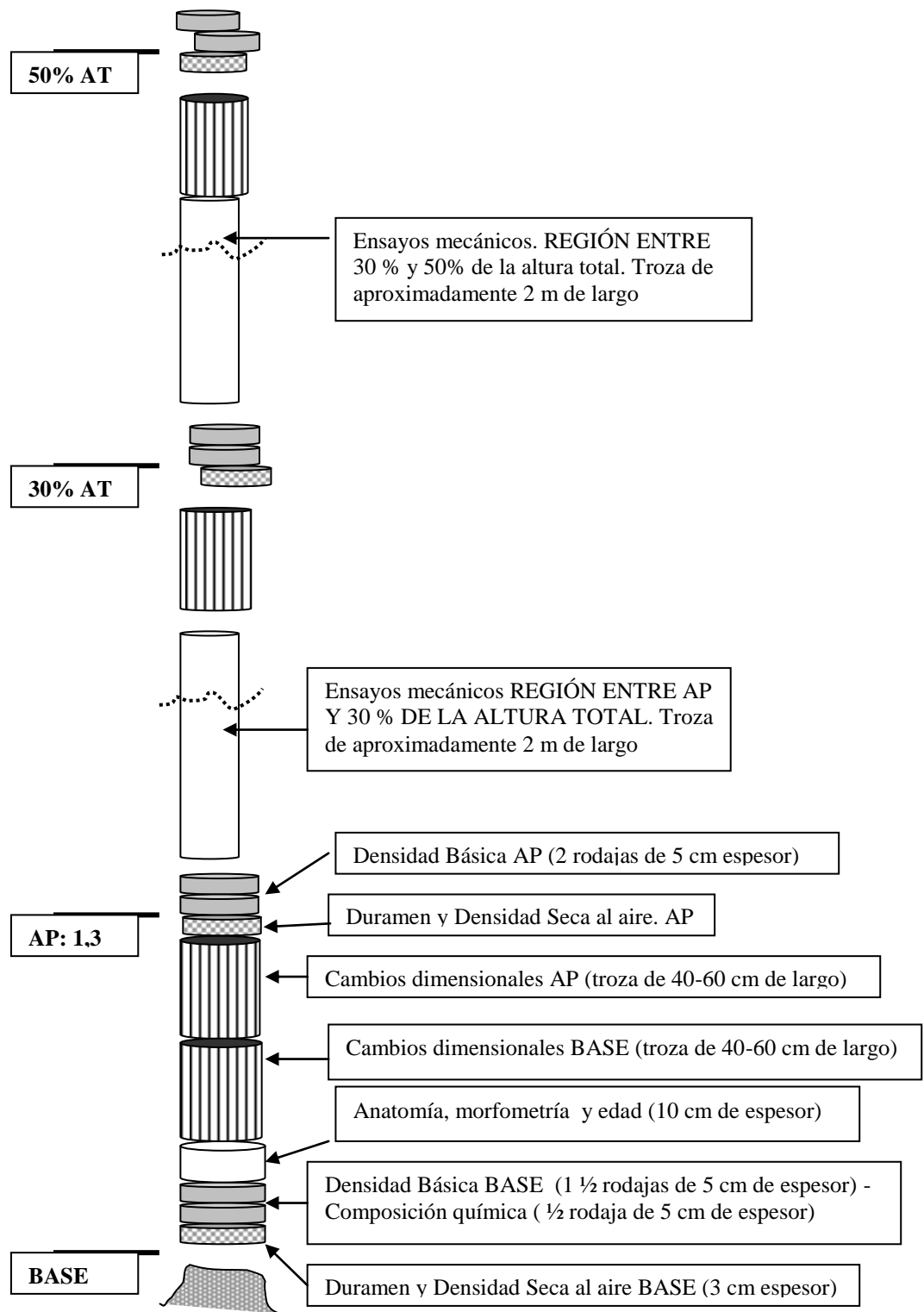


Figura 3-3. Esquema general de muestreo.

### 3.2.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA, DIMENSIONES CELULARES Y EDAD

#### 3.2.2.1. OBTENCIÓN DE MUESTRAS

A partir de la rodaja basal destinada a estudios anatómicos (Figura 3-3) se obtuvo una tablita radial que contuviera la médula. Sobre uno de sus radios elegido aleatoriamente o sobre el radio de mayor longitud (en caso de algún grado de excentricidad de la médula) se marcaron 2 posiciones, una al 30% y otra al 80% de la longitud del radio para obtener así dos submuestras de diferente edad. A estas submuestras se las denominó “a” a la más cercana a la médula (tejidos formados a edad más temprana del árbol) y “c” a la más cercana a la corteza (tejidos de formación más tardía).

En dichas posiciones se generaron macerados y cortes histológicos para la descripción microscópica de la especie. Los macerados se realizaron según la técnica de Franklin (Jane, 1956) sobre astillas obtenidas con un formón, colocadas en un tubo de ensayo y calentadas por 4-5 horas en una mezcla por partes iguales de ácido acético y agua oxigenada (100 volúmenes). De la suspensión de fibras obtenida se tomó y colocó una gota sobre un portaobjetos y se obtuvieron, por posición, dos preparados transitorios sin teñir. Los cortes histológicos, en las 3 secciones de estudio anatómico (transversal, longitudinal radial y longitudinal tangencial), se generaron con un micrótopo de deslizamiento Zeiss obteniéndose láminas delgadas (20 $\mu$ ). Se empleó tinción con safranina al 1% en alcohol 50° y se montaron en forma permanente con Entellán, luego de ser deshidratados.

#### 3.2.2.2. DESCRIPCIONES MACROSCÓPICAS

Estas observaciones se realizaron sobre caras de corte (tablitas) radiales y tangenciales en las trozas destinadas a estudios anatómicos. Las tablitas se pulieron con lija hasta obtener una superficie adecuada para visualizar los caracteres estéticos y anatómicos más sobresalientes. Se observaron las tablitas a ojo desnudo y bajo lupa binocular de

10x en las 3 secciones de estudio. La terminología utilizada corresponde a la lista estándar de IAWA Committee (1989). La terminología para las descripciones cualitativas de textura, grano y diseño correspondió a la propuesta por Castiglioni (1957). El grano también fue evaluado luego cuantitativamente, determinándose la magnitud de la inclinación de la fibra en tablas según se describe más adelante en el apartado 3.2.7.3.

### 3.2.2.3. DESCRIPCIONES MICROSCÓPICAS

Las observaciones microscópicas, tanto sobre macerados como sobre cortes histológicos, se hicieron con el empleo de un microscopio óptico (Olympus BX50, Japan) bajo aumentos de 40x, 100x y 400x. Se capturaron imágenes digitales con una cámara (Olympus DP71, Japan) asociada al microscopio. La terminología utilizada en la descripción corresponde a la lista estándar de IAWA Committee (1989).

#### a) Dimensiones celulares

Se midieron en micrones la longitud, el ancho total, el ancho del lumen y el espesor de pared de las fibras así como el diámetro tangencial de vasos. La frecuencia de vasos se expresó en número/mm<sup>2</sup>. La primera de las variables mencionadas fue medida sobre las imágenes digitales tomadas de los macerados (40x), y las restantes sobre las imágenes tomadas de los cortes transversales (400x). La medición y análisis de imágenes se realizó usando el software ImageTool versión 2.01 Alpha 4 (UTHSCSA).

La medición se realizó sobre la siguiente cantidad de células en cada posición (a y c): longitud de fibras = 60; ancho total, ancho del lumen y espesor de pared de fibras = 100; diámetro tangencial de vasos = 100; frecuencia de vasos = 20 campos visuales.

#### b) Estimación edad

La estimación de la edad de los árboles se realizó sobre cortes histológicos debido a que macroscópicamente se confundían los límites de los anillos de crecimiento con las numerosas bandas de coloración oscura que presentó naturalmente esta madera. Para

cada árbol se realizaron cortes histológicos transversales de la totalidad del radio de la rodaja basal destinada a estos estudios (Figura 3-3). Se contaron los anillos bajo microscopio óptico (40x y 100x). La delimitación de los anillos de crecimiento se generó por el aumento de espesor de la pared de las fibras y el achatamiento radial de las mismas. Se observaron zonas de anillos falsos donde el espesor de las paredes de las fibras aumentó pero no hubo achatamiento radial.

### 3.2.3. CONTENIDOS DE DURAMEN Y DE ALBURA

#### 3.2.3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL

Las rodajas de 5 cm de espesor destinadas al estudio de la densidad aparente seca al aire (Figura 3-3), permitieron, previamente, llevar adelante las determinaciones de los contenidos de duramen y albura. Este material fue acondicionado durante 6-10 meses después del muestreo en depósito cubierto y a temperatura ambiente para lograr su secado natural. Con lijas de granulometría decreciente (80-100-120) se preparó la superficie transversal de la rodaja sobre la que se trazaron los diámetros norte-sur y este-oeste. Las observaciones para delimitar la región del duramen se realizaron a ojo desnudo.

#### 3.2.3.2. MEDICIONES EN LAS RODAJAS

Se realizaron las siguientes mediciones con regla de aproximación al milímetro (Figura 3-4):

- Diámetro norte-sur de la rodaja, con y sin corteza, conteniendo a la médula
- Diámetro este –oeste de la rodaja, con y sin corteza, conteniendo a la médula
- Diámetro norte-sur del duramen, conteniendo a la médula
- Diámetro este –oeste del duramen, conteniendo a la médula

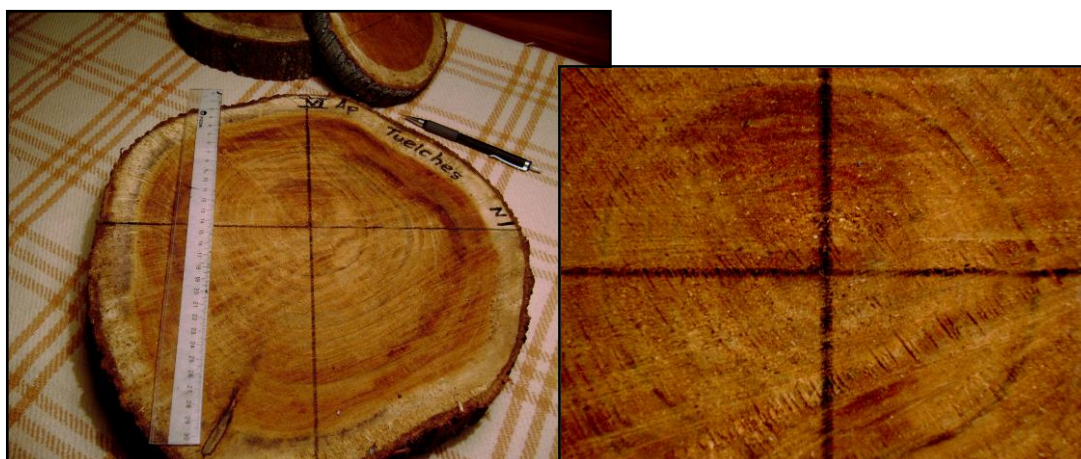


Figura 3-4. Determinación del contenido de duramen. Medición sobre rodajas: (izq.) trazado de diámetros norte-sur y este-oeste centrados en la médula; (der.) detalle de trazado en la región de la médula.

### 3.2.3.3. EXPRESIÓN Y CÁLCULO DE LOS CONTENIDOS DE ALBURA Y DURAMEN

Los contenidos de duramen y albura fueron expresados en términos de:

- a) Su proporción en la sección transversal: área de duramen/albura en relación al área total de la sección transversal con corteza y sin corteza.

Para el cálculo de las áreas, se supuso a las secciones transversales de las rodajas y del duramen como circulares, con diámetros medios resultantes del promedio de aquéllos medidos en sentido norte-sur y este-oeste. Se aplicaron las siguientes expresiones:

$$ST_{s/c} = (\pi/4) D_{s/c}^2 \quad [ 2 ]$$

$$ST_{c/c} = (\pi/4) D_{c/c}^2 \quad [ 3 ]$$

$$S_{HW} = (\pi/4) D_{HW}^2 \quad [ 4 ]$$

donde:

$ST_{s/c}$  : área total de la sección transversal sin corteza ( $cm^2$ )

$ST_{c/c}$  : área total de la sección transversal con corteza ( $cm^2$ )

$S_{HW}$ : área del duramen ( $cm^2$ )

$D_{s/c}$ : diámetro medio sin corteza de la sección transversal (cm)

$D_{c/c}$ : diámetro medio con corteza de la sección transversal (cm)

$D_{HW}$ : diámetro medio del duramen (cm)

El área de la albura se determinó mediante la diferencia entre el área total de la sección sin corteza y el área del duramen.

$$S_{SW} = ST_{s/c} - S_{HW} \quad [ 5 ]$$

*donde:*

$S_{SW}$ : área de albura ( $cm^2$ )

- b) Su proporción en el volumen: volumen de duramen/albura en relación al volumen del fuste (esto es, volumen comercial) con corteza y sin corteza.

La estimación de los volúmenes del fuste, del duramen y de la albura se basó en la información dendrométrica de alturas totales, surgidas al momento del apeo de los árboles, y en las áreas transversales respectivas determinadas según [2], [3], [4] y [5].

Para el cálculo del volumen se empleó la fórmula de Smalian [1] indicada en el apartado 3.1.3.1 del presente capítulo. Así, el fuste quedó compuesto por tres trozas (Base-AP; AP-30% AT; 30% AT-50% AT) cada una de las cuales fue dimensionada para el cálculo del volumen total (con y sin corteza), del volumen de duramen y de albura según correspondiese.

- c) El espesor de la albura

Se calculó el espesor de la albura en sentido radial en base al diámetro medio de cada rodaja sin corteza y al diámetro medio del duramen, según la siguiente expresión:

$$E_{SW} = (D_{s/c} - D_{HW}) / 2 \quad [ 6 ]$$

donde:

$E_{SW}$ : espesor de la albura (cm)

$D_{s/c}$ : diámetro medio sin corteza de la sección transversal (cm)

$D_{HW}$ : diámetro medio del duramen (cm)

### 3.2.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Un análisis completo de los constituyentes químicos de la madera contabiliza a todos los constituyentes de la muestra original de madera, así, las cuantificaciones de cada uno de ellos (celulosa, hemicelulosa, lignina insoluble y soluble, sustancias extraíbles, sustancias inorgánicas) deben sumar 100% (Pettersen, 1984). De allí su nombre de análisis sumativo.

La caracterización química de *Acacia melanoxylon* en este estudio fue parcial, comprendió solamente el análisis del contenido de lignina insoluble en ácido y el contenido sustancias extraíbles en agua caliente y en alcohol –tolueno. Ello fue así debido a limitantes de laboratorio y a la falta de ajuste de todos los procedimientos analíticos correspondientes al análisis completo, que hubiera sido deseable. No obstante, en una madera como la que nos ocupa, los contenidos de extractivos y de lignina insoluble en ácido se consideraron relevantes en vista a su uso como material sólido.

#### 3.2.4.1. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y DETERMINACIONES

Para llevar adelante los ensayos químicos, cada semirodaja destinada a estos estudios correspondiente a la región basal de los árboles (Figura 3-3) fue astillada con herramientas de mano (martillo y formón) conformándose así una muestra por árbol. Posteriormente se obtuvo el aserrín correspondiente a cada muestra moliendo las astillas en un molino Thomas-Wiley, modelo N° 4 Thomas Scientific, acoplado a un tamiz de 40 mesh. Se recogió la fracción de aserrín que pasó a través del mismo (400g por árbol)



y se secó al aire. Sobre cada una de las muestras se realizaron, por duplicado, las siguientes determinaciones (y en ese orden) siguiendo la metodología que se indica en las Normas TAPPI:

Extractivos en Alcohol-tolueno, según Norma TAPPI T204 cm-97(1997).

Extractivos en agua caliente, según Norma TAPPI T207 cm-99 (1999).

Lignina insoluble en ácido, según Norma TAPPI T222 cm-98(1998).

La primera determinación (extractivos en alcohol-tolueno) extrae sustancias de baja polaridad: resinas, ceras, ácidos grasos, parte de los taninos y gomas. La segunda determinación (extractivos en agua caliente) se desarrolla sobre el espécimen ya extraído en alcohol-tolueno, durante ella se disuelven las sustancias que no fueron solubles en la etapa anterior: resto de los taninos, polisacáridos de bajo peso molecular incluyendo gomas, algunas sales inorgánicas y ciertas hemicelulosas (Pettersen, 1984; Walker, 2006). La suma de lo extraído en las dos etapas constituyó el contenido total de extractivos. La determinación de lignina insoluble en ácido se desarrolló sobre el espécimen extraído en las dos etapas anteriores.

La composición química porcentual se expresó sobre madera seca total (% s.m.s. total). Sólo la primera determinación se basó en la muestra original de madera (“madera original”), en cada una de las siguientes, se realizó la correspondiente corrección al 100% de la madera original.

### 3.2.5. PROPIEDADES FÍSICAS

#### 3.2.5.1. ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL

El material recolectado durante el muestreo destructivo destinado al estudio de las propiedades físicas (Figura 3-3), excepto el destinado a estudiar la densidad aparente básica, se mantuvo convenientemente estibado durante 6-10 meses en depósito cubierto y a temperatura ambiente para lograr un secado natural. Esto fue así para las rodajas y trozas que suministraron probetas para determinar la densidad seca al aire; la

contracción y el hinchamiento lineales máximos; la anisotropía dimensional y el contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras. Una vez elaboradas, estas probetas permanecieron durante 1-3 meses en habitación a temperatura ambiente. Las rodajas destinadas a determinar la densidad aparente básica, en cambio, fueron ensayadas durante los 2-3 días posteriores al muestreo destructivo, siendo acondicionadas dentro de bolsas de polietileno en el campo, trasladadas y mantenidas en ellas hasta su ensayo para conservar su estado de saturación hídrica.

### 3.2.5.2. DENSIDAD DE LA MADERA

Se estudió la densidad de la madera según dos de sus expresiones:

- a) La densidad aparente seca al aire (masa seca al aire/volumen seco al aire) se determinó sobre probetas cúbicas de 2 cm de arista, de acuerdo a la Norma IRAM 9544 (1973). En adelante se denominará a esta propiedad como “densidad normal”.

Las probetas se obtuvieron mediante el aserrado de las rodajas correspondientes (Figura 3-3), previamente marcadas, y el pulido con lija grano 100. Para captar la variación radial de la densidad se definieron tres posiciones proporcionales a la longitud del radio: 10%, 50% y 90% de la longitud del radio, sobre los radios norte y sur. En adelante, estas posiciones radiales se indicarán en el documento como “a o interna”, “b o intermedia” y “c o externa”, respectivamente. Así se lograrían dos observaciones (norte y sur) para cada posición en cada altura de muestreo del fuste (Figura 3-5).

Cuando los diámetros resultaron insuficientes para obtener probetas en las tres posiciones radiales, éstas se tomaron en la interna y la externa solamente. El diseño de muestreo debió otorgar 480 probetas pero debido a la insuficiencia indicada, el total de probetas ensayadas fue de 416 (Cuadro 3-2).

El volumen seco al aire de cada probeta se determinó por la medición directa de sus tres dimensiones con calibre digital al 0,01 mm, y la determinación de masa

seca al aire se efectuó con una balanza digital con sensibilidad de 0,01g.



Figura 3-5. Densidad normal. Rodajas marcadas para la elaboración de probetas (2cm x 2cm x 2cm). (izq.): **árbol MCh V2**, 30% de la altura total, posiciones en el radio a, b y c, en radios norte y sur; (der.): **árbol MCh V2**, 50% de la altura total, posiciones en el radio a y b, en radios norte y sur

Cuadro 3-2. Densidad normal, número de probetas ensayadas discriminadas por sitio, o por altura en el fuste o por posición radial (cada columna es independiente de las otras).

	Sitio				Altura en el fuste				Posición radial		
	CC	LC	MCh	LT	Base	AP	30% AT	50% AT	a	b	c
Número según diseño muestreo	120	120	120	120	120	120	120	120	160	160	160
Probetas ensayadas	104	106	100	106	116	112	106	82	158	102	156
Datos * ausentes	16	14	20	14	4	8	14	38	2	58	4

\* respecto al número según diseño.

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); AT: altura total.

Posición en el radio: a interna, b intermedia, c externa

El contenido de humedad de las probetas al inicio del estudio (estado seca al aire) se determinó según Norma IRAM 9532 (1963). Por diferencia de pesadas se calculó la pérdida de masa de las probetas desde el estado inicial (seca al aire) hasta su estado anhidro. Para lograr éste último estado las probetas se colocaron en estufa a temperatura ambiente, la que fue elevada paulatinamente hasta  $100^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  en un tiempo no menor a 24h, hasta lograr masa constante al 0,01g. El cálculo se desarrolló de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{CHe (\%)} = [(\text{Me}-\text{Mo})/\text{Mo}] (100) \quad [7]$$

*donde:*

CHe (%): contenido de humedad de la probeta al inicio del estudio (estado seca al aire)

Me: masa de la probeta al inicio del estudio (kg)

Mo: masa de la probeta en estado anhidro (kg)

Al ser retiradas de la estufa y antes de proceder a las determinaciones, las probetas se enfriaron en desecador de laboratorio conteniendo sílica gel como desecante.

Considerando que el rango de variación del CHe estuvo comprendido entre el 10 % y el 20 %, se ajustó cada valor obtenido para la densidad a la condición de referencia correspondiente a CH = 12% siguiendo las prescripciones de la Norma EN 384 (2010). Conforme a este criterio, los valores de la densidad se incrementaron 0,5 % (por cada 1% de desvío respecto del 12%) cuando CH < 12 % y se disminuyeron en igual magnitud cuando CH > 12 %. En adelante, se referirá a la densidad seca al aire corregida al 12% de CH como densidad normal.

- b) La densidad aparente básica [masa seca (o anhidra) en estufa/ volumen verde], en adelante densidad básica, se determinó según la Norma TAPPI T258 om-94 (1994) sobre rodajas descortezadas y seccionadas en dos mitades lo que otorgó cuatro repeticiones a la observación por nivel de altura de muestreo por árbol

(Figura 3-3). Estas determinaciones permitieron el análisis de la variación axial dentro del árbol.

El volumen verde se determinó por desplazamiento de fluidos –inmersión en agua destilada a 4°C. Para la determinación de la masa seca o anhidra, las semi rodajas se colocaron en estufa a temperatura ambiente, la que fue elevada paulatinamente hasta 100°C ± 3°C en un tiempo no menor a 24h, hasta lograr masa constante al 0,01g. Se emplearon balanzas con capacidades de 5kg y de 20kg (aproximación a 0,5g), y de 3 kg, (con aproximación a 0,01g).

### 3.2.5.3. CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA

Los procedimientos de ensayo se ajustaron a las Normas IRAM de vigencia en la Argentina, a los fines de que los resultados fueran comparables en el ámbito nacional donde se espera que la especie pueda diversificar el mercado de maderas de calidad en relación a la industria del mueble y la construcción.

La contracción ( $C_{m\acute{a}x}$ ) y el hinchamiento ( $H_{m\acute{a}x}$ ) lineal máximo en las direcciones radial y tangencial del leño, el coeficiente de contracción lineal (CR), el coeficiente de anisotropía dimensional tanto para la contracción (AC) como para el hinchamiento (AH) y la estimación del contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras (PSF) se determinaron sobre los tipos de probetas y los procedimientos de cálculo indicados por la Norma IRAM 9543 (1996). Esta Norma propone un método de ensayo a partir de madera estacionada al aire. Luego del período de estacionamiento en espacio cubierto para lograr un secado natural, ya mencionado (apartado 3.2.5.1 del presente capítulo), se procedió a la preparación de los cuerpos de prueba.

A partir de las trozas correspondientes a este estudio (Figura 3-3) se elaboraron (aserrado y cepillado) probetas prismáticas de 2cm x 2cm x 5cm adecuadas para el estudio de los cambios dimensionales en dirección radial (en adelante, probetas radiales) y en dirección tangencial (en adelante, probetas tangenciales) según lo indicado por la Norma de referencia.

Las probetas radiales y tangenciales se tomaron en tres posiciones proporcionales a la longitud del radio: 10% ó “a”; 50% ó “b” y 90% ó “c”, pretendiéndose contar con 6 probetas radiales/posición/altura de muestreo; y lo propio con las probetas tangenciales. Esto permitió analizar la variación radial y axial dentro del árbol para estas propiedades. Sin embargo, cuando los diámetros de las trozas no permitieron obtener material de las tres posiciones radiales (sobre todo en el caso de probetas radiales), éste se tomó de la interna y de la externa solamente (Figura 3-6).

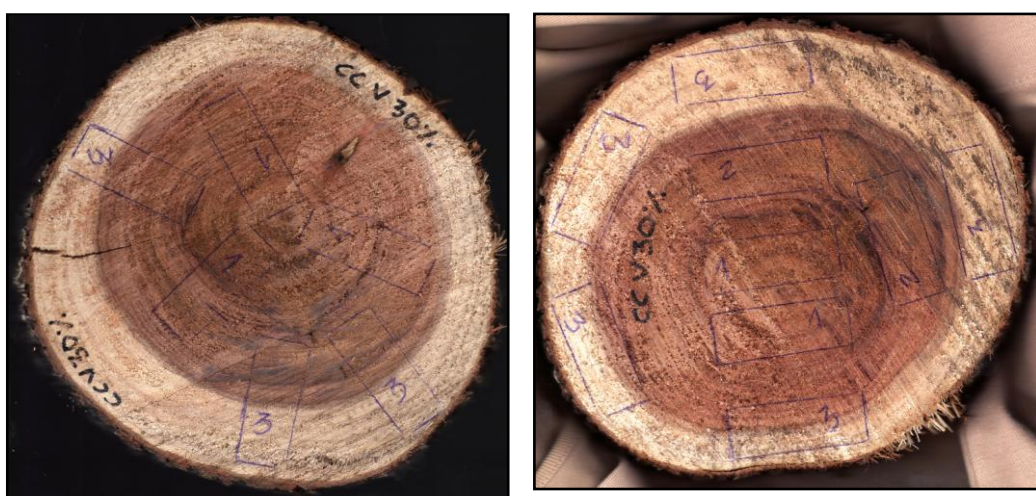


Figura 3-6. Cambios dimensionales, marcación de probetas de 2cm x 2cm x 5cm. (izq.): probetas radiales en posición “a” (numeradas con 1) y en posición “c” (numeradas con 3). (der.): probetas tangenciales en posición “a” (numeradas con 1), en posición “b” (numeradas con 2) y en posición “c” (numeradas con 3).

El número de probetas por posición/altura de muestreo/árbol varió entre 2 y 6. El número total de probetas radiales y probetas tangenciales ensayadas fue de 654 y 1158, respectivamente (Cuadro 3-3, Cuadro 3-4).

Cuadro 3-3. Cambios dimensionales. Número de probetas radiales ensayadas según altura de muestreo y posición radial.

	Sitio CC			Sitio LC			Sitio LT			Sitio MCh		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Base	0	0	0	24	0	28	28	0	36	30	0	18
AP	23	0	18	26	0	35	30	0	24	29	0	18
30 AT	30	0	12	33	0	0	30	0	12	29	0	6
50 AT	27	0	6	30	0	0	35	0	13	24	0	0
<i>Todas en la posición</i>	80	0	36	113	0	66	123	0	85	112	0	42
<i>Todas en el sitio</i>	116			176			208			154		

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30AT: 30% de la altura total; 50AT: 50% de la altura total.*

*Posición en el radio: a interna, b intermedia, c externa*

Cuadro 3-4. Cambios dimensionales. Número de probetas tangenciales ensayadas según altura de muestreo y posición radial.

	Sitio CC			Sitio LC			Sitio LT			Sitio MCh		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Base	0	0	0	29	30	30	24	28	36	30	24	30
AP	22	22	30	28	35	42	23	24	30	29	24	29
30 AT	27	16	30	33	0	35	29	18	30	29	12	30
50 AT	29	12	30	29	0	30	31	11	33	30	6	29
<i>Todas en la posición</i>	78	50	90	119	65	137	107	81	129	118	66	118
<i>Todas en el sitio</i>	218			321			317			302		

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30AT: 30% de la altura total; 50AT: 50% de la altura total.*

*Posición en el radio: a interna, b intermedia, c externa*

Sobre las probetas fueron clavados dos clavos, previamente pesados, en cada una de las dos caras elegidas para las determinaciones según se indica en la Figura 3-7. En este estado de humedad las probetas fueron pesadas al 0,01g y ésta fue considerada la masa correspondiente al estado “seca al aire” (Me), luego de deducir la masa de los clavos. Asimismo fueron medidas las distancias entre clavos en ambas caras con calibre digital al 0,01mm, y su promedio se consideró como la longitud correspondiente al estado “seca al aire” (Le). Luego se colocaron en estufa (Figura 3-8, Foto a) a temperatura ambiente, la que fue elevada paulatinamente hasta  $100^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  en un tiempo no menor a 24h, hasta lograr masa constante al 0,01g, considerado como la masa anhidra (Mo) luego de deducir la masa de los clavos. El valor medio entre ambas caras de la distancia entre clavos medida con calibre digital al 0,01mm, fue considerado como Lo. Al ser retiradas de la estufa y antes de proceder a las determinaciones, las probetas se enfriaron en desecador de laboratorio conteniendo sílica gel como desecante. Por último las probetas fueron colocadas en agua sin sumergir la superficie superior (correspondiente al corte transversal del leño) para permitir el desplazamiento del aire (Figura 3-8, Foto b). Una vez húmeda esta cara superior, se sumergieron por completo durante 7 días. El valor medio de la distancia entre clavos medida con calibre digital al 0,01mm en ambas caras de las probetas saturadas, fue considerado como Ls.

El contenido de humedad de las probetas correspondiente al estado “seca al aire” (CHe), se determinó por el método de diferencia de pesadas y secado en estufa, de acuerdo a la Norma IRAM 9532 (1963), según cálculos correspondientes a la expresión [7].

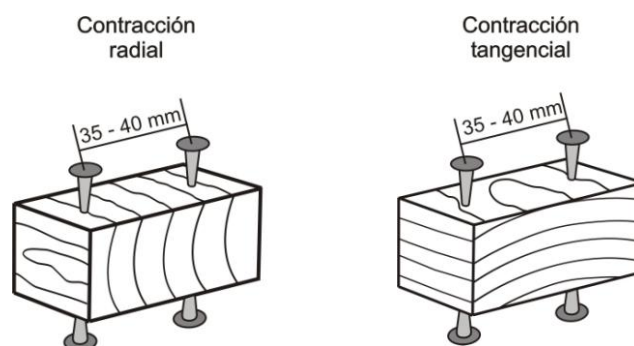


Figura 3-7. Cambios dimensionales, probetas radial y tangencial acondicionadas para las determinaciones. (tomado de Spavento, 2005)





Figura 3-8. Cambios dimensionales. (a): Probetas radiales acondicionadas para su ingreso a estufa; (b) probetas tangenciales en proceso de hidratación para su saturación.

Los cálculos se desarrollaron de acuerdo a las siguientes expresiones generales de acuerdo a la Norma IRAM 9543 (1996):

$$C_{\text{máx}} (\%) = [(L_s - L_o) / L_s] (100) \quad [8]$$

$$H_{\text{máx}} (\%) = [(L_s - L_o) / L_o] (100) \quad [9]$$

$$CR = H / Che \quad [10]$$

$$\text{PSF tangencial (\%)} = \text{Hmáx tangencial} / \text{CR tangencial} \quad [11]$$

$$\text{PSF radial (\%)} = \text{Hinchamiento máx radial} / \text{CR radial} \quad [12]$$

$$\text{AC} = \text{Cmáx tangencial} / \text{Cmáx radial} \quad [13]$$

$$\text{AH} = \text{Hmáx tangencial} / \text{Hmáx radial} \quad [14]$$

*donde:*

Le: distancia entre clavos en material “seco al aire”.

Lo: distancia entre clavos en material anhidro.

Cmáx: Contracción lineal máxima, es decir entre el estado saturado y el estado anhidro.

Ls: distancia entre clavos en material saturado.

Hmáx: Hinchamiento lineal máximo, es decir entre el estado anhidro y el saturado.

CR: Coeficiente de contracción lineal.

PSF tangencial: valor estimado en base al hinchamiento máximo en dirección tangencial.

PSF radial: valor estimado en base al hinchamiento máximo en dirección radial.

AC y AH: Coeficientes de anisotropía de la contracción y del hinchamiento respectivamente.

#### 3.2.5.4. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN SECADO NATURAL HASTA EL ESTADO DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

Se dispuso el apeo de un árbol, clase diamétrica IV en el sitio Los Tuelches (fecha de apeo 13/3/2009). Sus variables dendrométricas (según los criterios indicados en apartado 3.1.3.1) fueron: altura total 14,47 m; altura comercial 13,8 m; y DAP con corteza 22,5 cm.

Se elaboraron a campo 9 trozas cuyos extremos fueron sellados con polietileno para

disminuir la pérdida de humedad de las mismas. Las trozas representaron las siguientes regiones en el fuste: Base-AP; AP-30% AT; 30% AT – 50% AT y 50% AT – 75% AT. Seis días después del apeo fueron aserradas y escuadradas en aserradero, para la obtención de tablas de una pulgada de espesor. Inmediatamente se pesaron y midieron las dimensiones de las 28 tablas obtenidas que fueron rotuladas a fin de identificar su posición axial dentro del fuste. Las tablas fueron estibadas en una pila, sin chimenea central, con separadores de 1”, semi cubierta, en la ciudad de Balcarce. Fueron pesadas cada 3-4 días hasta el sexto mes de ensayo , cada 10-12 días hasta el año o, y mensualmente el segundo año. Las pesadas se realizaron por la tarde entre las 18h y 19h y luego de ellas, las tablas se re localizaron para variar su posición en la pila. La primer pesada del ensayo fue el 24 de marzo de 2009 y la última, el 20 de marzo de 2011. Al finalizar este período fue necesario ingresar las tablas a una estufa de secado para determinar la masa anhidra de las mismas y consecuentemente poder calcular, según [7], el contenido de humedad, correspondiente a todas las observaciones a lo largo del período de ensayo. Las tablas fueron seccionadas en piezas menores para poder localizarlas dentro de la estufa, su masa anhidra se calculó por la sumatoria de las masas de estas piezas.

Para contextualizar climáticamente el análisis, se dispuso de la información meteorológica diaria en relación a los regímenes térmicos e hídricos de Balcarce, a partir de la estadística agro meteorológica de la Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del INTA (EEA-INTA Balcarce, 2011). La temperatura y Humedad relativa adjudicadas al día de pesada surgió como el promedio de las correspondientes al propio día y al anterior. Para el análisis, se tomó el día correspondiente a la primer pesada como “día 1”, y así en adelante para los restantes, correspondiendo al último día de ensayo el número 728. Esta numeración permitió luego estructurar los datos en “meses” de ensayo, no necesariamente coincidentes con los meses calendario.

### 3.2.6. PROPIEDADES MECÁNICAS

#### 3.2.6.1. ACONDICIONAMIENTO DEL MATERIAL

Las trozas recolectadas durante el muestreo destructivo destinadas al estudio de las propiedades mecánicas (Figura 3-3), se mantuvieron estibadas durante 23 a 31 meses, según los sitios, en depósito cubierto y a temperatura ambiente para lograr un secado natural. Transcurrido este tiempo, fueron aserradas practicándose un corte en sándwich con sierra sinfin, para obtener tablas de una y de dos pulgadas de espesor, convenientes para la elaboración de los cuerpos de prueba que se describirán. Las tablas fueron estibadas durante 6 -12 meses antes de proceder a la elaboración de las probetas a ensayar.

### 3.2.6.2. ENSAYOS

Se llevaron a cabo ensayos de flexión estática, compresión paralela y perpendicular a las fibras, corte paralelo a las fibras y dureza sobre los cuerpos de prueba y bajo los procedimientos indicados en la Norma ASTM D 143 (2007) (Cuadro 3-5).

Teniendo en cuenta que conforme a la moderna tendencia internacional las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de flexión son consideradas las más importantes, y de ellas, junto a la densidad, pueden ser derivadas las restantes (Glos 1995a ; EN 338, 2010; EN 384, 2010), así como que el módulo de elasticidad obtenido del ensayo de flexión se considera representativo del comportamiento elástico de la madera también cuando es sometida a tracción y compresión paralela a las fibras (EN 1995-1-1, 2005; NDS, 2005), es que se tomaron como variables de análisis de tal comportamiento a la tensión en el límite de proporcionalidad y al módulo de elasticidad obtenidos del ensayo de flexión estática (Cuadro 3-5).

Se elaboraron 553 probetas en total. Debido a que algunas resultaron mal orientadas y/o con presencia de defectos, el análisis se sostuvo en los resultados provenientes de 535 probetas, lo que originó la estructura de datos indicada en el Cuadro 3-6.

Se empleó una máquina de ensayos universales marca SHIMADZU, modelo UH – 1000, con capacidad máxima de 1000 kN y posibilidades de avance del cabezal de cargas compatible con las exigencias de la normativa empleada.

Antes de ser ensayadas, las probetas se dimensionaron con calibre digital al 0,01mm, posteriormente fueron pesadas, ensayadas mecánicamente y finalmente colocadas en estufa a temperatura ambiente, la que fue elevada paulatinamente hasta  $100^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  hasta lograr masa constante al 0,01g. Esto permitió la determinación del contenido de humedad y de la densidad al momento del ensayo.

Cuadro 3-5. Tamaño de probetas y variables de análisis.

	<i>DUREZA</i>	<i>CORTE</i>	<i>COMPRESIÓN PERPENDICULAR</i>	<i>FLEXIÓN ESTÁTICA</i>	<i>COMPRESIÓN PARALELA</i>
Dimensiones de la probeta [mm]	50x50x150	50x50x65	50x50x150 (superficie de comp. 50x50 mm)	25x25x410	25x25x100
Variables de análisis	- Tensión de penetración (MPa)	- Tensión de rotura al corte (MPa)	- Tensión de rotura en compresión perpendicular (MPa)	-Tensión en el límite de proporcionalidad (MPa) -Tensión de rotura (MPa) - Módulo de elasticidad (MPa)	-Tensión de rotura en compresión paralela (MPa)

*Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

*AP: altura de pecho (1,3m); 30%: 30% de la altura total; 50%: 50% de la altura total.*

Cuadro 3-6. Ensayos mecánicos. Estructura de datos.

	Altura muestreo	DUREZA	CORTE PARALELO	COMPRESIÓN PERPENDICULAR	FLEXIÓN ESTÁTICA	COMPRESIÓN PARALELA
CC	Ap-30%	5	6	5	29	53
	30%-50%	2	2	0	10	33
LC	Ap-30%	3	2	0	19	46
	30%-50%	0	0	0	5	12
LT	Ap-30%	6	8	7	14	15
	30%-50%	2	1	1	7	14
MCh	Ap-30%	5	9	3	50	72
	30%-50%	8	12	3	24	42
total por ensayo		31	40	19	158	287
TOTAL				535		

Los cálculos se desarrollaron según las siguientes expresiones:

Resistencia y comportamiento elástico en flexión estática:

$$TLP_f = \frac{3 CLP_f l}{2 b h^2} \quad [15]$$

donde:

TLP<sub>f</sub>: Tensión en el límite de la proporcionalidad en flexión estática (MPa)

CLP<sub>f</sub>: Carga en el límite de la proporcionalidad (N)

*l*: luz entre apoyos (mm)

*b*: ancho de la probeta (mm)

*h*: altura de la probeta (mm)

$$TR_f = \frac{3 CR_f l}{2 b h^2} \quad [16]$$

donde:

$TR_f$ : Tensión de rotura en flexión (MPa)

$CR_f$ : Carga máxima de rotura en flexión (N)

$l$ ,  $b$  y  $h$ : definidas antes en [15]

$$MOE_f = \frac{1}{4} \frac{CLP_f l^3}{D_f b h^3} \quad [17]$$

donde:

$MOE_f$ : Módulo de elasticidad en flexión (MPa)

$CLP_f$ : Carga en el límite de la proporcionalidad (N)

$D_f$ : Deformación o flecha en el límite de la proporcionalidad (mm)

$l$ ,  $b$  y  $h$ : definidas antes en [15]

Resistencia en compresión paralela:

$$TR_{cp} = \frac{CR_{cp}}{b h} \quad [18]$$

donde:

$TR_{cp}$ : Tensión de rotura en compresión paralela (MPa)

$CR_{cp}$ : Carga máxima de rotura en compresión paralela (N)

$b$ : ancho de la probeta (mm)

$h$ : altura de la probeta (mm)

Resistencia en compresión perpendicular:

$$TR_{cpp} = \frac{CR_{cpp}}{b h} \quad [19]$$

donde:

$TR_{cpp}$ : Tensión de rotura en compresión perpendicular (MPa)

$CR_{cpp}$ : Carga máxima de rotura en compresión perpendicular (N)

$b$ : ancho de la probeta (mm)

$h$ : altura de la probeta (mm)

Resistencia en corte paralelo (Figura 3-9):

$$TR_{\text{corte}} = \frac{CR_{\text{corte}}}{b_1 h_{\text{menor}}} \quad [20]$$

donde:

$TR_{\text{corte}}$ : Tensión de rotura en corte paralelo (MPa)

$CR_{\text{corte}}$ : Carga máxima de rotura en corte paralelo (N)

$b_1$ : ancho del plano de falla (mm) (Figura 3-9)

$h_{\text{menor}}$ : altura del plano de falla (mm) (Figura 3-9)

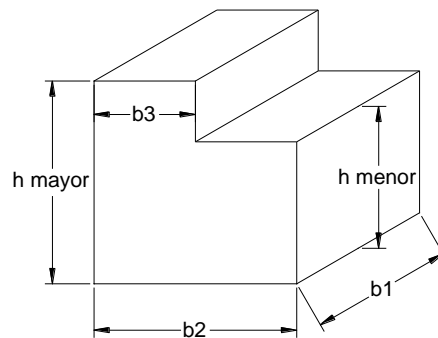


Figura 3-9. Corte paralelo a las fibras. Probeta de ensayo, dimensiones.

La Dureza se expresó como una Tensión de penetración:

$$TP: \frac{C}{100} \quad [21]$$

donde:

TP: Tensión de penetración (MPa)

100: área proyectada de la bolilla [ $\text{mm}^2$ ]

C: Carga (N) para la penetración de una bolilla de área proyectada de  $100 \text{ mm}^2$



### 3.2.7. DEFECTOS

La evaluación de los defectos se desarrolló sobre parte de las tablas que luego proveyeron las probetas para los ensayos mecánicos, cuyo acondicionamiento fue indicado en el apartado 3.2.6.1. Para el estudio de los defectos las tablas fueron canteadas y pulidas en sus dos caras. El material experimental estuvo integrado por 45 tablas de una pulgada de espesor, correspondientes a árboles de clases diamétricas superiores (clases IV y V), de los cuatro sitios y de dos alturas en el fuste (la región AP-30% HT y la región 30% HT-50% HT). El número de tablas y sus dimensiones se indican en el Cuadro 3-7 y Cuadro 3-8.

Cuadro 3-7. Número de tablas para el análisis de los defectos de la madera, según sitios, altura en el fuste y orientación.

Altura en el fuste	Cinco Cerros			Las Cortaderas			Los Tuelches			Mar Chiquita		
	<i>rd</i>	<i>Semi rd</i>	<i>tg</i>	<i>rd</i>	<i>Semi rd</i>	<i>tg</i>	<i>rd</i>	<i>Semi rd</i>	<i>tg</i>	<i>rd</i>	<i>Semi rd</i>	<i>tg</i>
AP- 30%	5	1	1	2	3		1	3	3	3	2	2
30%-50%	4	1	1		4		3	1	1	3	1	
<i>Total</i>	13			9			12			11		

*rd: radial; tg: tangencial .*

*AP: altura de pecho (1,3m); 30%: 30% de la altura total; 50%: 50% de la altura total.*

Cuadro 3-8. Dimensiones de las tablas para el análisis de los defectos de la madera, según sitios.

Las Cortaderas		Los Tuelches		Cinco Cerros		Mar Chiquita	
<i>Largo (cm)</i>	<i>Ancho (cm)</i>	<i>Largo (cm)</i>	<i>Ancho (cm)</i>	<i>Largo (cm)</i>	<i>Ancho (cm)</i>	<i>Largo (cm)</i>	<i>Ancho (cm)</i>
76,3	12,7	99	22	90	21,56	122,2	11,4
67,3	12,3	126	15,5	88,1	18,7	62	18
65,5	10,5	79,3	18,4	89,53	19,72	118,4	13,5
78,5	7,5	53,8	12,5	88,9	17,36	57,4	19,2
72,5	10,6	58,2	14,8	59	15,26	84,6	12,4
74,2	10,6	124,3	14,3	44,7	14	84,9	13,4
94,3	9,2	99,3	12,4	89,7	15,36	74,1	15,4
71,1	11,6	163	10	90	13,16	101,6	13,3
53,3	8,5	88,3	22	89,8	11,3	59,9	19,3
		99	22	88,5	12,9	60,6	15,2
		109,5	11,8	86,6	11,6	59,8	13,5
		126	15,5	88,8	13,6		
				88,6	12,1		

Las singularidades de la madera fueron medidas siguiendo los procedimientos indicados en la Norma EN 1310 (1997) que define métodos en relación a la clasificación visual según aspecto de la madera aserrada. Si bien el objetivo de la presente investigación no fue el de diseñar una norma para clasificar por aspecto, ni el de estimar la influencia de las singularidades en las propiedades mecánicas, se consideró adecuado utilizarla para caracterizar a la especie y sus defectos de manera simple y enfocada a posibles futuras clasificaciones en este sentido. Para complementar la definición de algunas singularidades de la madera se utilizaron las Normas nacionales IRAM 9560 (1981) e IRAM 9502 (1977).

La sectorización de las tablas para localizar los defectos siguió lo indicado en la Norma IRAM 9560 (1981) y se muestra en la Figura 3-10. La inspección de una tabla implicó ambas caras, ambos cantos y ambas cabezas.

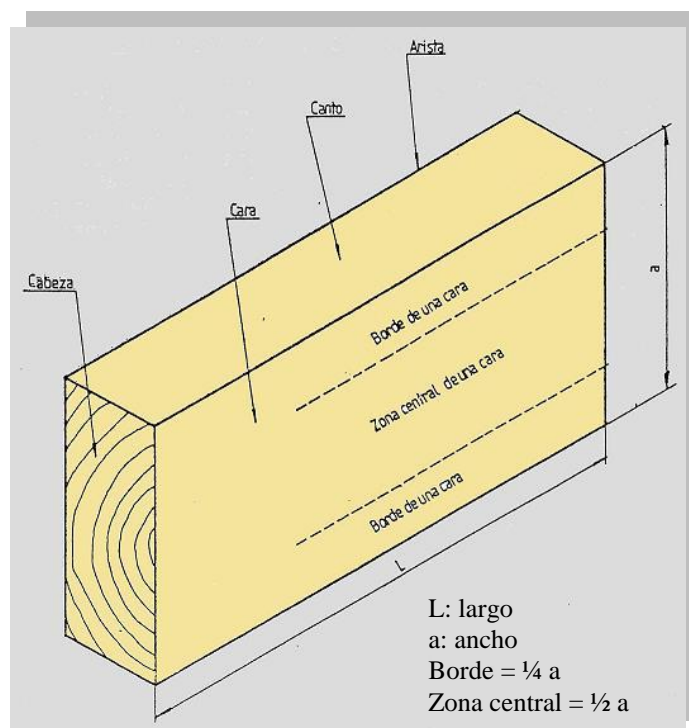


Figura 3-10. Sectorización de tablas para la localización de los defectos

### 3.2.7.1. NUDOS

La presencia de nudos, esto es, áreas de tejido leñoso resultantes del rastro surgido por el desarrollo de una rama, según definen las Normas IRAM 9560 (1981) e IRAM 9502 (1977), fue estudiada desde los siguientes aspectos clasificatorios cuantitativos y cualitativos: dimensiones, localización en la pieza, forma y otros atributos.

#### a) Dimensiones de los nudos

Fueron establecidas según los dos métodos propuestos por la Norma EN 1310 (1997): el método general, más enfocado al aspecto y el método alternativo, más orientado a lo resistente. Bajo el método general, se consideró a cada nudo individualmente. Se midieron en milímetros las dimensiones mayor y menor de cada uno, y, su media aritmética se consideró el tamaño del nudo. Bajo el método alternativo el tamaño del nudo o de un grupo de nudos se determinó por su anchura en milímetros medida en dirección perpendicular al eje longitudinal de la pieza. Se midieron nudos  $\geq 5$  mm, y a los menores se los contó y clasificó como “<5”.

### b) Localización en la pieza y forma de los nudos

Se consideraron las siguientes categorizaciones definidas según las Normas IRAM 9560 (1981), IRAM 9502 (1977) y definiciones internas del equipo de investigación.

- Nudos de cara individuales: a) Redondo, b) Ovalado, c) en espiga, d) otros atributos (firme / flojo; sano / dañado).
- Nudos de cara agrupados: con los atributos individuales de forma y otros atributos mencionados antes.
- Nudo de arista: con los atributos individuales de forma y otros atributos mencionados antes.
- Nudos de canto: con los atributos de forma y otros atributos mencionados.

La clasificación de formas en “redondo”, “ovalado” o “en espiga” se basó en la relación diámetro mayor / diámetro menor, siendo ésta  $\leq 2$ ; entre 2-3 y  $\geq 3$  respectivamente (definición interna).

La variable de análisis estadístico fue el número de nudos de cara  $\geq 5$  mm (Método General) por metro lineal de la pieza (considerando la sumatoria del número de nudos de ambas caras). Complementariamente se analizaron el tamaño máximo de nudos y la proporción de tipos de nudos según forma y tamaño.

#### 3.2.7.2. GRIETAS Y RAJADURAS

Se adoptaron las definiciones indicadas en la Norma IRAM 9560 (1981), fueron consideradas como grietas la separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanzó a afectar dos caras de una pieza aserrada o escuadrada; y como rajaduras, la separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo

desarrollo alcanzó a afectar dos caras de una pieza aserrada, escuadrada o sometida a ambas operaciones.

Ambas singularidades se estudiaron en todas las secciones de la pieza, desde los siguientes aspectos clasificatorios: a) dimensiones y b) localización en la pieza.

a) Dimensiones de grietas y rajaduras

Fueron establecidas según el método propuesto por la Norma EN 1310 (1997). Para ambas singularidades se midió el largo individual en milímetros y, el ancho máximo. Se midieron anchos  $> 1$  mm.

b) Localización de grietas en la pieza

Se consideraron las siguientes categorizaciones definidas según las Normas IRAM 9560 (1981), e IRAM 9502 (1977) y definiciones internas del equipo de investigación:

- Grietas de cara
- Grietas de canto
- Grietas de cabeza.

A la sectorización indicada en la Figura 3-10 se agregó otra en el sentido del largo de la pieza que condujo a delimitar en cada uno de sus extremidades a los sectores que en adelante se denominarán “extremos”. La longitud de estos sectores correspondió a  $1/5$  de la longitud de la pieza (definición interna).

Las grietas de cara y/o de canto que estando en los sectores extremos llegaron a, o nacieron desde la cabeza se calificaron como “grietas extremas” según indica la Norma EN 14081-1 (2006).

El análisis de la varianza se desarrolló considerando la población de grietas (o de rajaduras) individuales de cara sin discriminar su localización en la tabla. La variable de análisis estadístico fue la longitud total de grietas (o de rajaduras) por

metro lineal de tabla (considerando la sumatoria de lo observado en ambas caras) y expresada en unidades [m/m].

### 3.2.7.3. DIRECCIÓN DE LA FIBRA

Esta singularidad, definida como la desviación angular respecto al eje longitudinal o al canto de una pieza, fue determinada empleando el instrumento (trazador) y los procedimientos de cálculo indicados coincidentemente en las Normas IRAM 9560 (1981) y EN 1310 (1997) (Figura 3-11). El cálculo se desarrolló según la expresión:

$$DF = (1/X) (100) \quad [22]$$

donde (Figura 3-11):

DF: desviación de la fibra (%)

1: desviación indicada por el deslizamiento del trazador (mm)

X: longitud del recorrido del trazador (mm)

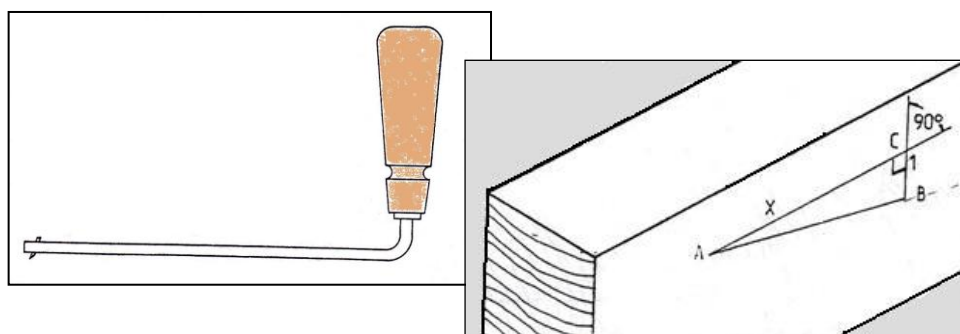


Figura 3-11. Dirección de la fibra. Instrumento y procedimiento de medición.

Del conjunto de 45 tablas dispuestas para el estudio de los defectos, la desviación de la fibra se determinó sobre 22 tablas según se indica en Cuadro 3-9. Se realizaron dos mediciones por cara, del mayor recorrido posible, evitando los desórdenes del tejido propios de la presencia de los nudos u otras singularidades. Se tomó a la tabla como

unidad de observación, su valor de desviación de fibra fue el valor máximo encontrado entre todos los correspondientes a sus dos caras, variable que se denominó desviación máxima, de acuerdo a la Norma IRAM 9560 (1981).

Cuadro 3-9. Número de tablas para el análisis de la desviación de las fibras, según sitios y altura en el fuste.

	Cinco Cerros	Las Cortaderas		Los Tuelches		Mar Chiquita
Altura en el fuste	<i>Tablas rd</i>	<i>Tablas rd</i>	<i>Tablas semi rd</i>	<i>Tablas rd</i>	<i>Tablas semi rd</i>	<i>Tablas rd</i>
<i>Ap- 30%</i>	3	2	3	1	2	2
<i>30%-50%</i>	3		4	1		1
<i>Total</i>	6	9		4		3

*rd: radial; tg: tangencial.*

*AP: altura de pecho (1,3m); 30%: 30% de la altura total; 50%: 50% de la altura total.*

### 3.2.8. PROCEDIMIENTOS ESTADÍSTICOS EN EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La presente investigación se corresponde con el concepto de “estudio por observación comparativo”. Éstos son frecuentes en la investigación sobre recursos naturales donde a menudo reemplazan a la experimentación diseñada. Los sujetos de investigación existen en sus condiciones particulares tomándose a éstas como circunstancias clasificatorias (o circunstancias de tratamiento). La naturaleza de la inferencia científica se limitará a asociar respuestas y circunstancias clasificatorias, a diferencia de las relaciones causales respuesta/tratamiento que caracteriza a los experimentos diseñados (Kuehl, 2001).

El análisis se desarrolló con el empleo del software R en su versión 2.14.0, un lenguaje y entorno de libre uso, apto para analizar datos y graficar (R Development Core Team, 2011).

En el análisis estadístico de los resultados se emplearon como medidas de posición, los valores medios y las medianas; y como medidas de dispersión, la varianza y la

desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango entre los valores máximos y mínimos.

Se utilizaron los siguientes recursos gráficos (Crawley, 2007): histogramas de frecuencias; gráficos de medias con indicación del error estándar de la media (plotMeans); diagramas de puntos (stripchart); diagramas de dispersión (scatterplot); gráficas xy (xyplot) y diagrama de cajas (boxplot).

### 3.2.8.1. ANÁLISIS DE LA VARIANZA

Los análisis de la varianza se desarrollaron bajo modelos estadísticos a efectos fijos. Se consideraron como efectos fijos al sitio, a la altura en el fuste, a la posición en el radio y al árbol anidado en el sitio, con la expresión analítica indicada en [23].

El valor de probabilidad alfa establecido para calificar como significativas a las diferencias encontradas entre las fuentes de variación fue de 0,05.

Se empleó el test de Tukey (diferencia honestamente significativa-HDS), como metodología de comparación múltiple de medias (Kuehl, 2001).

Los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianza se verificaron mediante las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Asimismo se evaluaron los supuestos con recursos gráficos: la gráfica de probabilidad Normal y en el caso de la homogeneidad de las varianzas, la gráfica de residuales *vs.* medias estimadas de los tratamientos y la gráfica s-l o gráfica de dispersión de los residuales (Infante Gil, 1990; Kuehl, 2001).

Ante la verificación de la no homogeneidad en las varianzas se aplicaron a los datos transformaciones de potencia, y logarítmicas (logaritmos naturales y decimales) (Kuehl, 2001; Montgomery *et al.*, 2006).



$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{l(i)} + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \varepsilon_{jkl(i)} \quad [23]$$

$$i=1, 2, 3, 4 \quad j=1, 2, 3, 4 \quad k=1, 2, 3 \quad l=1, 2, \dots, 20$$

donde:

$y_{ijkl}$  : estimación de la variable correspondiente a la k-ésima posición radial en la j-ésima altura del fuste del l-ésimo árbol en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\beta_j$  : efecto fijo de la j-ésima altura del fuste

$\gamma_k$  : efecto fijo de la k-ésima posición radial

$\delta_{l(i)}$  : efecto fijo del l-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\alpha\beta_{ij}$  : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y j-ésima altura del fuste

$\alpha\gamma_{ik}$  : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y k-ésima posición radial

$\beta\gamma_{jk}$  : efecto fijo de interacción entre j-ésima altura del fuste y k-ésima posición radial

$\varepsilon_{jkl(i)}$  : efecto fijo del l-ésimo árbol, del i-ésimo sitio, en la j-ésima altura y k-ésima posición (error aleatorio)

Como fue ya mencionado al presentar los respectivos procedimientos metodológicos, algunas de las variables analizadas en este trabajo mostraron particularidades en sus estructuras de datos, las que resultaron: a) por desbalance debido a datos ausentes o poco numerosos en algún/os nivel/es de los factores fijos considerados; b) porque el muestreo practicado no consideró alguno de los factores fijos mencionados.

En los casos de estructura de datos desbalanceadas, las medias, además de ser estimadas puntualmente, se estimaron por intervalos de confianza, ello permitió conocer la precisión con que dichas medias muestrales estimaban a la media poblacional (Infante Gil, 1990) y tomar decisiones acerca de su inclusión en el análisis.

El modelo [23] correspondió al análisis de la **densidad normal**, y de las siguientes variables relativas a los cambios dimensionales en dirección tangencial: **contracción lineal máxima, hinchamiento lineal máximo, coeficiente de contracción, punto de saturación de las fibras.**

Cuando el muestreo practicado no consideró alguno de los factores fijos (o niveles de los mismos) incluidos en el modelo indicado en [23], el análisis se desarrolló bajo modelos estadísticos más reducidos en relación a él, así:

- el modelo de análisis de los cambios dimensionales en dirección radial: **contracción lineal máxima, hinchamiento lineal máximo, coeficiente de contracción, punto de saturación de las fibras**, no consideró el nivel “intermedio” del factor “posición radial” (Estructura de datos en Cuadro 3-3), por lo que su expresión, a diferencia de lo indicado en [23], fue:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_{l(i)} + \alpha\beta_{ij} + \alpha\gamma_{ik} + \beta\gamma_{jk} + \varepsilon_{jkl(i)} \quad [24]$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad \underline{k=1, 2} \quad l = 1, 2, \dots, 20$$

*donde:*

$y_{ijkl}$ : estimación de la variable correspondiente a la k-ésima posición radial en la j-ésima altura del fuste del l-ésimo árbol en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$ : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\beta_j$ : efecto fijo de la j-ésima altura del fuste

$\gamma_k$ : efecto fijo de la k-ésima posición radial

$\delta_{l(i)}$ : efecto fijo del l-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\alpha\beta_{ij}$ : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y j-ésima altura del fuste

$\alpha\gamma_{ik}$ : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y k-ésima posición radial

$\beta\gamma_{jk}$ : efecto fijo de interacción entre j-ésima altura del fuste y k-ésima posición radial

$\varepsilon_{jkl(i)}$ : efecto fijo del l-ésimo árbol, del i-ésimo sitio, en la j-ésima altura y k-ésima posición (error aleatorio)

- las variables **densidad básica, contenido de duramen y de albura, anisotropía de la contracción y del hinchamiento** se analizaron bajo el modelo [25] que no consideró como fuente de variación al factor “posición radial”, a diferencia del modelo [23].

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_{k(i)} + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{jk} \quad [25]$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, \dots, 20$$

*donde:*

$y_{ijkl}$  : estimación de la variable correspondiente al k-ésimo árbol en la j-ésima altura del fuste en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\beta_j$  : efecto fijo de la j-ésima altura del fuste

$\delta_{k(i)}$  : efecto fijo del k-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\alpha\beta_{ij}$  : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y j-ésima altura del fuste

$\varepsilon_{jk(i)}$  : efecto aleatorio del k-ésimo árbol en la j-ésima altura en el i-ésimo sitio (error aleatorio)

-Las variables referidas a la morfometría celular: **longitud, ancho total, ancho del lumen y espesor de pared de las fibras; diámetro tangencial y frecuencia de vasos**, se analizaron bajo el modelo [26] que, respecto al [24], no consideró como fuente de variación al factor “altura de muestreo”, ni al nivel “intermedio” del factor “posición radial”.

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \gamma_k + \delta_{l(i)} + \alpha\gamma_{ik} + \varepsilon_{jkl(i)} \quad [26]$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad \underline{k=1, 2} \quad l = 1, 2, \dots, 20$$

*donde:*

$y_{ijkl}$  : estimación de la variable correspondiente a la k-ésima posición radial del l-ésimo árbol en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\gamma_k$  : efecto fijo de la k-ésima posición radial

$\delta_{l(i)}$  : efecto fijo del l-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\alpha\gamma_{ik}$  : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y k-ésima posición radial

$\varepsilon_{jkl(i)}$  : efecto fijo del l-ésimo árbol, del i-ésimo sitio, en la j-ésima altura y k-ésima posición (error aleatorio)

-Las variables referidas a las propiedades mecánicas:

**Flexión estática.** Se encontraron dos problemas frente al ANOVA: el incumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas (en las propiedades Tensión en el límite de la proporcionalidad y Módulo de elasticidad), y la baja precisión (>11%) en la estimación de las medias poblacionales “sitio por altura”, sobre todo en las correspondientes a las alturas 30%-50% para las tres propiedades analizadas (Estructura de datos en Cuadro 3-6). Para solucionar el primer problema se desarrolló una transformación de los datos del tipo  $y^2$  que no corrigió la desuniformidad de las varianzas. Sí lo hizo la transformación empleando el logaritmo decimal,  $\log(y)$ , de los datos (Kuehl, 2001). En relación al segundo de los problemas, se decidió no analizar el efecto de la altura de muestreo “b” por lo que el modelo estadístico correspondió a la expresión [27].

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \varepsilon_{jk} \quad [27]$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, \dots, 20$$

*donde:*

$y_{ijkl}$  : estimación de la variable correspondiente al k-ésimo árbol en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\delta_{k(i)}$  : efecto fijo del k-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\varepsilon_{jk(i)}$  : efecto aleatorio del k-ésimo árbol en el i-ésimo sitio (error aleatorio)

**Compresión paralela a las fibras.** Se desarrolló el análisis bajo el modelo estadístico indicado en [28]

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_{k(i)} + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{jk} \quad [28]$$

$$i = 1, 2, 3, 4 \quad j = \underline{1, 2} \quad k = 1, 2, \dots, 20$$

*donde:*

$y_{ijkl}$  : tensión de rotura en compresión paralela a las fibras correspondiente al k-ésimo árbol en la j-ésima altura del fuste en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\beta_j$  : efecto fijo de la j-ésima altura del fuste

$\delta_{k(i)}$  : efecto fijo del k-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\alpha\beta_{ij}$  : efecto fijo de interacción entre i-ésimo sitio y j-ésima altura del fuste

$\varepsilon_{jk(i)}$  : efecto aleatorio del k-ésimo árbol en la j-ésima altura en el i-ésimo sitio (error aleatorio)

**Compresión perpendicular a las fibras.** La Tensión de rotura en compresión perpendicular fue estimada con baja precisión tanto a nivel de su media poblacional general (14%) como de las medias poblacionales por sitio y por altura (entre 12% y 38% según los casos), debido a datos ausentes y a las bajas y desbalanceadas repeticiones (Cuadro 3-6). Así, se decidió no desarrollar análisis de la varianza.

**Corte paralelo.** La Tensión de rotura en Corte, a nivel de las medias poblacionales “sitio por altura”, fue estimada con baja precisión debido a datos ausentes y pocas observaciones. También sucedió a nivel del sitio LC (16%), que contó con sólo dos datos correspondientes a una sola altura en el fuste (y a un solo árbol) (Cuadro 3-6). Se decidió desarrollar el análisis excluyendo al sitio LC y al efecto altura, según modelo estadístico [29]

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \varepsilon_{jk} \quad [29]$$

$i = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2, \dots, 20$

donde:

$y_{ijkl}$  : tensión de rotura en corte paralelo correspondiente al k-ésimo árbol en el i-ésimo sitio

$\alpha_i$  : efecto fijo del i-ésimo sitio

$\delta_{k(i)}$  : efecto fijo del k-ésimo árbol anidado en el i-ésimo sitio

$\varepsilon_{jk(i)}$  : efecto aleatorio del k-ésimo árbol en el i-ésimo sitio (error aleatorio)

**Dureza.** La Tensión de penetración promedio, fue estimada con baja precisión a nivel de las medias poblacionales “sitio por altura”, debido a datos ausentes y

bajas repeticiones (precisiones del orden del 7% al 27%). Se decidió desarrollar el análisis excluyendo al efecto altura, según el modelo expresado en [27].

- Las variables referidas a los defectos en la madera: **longitud de grietas por metro lineal de tabla, longitud de rajaduras por metro lineal de tabla, número de nudos por metro lineal de tabla, desviación de la fibra**, fueron analizadas bajo el modelo [28].

### 3.2.8.2. EL ANÁLISIS DE RELACIONES LINEALES

Se empleó el análisis de correlación de Pearson. Se ajustaron modelos de regresión lineal simple y múltiple, cuyos parámetros fueron estimados por mínimos cuadrados. Se desarrollaron análisis de la varianza para probar la significancia de la regresión y se calcularon los intervalos de confianza de los parámetros de los modelos. La adecuación o calidad de ajuste de los modelos fue valorada por el coeficiente de determinación (Montgomery *et al.*, 2006).

Se emplearon como gráficas de diagnóstico la gráfica de residuales vs. medias estimadas de los tratamientos y la gráfica s-l o gráfica de dispersión de los residuales (Infante Gil, 1990; Kuehl, 2001).

## ***CAPITULO 4 – RESULTADOS y DISCUSIÓN***

---

El presente Capítulo fue organizado en dos partes. En la primera de ellas se hará referencia a las características climáticas y de paisaje de la región donde se encuentran implantadas las masas estudiadas. Asimismo se indicarán las estructuras y los crecimientos de estas plantaciones, tanto como su volumen en pie de madera.

En la segunda parte del Capítulo, se presentarán y analizarán los resultados obtenidos en relación a las propiedades de la madera del recurso regional. Propiedades en términos estructurales, químicos, físicos y mecánicos. Se indicarán relaciones entre distintas propiedades y el análisis de sus variaciones dentro y entre árboles tanto como entre las diferentes localizaciones donde las masas forestales se han desarrollado.

## 6.1. EL RECURSO REGIONAL DE *Acacia melanoxylon*, CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DE SU DESARROLLO, EXISTENCIAS EN VOLUMEN COMERCIAL

### 4.1.1. EL ORIGEN DE LAS MASAS

Los administradores/propietarios de los establecimientos ubicados en los sitios serranos Cinco Cerros (CC) y Los Tuelches (LT) mencionaron la presencia de la especie desde el año 1940, en grupos aislados, desconociéndose su procedencia u origen. Las Cortaderas (LC) se implantó como un monte de reparo para el ganado junto a otras especies ubicadas perimetralmente, en los años 60. En este monte hubo dos focos de incendio y la procedencia probable de la simiente fue un vivero de la región, no habiéndose realizado extracción de madera. En el sitio Mar Chiquita (MCh), planteada como una forestación de reparo, se encontró *Acacia melanoxylon* entremezclada principalmente con especies de los Géneros *Eucalyptus* y *Robinia*. La edad aproximada de los eucaliptos más antiguos fue de 40 años, indicándose que *A. melanoxylon* se implantó posteriormente, desarrollándose protegida por aquéllos y creciendo contemporáneamente con *Robinia pseudocacia*. Se practicaron en esta parcela algunas extracciones que, al igual que las informadas para CC, se destinaron para leña/postes, y no respondieron a estrategias de manejo o plan de Ordenación alguno. El recurso no se aprovecha comercialmente, su principal función fue y es la de proveer reparo para el ganado.

### 4.1.2. CARACTERIZACIÓN CLIMO-EDÁFICA Y PAISAJE DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

El régimen agroclimático de heladas para la región en estudio se caracteriza por una fecha media de primeras heladas comprendida entre el 10 de mayo (Necochea) y el 20 de mayo (Balcarce y Mar del Plata); y una fecha de últimas heladas entre el 30/10 (Necochea) y el 15/10 (Balcarce y Mar del Plata) (EEA INTA –Castelar 2008). La temperatura mínima anual media se encuentra en el rango -5° C a -7° C.



La analogía climática entre la región de origen de la especie y la región de introducción, surgida en la presente investigación se presenta en el Cuadro 4-1 en lo relativo al régimen térmico. Las Figuras 4-1, 4-2 y 4-3 indican la distribución anual de precipitaciones y las medias de los períodos estival y vegetativo para las localidades argentinas y australianas analizadas.

Cuadro 4-1. Régimen climático para localidades australianas y argentinas.

Localidad		Media del mes más frío (°C)	Media del mes más cálido (°C)	Media del período vegetativo (°C)	Máx media del mes más cálido (°C)	Mín media del mes más frío (°C)	Máx. Absoluta. (°C)	Mín. Absoluta. (°C)
Hamilton (Victoria)	Latitud: 37.65 S Longitud: 142.06 E Elevación: 241 m	9	20,4	18	27	4,3	43,3	-3,8
Orbost (Victoria)	Latitud: 37.69 S Longitud: 148.46 E Elevación: 41 m	10,6	21,4	19,4	25	4,2	45,2	-3,2
Macedon Forestry (Victoria)	Latitud: 37.42 S Longitud: 144.56 E Elevación: 505 m	7,15	19,9	17,1	23	2,5	39,4	-6
Marravah (Tasmania)	Latitud: 40.91 S Longitud: 144.7 E Elevación: 107 m	9,9	17,5	15,5	21	6,7	34,2	-0,2
Sheffield (Tasmania)	Latitud: 41.38 S Longitud: 146.33 E Elevación: 280 m	7,5	17,6	15,6	21	2,5	34,4	-5,7
Scottsdale (Tasmania)	Latitud: 41.17 S Longitud: 147.5 E Elevación: 198 m	9,1	19	16,8	23	3,7	35,9	-4,7
Balcarce (Argentina)	Latitud: 37.52 S Longitud: 58.18 O Elevación: 130 m	7,5	20,5	17,7	27,4	3,2	38	-4
Necochea (Argentina)	Latitud: 38.44 S Longitud: 58.44 O Elevación: 17 m	8,2	20,9	18	28	3,4	40,7	-5,1
Mar del Plata (Argentina)	Latitud: 37.56 S Longitud: 57.35 O Elevación: 21 m	7,7	20,9	17,9	27	3,1	39,4	-4,3

Entre las regiones australianas de Victoria y Norte de Tasmania y la región argentina del sudeste de la provincia de Buenos Aires aquí analizadas, no se apreciaron diferencias importantes en los valores térmicos (Cuadro 4-1). Tampoco las localidades argentinas se diferenciaron entre sí en los valores térmicos analizados. Localmente, Culot (2000) indicó a la región sudeste de la provincia de Buenos Aires como una unidad climática al desarrollar una zonificación ecológica para el *Eucalyptus globulus*, especie que comparte su región de origen con *A. melanoxylon* en la franja latitudinal 37 °S – 41 °S, aquí indagada. Las precipitaciones anuales para Balcarce, Necochea y Mar del Plata son de 903,5 mm/año, 830 mm/año y 921 mm/año respectivamente (EEA-INTA Balcarce, 2008; SMN, 2008). Su distribución anual se indica en la Figura 4-1, y en la Figura 4-2 se hace lo propio para localidades australianas.

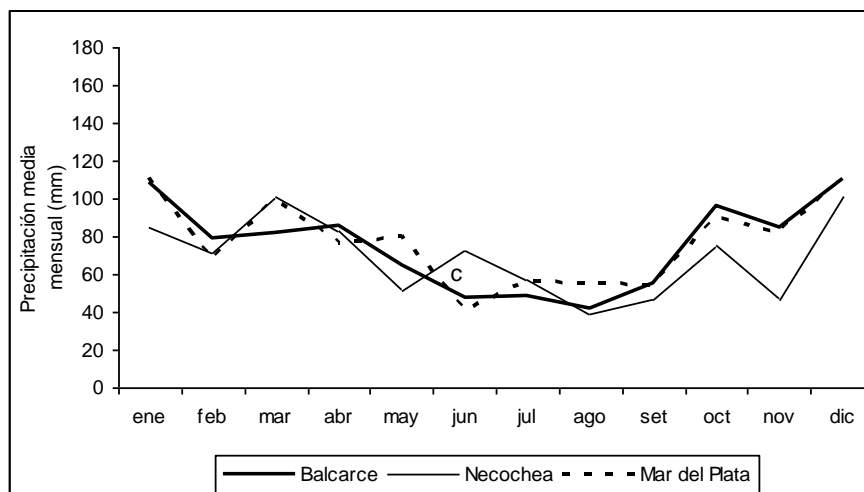


Figura 4-1. Distribución anual de las precipitaciones en localidades argentinas.

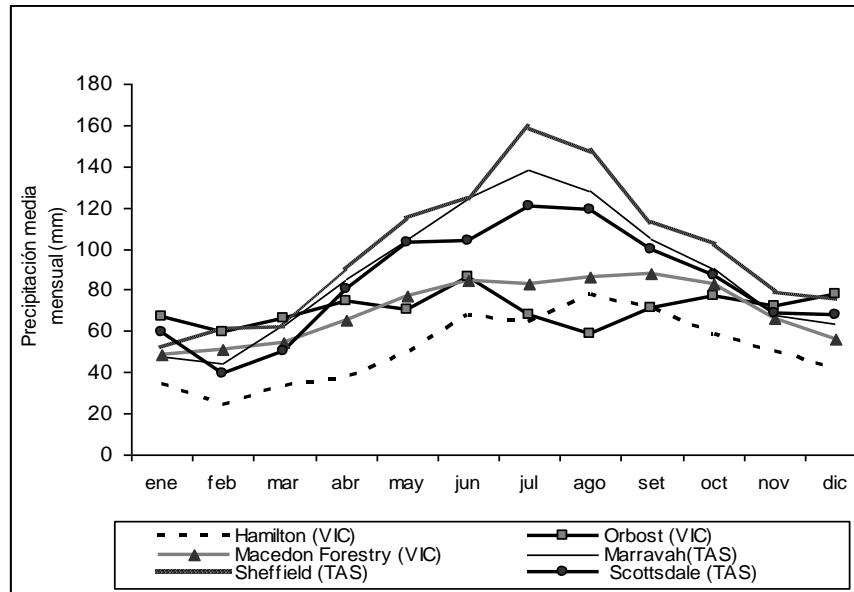


Figura 4-2. Distribución anual de las precipitaciones en localidades australianas.

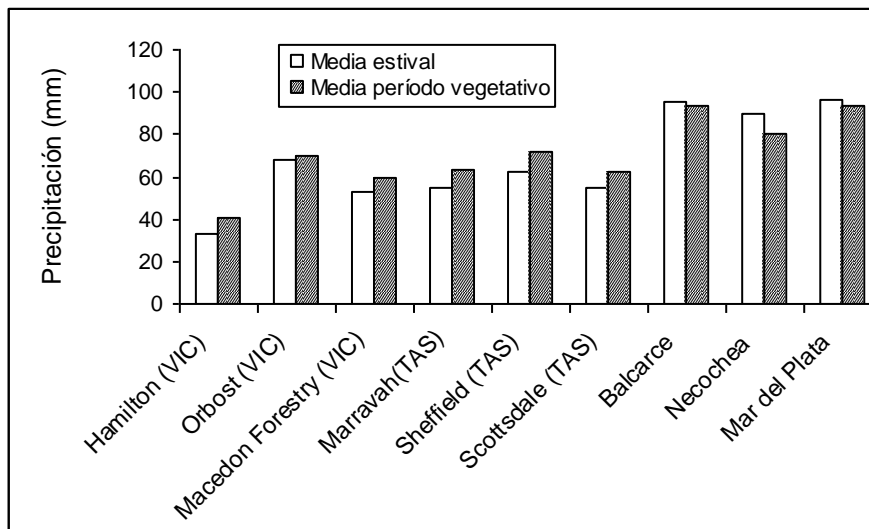


Figura 4-3. Precipitaciones medias estivales y del período vegetativo.

Las precipitaciones tanto en localidades australianas como en las argentinas corresponden a regímenes isohigros y, dentro de tal condición, presentaron leves diferencias. En general las localidades australianas registraron máximos en la época invernal, lo que fue más notorio en Tasmania. En cambio, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, las precipitaciones tienen sus valores máximos desde setiembre hasta abril y los mínimos en el invierno. Por lo tanto podría indicarse que localmente existe

una mayor oferta hídrica durante el verano y el período de crecimiento en relación a las estaciones de origen (Figuras 4-1, 4-2, y 4-3). Asimismo, la región no impondría limitaciones climáticas para el desarrollo de *A. melanoxylon* ya que las precipitaciones superan los 600 mm, no presenta período seco definido, las temperaturas medias mínimas no descienden en ningún mes del año debajo de 0°C, la mínima absoluta no alcanza el umbral de -10°C y se asegura un período libre de heladas de por lo menos 130 días, condiciones éstas indicadas como favorables para el desarrollo de la especie en los climas templados (Esterhuyse, 1985; Ramírez y Schlatter, 1998; Maslin y McDonald, 2004).

Los atributos de paisaje de las parcelas, sobre la base de la cartografía, se describen como sigue:

- Cinco Cerros (CC) es zona de loma en área serrana, en la parte baja de una ladera de orientación noreste y con afloramientos rocosos;
- Los Tuelches (LT) es área de pendientes cortas modificadas, con rocas cerca de la superficie, baja capacidad de almacenar agua y escasa profundidad efectiva, en ladera de orientación suroeste;
- Las Cortaderas (LC) es zona de plano extendido, con drenaje moderado a imperfecto y moderada alcalinidad en la parte inferior del perfil;
- Mar Chiquita (MCh) es zona de relieve eólico de acumulación deflación, con leve peligro de erosión hídrica.

Coincidentemente con lo informado, la especie se encuentra localmente ocupando diferentes posiciones topográficas y paisajes: laderas en pendientes, mesetas y cimas en los sitios serranos CC y LT, y estaciones de planicie cercanas al mar, MCh y LC. Al igual que sucede en su región de origen, las masas de *A. melanoxylon* estudiadas en el presente trabajo estuvieron localizadas a no más de 200 km del frente costero (Maslin y Mc Donalds, 2004).

La textura edáfica donde la especie se desarrolla mejor es en arcillas limosas (Kannegiesser, 1989; Siebert y Cerda, 1994), siendo ésta, observada en la totalidad de los sitios locales (Cuadro 4-2).

La profundidad de suelos y ausencia de limitaciones de drenaje, también óptimas para el desarrollo de *A. melanoxylon* (Siebert y Cerda, 1994, Pinkard y Beadle, 2002; Beadle *et al.*, 2004), se encontraron en menor medida en los sitios serranos. LT correspondió a un sitio con una alta proporción (80%) de suelos caracterizados por un contacto lítico a escasa profundidad, dado por la presencia de rocas impermeables. Cinco Cerros presentó afloramientos rocosos y una proporción de 20% de suelo con horizonte petrocálcico (tosca). Los suelos del grupo ácuico también podrían representar limitaciones de drenaje, siendo LC y MCh los sitios que presentaron suelos de este grupo en un (20%) de la asociación –complejo (Cuadro 4-2).

Desde el punto de vista de la Capacidad de uso agrícola de los suelos, CC correspondió a los de mejores condiciones (clase I), MCh y LC pertenecieron a las clases III y IV respectivamente, que se caracterizan como arables, si bien en Las Cortaderas cabe esperar una moderada alcalinidad, circunstancia a la que la especie de estudio no se adapta bien. LT quedó tipificado como clase VI, un suelo que desde el punto de vista agrícola impone limitantes (presencia de rocas, peligro de erosión hídrica, excesivo drenaje, bajas retención hídrica y fertilidad). Como el cultivo forestal puede desarrollarse en pendientes más pronunciadas que los cultivos agrícolas que se practican en el SE de la provincia de Buenos Aires, este sitio ha permitido el desarrollo de este recurso forestal, como se verá en adelante.

Cuadro 4-2. Caracterización edáfica. Unidades cartográficas correspondientes a los sitios (INTA-CIRN, 1979; Soil Survey Staff, 2006).

	SERIE DE SUELO (y su participación en el complejo)	POSICIÓN	SUB GRUPO	TEXTURA
MAR CHIQUITA (MCh)	COBO (40 %)	LOMA EOLICA	HAPLUDOL TAPTO ARGICO	FINA
	MAIPU (30 %)	LOMA EOLICA	HAPLUDOL TAPTO ARGICO	FINA
	AYACUCHO (20 %)	BAJO TENDIDO	NATRACUOL TIPICO	FINA
	NAPALEOUFU (10 %)	BAJO	ARGIALBOL ARGIACUICO	FINA
CINCO CERROS (CC)	MAR DEL PLATA (80 %)	LOMA	ARGIUDOL TIPICO	LIMOSA FINA
	BALCARCE (20 %)	LOMA	PALEUDOL PRETOCALCICO	LIMOSA FINA
LOS TUELCHES (LT)	SIERRA DE LOS PADRES (80 %)	CRESTA DE LOMA	HAPLUDOL LITICO	LIMOSA FINA
	DOS NACIONES (10 %)	MEDIA LOMA ALTA	ARGIUDOL LITICO	LIMOSA FINA
	BALCARCE (5 %)	PIE Y MEDIA LOMA	PALEUDOL PRETOCALCICO	FRANCO FINA
	LA ALIANZA (5 %)	MEDIA LOMA	HAPLUDOL LITICO	LIMOSA FINA
LAS CORTADERAS (LC)	LOBERIA (60 %)	TENDIDO	ARGIUDOL	FINA
	MECHONGUÉ (15 %)	TENDIDO	NATRACUOL TIPICO	LIMOSA FINA
	AZUL (15%)	MICRO PENDIENTES	PALEUDOL PRETOCALCICO	LIMOSA FINA
	LA MALA CARA (5%)	BAJOS	NATRACUOL TIPICO	FINA
	COMANDANTE NICANOR OTAMENDI (5%)	BAJOS	NATRALBOL TIPICO	FINA

#### 4.1.3. SUPERFICIE Y COMPOSICIÓN DE LAS MASAS

La superficie correspondiente a las parcelas de estudio se indica en el Cuadro 4-3.

Cuadro 4-3. Superficie de las parcelas de estudio.

Sitio	Superficie de la parcela (ha)
Las Cortaderas (LC)	0,57
Cinco Cerros (CC)	0,22
Mar Chiquita (MCh)	0,83
Los Tuelches (LT)	0,23

Las masas fueron monoespecíficas a excepción de MCh en cuya composición el 38,9 % de los árboles correspondió a *Acacia melanoxylon*, 21 % a especies del Género *Eucalyptus*, 35,9 % a *Robinia pseudoacacia*, y el resto a especies de los Géneros *Pinus*, *Cupresus* y *Celtis*.

Las condiciones de protección, que son críticas para lograr buenos desarrollos y formas del fuste en la especie, se presentaron de maneras diferentes en los distintos sitios. En LT, la masa se localizó en la ladera serrana de exposición sur-suroeste, en la cual se esperan condiciones ambientales de temperatura bajas, alta humedad relativa, protección por las sierras circundantes y por la vegetación arbórea acompañante, y, consecuentemente, disponibilidad hídrica en el sitio. En CC la especie se desarrolló en la ladera serrana de exposición noreste, pedemonte enfrentado a parcelas de cultivo agrícola y no manifestó ningún tipo de los defectos (“doble flecha”) informados para la especie en esas condiciones (INFOR-CONAF, 1997). En MCh, lo hizo en un rodal mixto protegida por vegetación preexistente y por vegetación contemporánea. *A. melanoxylon* se desarrolló bajo el dosel de especies del Género *Eucalyptus*. En LC se desarrolló sin mayor protección que la provista por la presencia, al oeste, de una cortina de especies del Género *Eucalyptus*.

La composición del vuelo en términos de árboles de fuste único, de fuste bifurcado (ya sea sobre el DAP o bajo el DAP) y de cepas se indica en el Cuadro 4-4.

Cuadro 4-4. Composición de vuelo en los sitios según los casos de árboles de fuste único, de fuste bifurcado y de cepas.

Sitio	Árboles Bifurcados /ha (Totales: al DAP y bajo el DAP)	Árboles Bifurcados /ha sobre el DAP	Cepas por ha	Árboles de Fuste único por ha
LC	28	14	67	1586 (97%)*
CC	100	59	523	1755 (92%)
MCh	8	1	5	428 (99%)
LT	17	4	4	1835 (99%)

*DAP: diámetro a la altura del pecho(1,3m).*

*\* porcentaje en relación al total de árboles por hectárea.*

*LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita ; LT: Los Tuelches.*

Se apreció en la composición del sitio CC la mayor cantidad de cepas y árboles bifurcados. Sin embargo, en todos los sitios el porcentaje de árboles de fuste único fue superior al 90% (Cuadro 4-4).

Los árboles muertos en pie y las cepas correspondieron en mayor medida a las clases diamétricas inferiores, es decir árboles de hasta 10 cm de DAP, en todos los sitios. También se registraron cepas en las clases diamétricas superiores, sobre todo en CC donde, como se dijo, se realizaron extracciones para postes (Cuadro 4-5). Los sitios serranos (LT y CC) tuvieron destacada presencia de árboles muertos en pie. Estas masas, por otra parte, mostraron las mayores densidades en árboles vivos/ha como se indica más adelante, en el Cuadro 4-15 referido al volumen comercial de las masas. Por ello podría asociarse la alta ocurrencia de individuos muertos a una fuerte situación de competencia por el espacio, que se tornó crítica, sumándose además, el contexto de las características edáficas de estos sitios serranos. En LC, el acceso del ganado a la plantación puede haber contribuido a la presencia de árboles muertos en pie.



Cuadro 4-5. Árboles muertos en pie y cepas según sitios y clases diamétricas. Casos en la hectárea.

	Sitio	Clase I (0-5 cm)	Clase II (5-10 cm)	Clase III (10-15 cm)	Clase IV (15-20 cm)	Clase V (20-25 cm)	Clase VI (25 cm a más)
Muertos en pie	LC	47	21	3	-	-	-
	CC	26	38	12	-	-	-
	LT	51	37	9	2	-	2
	MCh	10	1	-	-	-	-
Cepas	LC	7	20	2	-	6	3
	CC	9	35	25	18	8	20
	LT	-	1	-	-	-	-
	MCh	-	1	-	-	-	3

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita.

Los árboles asociados espacialmente (Capítulo 3, Figura 3-2), indicativos de la ocurrencia de rebrotes de raíz y/o de cepa, se mostraron en alto número en todos los sitios. El número de árboles desarrollándose como árboles asociados (es decir, en grupos) resultó cercano a la mitad del stock de plantas en la hectárea (Cuadro 4-6). Los perfiles de suelo reducidos en espesor pueden propiciar en la especie la ocurrencia de rebrotes desde las raíces, las que no se pueden desarrollar en profundidad (Nicholas y Brown, 2002). En este sentido, LT representó la situación más extrema por su limitado espesor de suelo, sin embargo este hábito del rebrote estuvo presente en todos los sitios.

El tamaño de los grupos, esto es la cantidad de árboles que los integraron, se indica en el Cuadro 4-7. Grupos de dos y tres árboles han sido los más frecuentes en todos los sitios: 77 % de los grupos en LC, el 84 % en CC, el 76 % en MCh, y el 68 % en LT. En LT se encontraron grupos formados por hasta 14 árboles, en el resto de los sitios, en general, el tamaño máximo de los grupos estuvo entre 6 y 8 árboles.

Cuadro 4-6. Casos de árboles asociados, según los sitios. Número de grupos y de árboles involucrados.

Sitio	Grupos/ha	Árboles involucrados (árboles/ha)	Árboles involucrados (%)*
LC	232	749,12	46
CC	318	872,73	46
MCh	54	218,07	50
LT	230	917,39	49,5

\* porcentaje en relación al total de árboles por hectárea.

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

Cuadro 4-7. Árboles asociados. Tamaño de los grupos según los sitios.

Número de árboles en el grupo	LC (%)*	CC (%)*	MCh (%)*	LT (%)*
2	46,9	58,6	49,1	39,7
3	30,2	25,7	26,8	28,4
4	11,3	5,7	15,6	3,8
5	3,8	4,3	2,2	7,6
6	3,8	4,3	4,5	9,5
7	2,3	1,4	-	-
8	0,8	-	-	1,9
9	-	-	-	1,9
10	-	-	-	1,9
11	-	-	-	-
12	-	-	-	1,9
13	0,8	-	-	1,9
14	-	-	-	1,9
Más de 14	-	-	2,2	-

\* porcentaje en relación al número total de grupos.

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

En el presente trabajo se apreció cualitativamente una importante variación estacional en el número de plántulas o renuevos, muy abundantes en la primavera-verano y prácticamente ausentes en el invierno subsiguiente. Si bien el estudio de esta dinámica no formó parte de los objetivos de la presente tesis, puede considerarse que, similarmente a lo informado en zona de origen, se ha logrado en las masas regionales la conformación de un banco de semillas cuya magnitud pareció destacada (Jennings, 1998; Nicholas y Brown, 2002).

#### 4.1.4. ESTRUCTURA DE LAS MASAS

La estratificación de los diámetros normales (DAP) según las clases diamétricas definidas mostró la siguiente distribución de frecuencias (número de árboles/clase) en cada uno de los sitios (Cuadro 4-8):

Cuadro 4-8. Distribución de frecuencias según clases diamétricas.

Clase diamétrica	LC (n)	CC (n)	MCh (n)	LT (n)
I (0-5 cm)	254	61	142	81
II (5-10 cm)	365	147	111	130
III (10-15 cm)	196	119	60	115
IV (15-20 cm)	64	75	26	61
V (20-25 cm)	32	26	19	28
VI (25 a + cm)	33	15	12	16

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

En todas las masas estudiadas se observó una alta proporción de árboles dentro de las clases diamétricas inferiores (Cuadro 4-8). En una masa cuya estructura corresponda a la denominada “de edad uniforme típica”, la distribución de los diámetros normales en clases se adecua a la función de distribución de probabilidades Normal, con un dosel uniforme de copas donde el mayor número de fustes cae dentro de una clase diamétrica central que contiene al promedio del rodal (Pita Carpenter, 1971; Daniel *et al.*, 1982).

El recurso forestal evaluado en este trabajo, mostró una falta de adecuación de todas las distribuciones empíricas a la distribución normal. Los coeficientes de asimetría y curtosis, que tomaron valores distintos de cero en todos los casos (Cuadro 4-9), y el test Shapiro-Wilk (Cuadro 4-10) lo indicaron. En principio, distribuciones de los diámetros como las descritas aquí, es decir con una mayor proporción de las clases de tamaño pequeño (que se supone corresponde a los árboles más jóvenes), estaría asociada a la destacada actividad de regeneración observada (Daniel *et al.*, 1982).

Cuadro 4-9. Coeficientes de asimetría y curtosis de las distribuciones empíricas.

Sitio	Media	Desvío Estándar	Coefficiente de Asimetría	Coefficiente de Curtosis
LC	9,5	6,8	2,41	8,82
CC	11,8	6,5	1,18	1,97
MCh	8,9	7,1	1,92	5,04
LT	11,2	6,5	0,83	0,90

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

Las masas estudiadas registraron estructuras intermedias entre la estructura de edad uniforme y la de edad desuniforme, con distribuciones de tipo asimétricas positivas y presencia de abundante regeneración.

Cuadro 4-10. Test de normalidad de Shapiro –Wilk.

Sitio	Estadística W	valor p
LC	W = 0,7964	< 2,2e-16
CC	W = 0,9185	< 2,2e-16
MCh	W = 0,8267	< 2,2e-16
LT	W = 0,9554	3,785e-10

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

#### 4.1.5. EXISTENCIAS EN VOLUMEN COMERCIAL DE LAS MASAS

##### 4.1.5.1. VOLUMEN COMERCIAL, CRECIMIENTO Y EDAD DE LOS ÁRBOLES TIPO

La información dendrométrica y epidométrica resultante de la cubicación de los Árboles Tipo (AT) se indica en los Cuadros 4-11, 4-13 y 4-14. En coincidencia con lo analizado antes respecto a la estructura de las masas, la determinación de las edades de los AT indicó que cada sitio estuvo poblado por árboles de diferentes edades, es decir, se trató de masas con algún grado de desuniformidad en la edad. AT de una misma clase diamétrica presentaron edades bastante diferentes, ya sea observados dentro o entre sitios (Cuadro 4-11). A diferencia de la estructura aquí descrita resultante de un desarrollo espontáneo de la población de árboles cabe esperar, bajo ordenación forestal, el logro de estructuras de masa regular (de edades uniformes) dado que la especie muestra un temperamento para ello. Así lo indica la bibliografía referida a plantaciones de la especie en otros países, presentada en esta Tesis.

Mar Chiquita podría considerarse la plantación más joven, con Árboles Tipo de edades comprendidas entre los 10 y 15 años (Cuadro 4-11). Desde el punto de vista del crecimiento y en relación a las otras masas estudiadas, esta población estaría inserta en una etapa de crecimiento más juvenil, es decir, una etapa de incrementos exponenciales en su desarrollo (Pita Carpenter, 1971).

La altura total de árboles dominantes - codominantes a una edad determinada es un atributo que podría considerarse indicador de la calidad que los sitios representaron para el desarrollo de la especie. La desuniformidad de edades intra e inter sitios impidió una correcta comparación en este sentido. Sin embargo, analizando en el Cuadro 4-11 los AT de las clases diamétricas superiores (IV, V, VI) como una aproximación al concepto de árboles codominantes, LT aparece como el sitio de mayor altura total y LC como el de menor altura (excluyendo MCh, árboles no comparables en este razonamiento debido a su evidente menor edad).

Cuadro 4-11. Volumen comercial y edad de los Árboles Tipo

Sitio	Clase	Edad (años)	DAP c/c (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Volumen comercial real (m <sup>3</sup> )	
						C/C	S/C
LC	I	9	3,95	6,0	4,1	0,0043	0,0030
	II	10	5,55	7,45	4,3	0,0087	0,0065
	III	15	12,3	11,7	7,64	0,0558	0,0482
	IV	19	17,0	12,9	6,8	0,1451	0,1173
	V	30	20,8	13,8	8,0	0,2514	0,2287
LT	I	18	4,55	6,4	4,0	0,0055	0,0045
	II	10	8,2	9,35	5,7	0,0264	0,0217
	III	22	13,5	12,8	7,4	0,0809	0,0699
	IV	17	19,0	14,3	7,73	0,1682	0,1485
	V	30	21,8	15,6	8,77	0,2396	0,2082
	VI	27	33,2	18,8	9,85	0,6402	0,5785
MCh	I	10	4,3	4	2,0	0,0035	0,0025
	II	10	8,5	11,2	6,85	0,0381	0,0294
	III	10	12,5	12,8	6,8	0,0696	0,0571
	IV	11	17,2	13,23	6,5	0,1195	0,1065
	V	9	22,4	15,9	10,87	0,2767	0,2381
CC	I	10	4,5	5,0	1,9	0,0021	0,0016
	II	-	7,85	8,3	7,0	0,0258	0,0205
	III	20	13,4	12,6	8,1	0,0862	0,0776
	IV	31	17,5	12,1	7,7	0,1556	0,1439
	V	21	21,45	14,1	8,6	0,2500	0,2265
	VI	21	25,4	13,3	6,87	0,2909	0,2666

DAP: diámetro a 1,3 m desde nivel del suelo; C/C: con corteza; S/C: sin corteza.

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

Otros estudios locales contemporáneos, realizados sobre las mismas parcelas, permitieron contar con más registros de altura total que los hasta aquí indicados, que se refieren solamente a los AT (Rotello Agnelli, 2008) y se muestran en el Cuadro 4-12.

Cuadro 4-12. Altura total en árboles codominantes (clases IV, V y VI).

Sitio	Altura total Valor medio (m)	Altura total Desvío estándar (m)	Número de observaciones
LC	12,80	3,06	10
CC	14,75	2,12	15
MCh	16,42	2,08	18
LT	15,64	2,08	23

LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita; LT: Los Tuelches.

Entre los sitios de mayor edad, LT y LC presentaron la mayor y menor altura total, respectivamente. LT si bien con limitaciones en cuanto al espesor del perfil edáfico, parece entregar un ambiente de protección (alta humedad relativa, bajas temperaturas y disponibilidad hídrica) favorables al desarrollo de la especie. Las limitantes edáficas descritas para LC (moderada alcalinidad y drenaje imperfecto) y la baja protección de vegetación circundante le restarían aptitud frente a los otros sitios. MCh, con árboles más jóvenes, y protegida por la presencia de otras especies forestales (Géneros *Eucalyptus* y *Robinia*) parece representar un sitio (y una situación, por la protección) de buena aptitud para el desarrollo de la especie, aún superior a LT.

La altura comercial (Cuadro 4-13) se encontró entre el 49,1 y el 68,4% de la altura total para todos los sitios considerando los árboles de clase IV y superiores. Esta distribución de la biomasa aérea en *A. melanoxylon*, donde la copa ocupa una proporción relevante, también ha sido informada en plantaciones de Portugal donde el nivel de nacimiento de la copa, como porcentaje de la altura total para árboles con un DAP de 40 cm, estuvo comprendido entre 41,7 y 58.2 % (Knapic *et al.*, 2006).

El recurso regional, con cierta variación entre sitios, podría ofrecer, a través de sus clases diamétricas superiores, rollizos comerciales de entre 6,5 m y 11 m de longitud (Cuadro 4-11), con coeficientes de forma promedio de  $0,80 \pm 0,09$ , indicativos de una alta cilindridad (Cuadro 4-13).

Cuadro 4-13. Coeficientes m3rficos (CM) y contenido de corteza en los 3rboles Tipo (AT)

Sitio	Clase del AT	CM (sobre altura total C/C)	CM (sobre altura comercial C/C)	Corteza (% en volumen)	Altura comercial (% respecto a altura total)
LC	I	0,59	0,87	30,23	68,33
	II	0,48	0,88	25,29	57,72
	III	0,40	0,62	13,62	65,30
	IV	0,50	0,94	19,18	52,71
	V	0,54	0,93	9,03	57,97
LT	I	0,53	0,85	18,18	62,50
	II	0,54	0,88	17,80	60,96
	III	0,44	0,76	13,54	57,81
	IV	0,42	0,77	11,70	54,06
	V	0,41	0,73	13,13	56,22
	VI	0,39	0,75	9,64	52,39
MCh	I	0,60	0,92	28,57	50,00
	II	0,60	0,99	22,83	61,16
	III	0,44	0,83	17,97	53,13
	IV	0,39	0,79	10,82	49,13
	V	0,44	0,65	13,95	68,36
CC	I	0,26	0,68	23,81	38,00
	II	0,65	0,76	20,54	84,34
	III	0,49	0,76	9,96	64,29
	IV	0,54	0,84	7,56	63,64
	V	0,49	0,80	9,38	60,99
	VI	0,43	0,84	8,35	51,65

*C/C: con corteza.*

*LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita; CC: Cinco Cerros.*

El contenido individual promedio de corteza, expresado como porcentaje del volumen comercial individual, fue de 11,27 %  $\pm$  3,5 y result3 menor en los sitios serranos (Cuadro 4-13). Este atributo puede asociarse en alguna medida con la calidad del sitio,



dado que se han observado mayores porcentajes de corteza en sitios de inferior calidad, aunque también ha sido asociado con la edad del rodal, el manejo y la densidad de la plantación (Pardé, 1961; Barrett y Salvioni, 1991).

A nivel de los AT, el análisis comparativo entre sitios (Cuadro 4-14) del incremento medio anual en volumen [volumen actual de madera/edad] se vio condicionado por la desuniformidad de edades que caracterizó al material experimental. Como fue dicho, la edad es indicativa de la etapa de desarrollo en que se encuentran los individuos, etapas éstas, que implican diferentes tasas de crecimiento. Así, MCh mostró las más altas tasas de crecimiento, propio de la etapa más juvenil en que se encontraba. En plantaciones jóvenes de Sri Lanka se informaron crecimientos en DAP similares a los de Mar Chiquita; y en Portugal, otros inferiores (INFOR-CONAF, 1997; Pinilla Suárez, 2000).

Dentro de árboles de edades similares (30-31 años), si bien son pocos individuos, se observaron diferencias en los incrementos medios que podrían indicar variaciones en la calidad que los sitios locales han ofrecido para el desarrollo de *A. melanoxylon* (Cuadro 4-14).

En Árboles Tipo de 30-31 años, LT fue el de mayor incremento medio en DAP (0,73 cm/año) *versus* CC (0,56 cm/año) y LC (0,69 cm/año), posiciones relativas que también se mantuvieron en relación al incremento medio en altura total. En referencia al incremento medio en volumen comercial, LT y LC resultaron similares y mayores frente a CC (Cuadro 4-14).

Cuadro 4-14. Incrementos medios anuales en altura total, DAP y volumen comercial real de los Árboles Tipo (AT).

Sitio	Clase* del AT	Edad (años)	Incremento Medio en Altura Total (m/año)	Incremento Medio en DAP (cm/año)	Incremento Medio en Volumen Comercial (m <sup>3</sup> /año)
LC	I	9	0,67	0,44	0,0005
	II	10	0,75	0,56	0,0009
	III	15	0,78	0,82	0,0037
	IV	19	0,68	0,89	0,0076
	V	30	0,46	0,69	0,0084
LT	I	18	0,36	0,25	0,0003
	II	10	0,94	0,82	0,0026
	III	22	0,58	0,61	0,0037
	IV	17	0,84	1,12	0,0099
	V	30	0,52	0,73	0,0080
	VI	27	0,70	1,23	0,0237
MCh	I	10	0,40	0,43	0,0004
	II	10	1,12	0,85	0,0038
	III	10	1,28	1,26	0,0070
	IV	11	1,20	1,56	0,0109
	V	9	1,77	2,49	0,0307
CC	I	10	0,50	0,45	0,0002
	II	--	--	--	--
	III	20	0,63	0,67	0,0043
	IV	31	0,39	0,56	0,0050
	V	21	0,67	1,02	0,0119
	VI	21	0,63	1,21	0,0139

\*Clase diamétrica; DAP: diámetro a 1,3 m desde nivel del suelo.

LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita; CC: Cinco Cerros.

Estos incrementos locales determinados sobre árboles individuales (Cuadro 4-14) resultaron algo inferiores a lo informado en la literatura para plantaciones de Sri Lanka,

Portugal, Nueva Zelanda y Sudáfrica, donde se observaron incrementos en DAP del orden de 1 a 1,5 cm/año; e incrementos medios en altura del orden de 0,51 a 1,06 m/año en rotaciones de 30 y 40 años (de Zwaan, 1982; Esterhuyse, 1985; Siebert y Bauerle, 1995; INFOR-CONAF, 1997; Pinilla Suárez, 2000, Searle, 2000; Pinkard y Beadle, 2002).

También resultaron inferiores a lo informado en Chile, aunque difirieron en menor magnitud. En rodales de Valdivia, de 17-34 años, la especie ha manifestado incrementos medios en DAP y en altura de 0,53 a 1,04 cm/año y 0,62 a 1,09 m/año respectivamente; y en rodales de 18-20 años de la isla de Chiloé, incrementos en diámetro normal y altura de 0,7 a 1,22 cm/año y 0,64 a 0,93 m/año respectivamente (INFOR-CONAF, 1997; Pinilla Suárez, 2000). En Portugal, Santos *et al.* (2007), evaluando los poblamientos espontáneos de la especie, encontraron que tuvo un crecimiento en DAP de 0,89 cm/año, superior al de *Pinus pinaster* y del orden de lo encontrado aquí en LT.

Bajo las condiciones que los sitios serranos imponen y en base a la dasometría de los Árboles Tipo, LT registró valores de altura total, DAP e incrementos medios que podrían estar indicándolo como el sitio de mayor calidad para el desarrollo de la especie. Esta afirmación es sólo una inferencia parcial, ya que se desconocieron las procedencias del material y la comparación se basó en un número pequeño de árboles. Asimismo se abre el interrogante acerca de si Mar Chiquita podría estar representando condiciones de sitio en donde se espere encontrar altas tasas de crecimiento en rotaciones más largas, del orden de lo indicado en la literatura para plantaciones.

#### 4.1.5.2. VOLUMEN COMERCIAL DE LAS MASAS

Entre las masas puras (LC, LT y CC), las existencias en volumen comercial fueron superiores en los sitios serranos (Cuadro 4-15) y, dentro de ellos, superior en LT.

Cuadro 4-15. Existencias en volumen comercial por hectárea con corteza (C/C) y sin corteza (S/C).

SITIO	Volumen comercial		Volumen comercial *		Árboles / ha
	(m <sup>3</sup> / ha)		(m <sup>3</sup> / ha)		
	C/C	S/C	C/C	S/C	
LC	57,08	48,08	49,60	42,58	1656
LT	183,60	160,77	165,97	146,30	1874
MCh ** (masa mixta)	20,88	17,34	15,17	12,96	446
CC	166,87	150,12	149,05	135,97	2013

\* excluyendo las clases diamétricas inferiores (I y II).

\*\* corresponde a *A. melanoxylon*.

LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita; CC: Cinco Cerros.

Considerando el conjunto de masas evaluadas, las clases inventariables menores (I y II) aportaron como máximo un 14% a las existencias totales en volumen comercial. Se aprecia en el Cuadro 4-15 la valoración del volumen comercial en pie excluyendo a dichas clases. En las masas puras se observó a la especie desarrollándose en una alta densidad poblacional actual, desde 1656 a 2013 árboles/ha.

La estructura o forma principal de masa encontrada en la región, resultante en parte de su hábito de regeneración y de la ausencia de intervenciones dasocráticas sobre el recurso, hizo dificultosa la comparación entre los rendimientos locales y los de otras estaciones del mundo, donde lo informado ha correspondido a planteos bajo ordenación forestal. Debe agregarse que la literatura no necesariamente ha calificado a las existencias en volumen informadas en términos de si correspondieron a un volumen comercial o al volumen total.

En plantaciones de Sudáfrica, de Zwaan (1982) estimó, en ensayos de raleo medio con densidad final de 395 árboles por hectárea, un DAP promedio de 37,7 cm y un volumen de 214m<sup>3</sup>/ha (Pinilla Suárez, 2000). Los Tuelches presentó un valor similar en términos de volumen comercial, aunque con una densidad actual de 1874 árboles por hectárea. En Chile, en la isla grande Chiloé, un rodal de 12 años, de regeneración natural

sometido a raleos, con 865 árboles/ha finales, presentó un volumen valioso (trozos de 8 m de largo, rectos y sin ramas) de 114,2 m<sup>3</sup>/ha (INFOR-CONAF 1997). Estos resultados son comparables con los del presente trabajo por cuanto se refieren a un volumen comercial, si bien con edad y densidad de árboles/ha menores.

En Chile, pero en referencia al volumen total, se ha informado el caso del Rodal 8 en Cautín-Valdivia que entregó un volumen total de 200 m<sup>3</sup>/ha con 25 años de edad, 2300 árboles/ha, 15 m de altura total y 14 cm de DAP. En comparación, los resultados locales significan volúmenes superiores, si se considera que las masas (LT y CC) están entregando 183,6 y 166,9 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente, de trozas comerciales de entre 6,5-11 metros. Asimismo, literatura correspondiente a plantaciones de Nueva Zelanda, Australia y Chile, ordenadas en rotaciones más largas (30-50 años) y densidades finales menores (200-400 árboles/ha) que lo observado localmente, reportan rendimientos superiores al del presente trabajo, del orden de los 400-800 m<sup>3</sup>/ha (INFOR-CONAF, 1997; Pinilla Suárez, 2000; Nicholas y Brown, 2002).

Como se indicó en el capítulo Materiales y Método (apartado 3.1.3.2), en las poblaciones estudiadas no se determinaron los incrementos medios en volumen, en DAP y en altura a nivel del rodal debido a la estructura de edad desuniforme que presentaron. Esto impidió contar con una edad de referencia para la plantación en base a la que calcular sus incrementos anuales. Al analizar las características hasta aquí evaluadas sobre el recurso local en relación a las evaluaciones en el recurso de los países donde se produce madera de calidad con la especie, pueden notarse algunas diferencias.

En Tasmania, Nueva Zelanda, Sudáfrica las situaciones de protección (cultivos protectores), las podas y los raleos son intervenciones silviculturales centrales en la ordenación forestal de las masas naturales y de las plantaciones para producir madera de calidad (Seydack, 2002; Medhurst *et al.*, 2003; Sands, 2004).

En este sentido, el recurso local se aparta de tal manejo, mostrando una alta densidad actual de plantas por hectárea. En referencia a la práctica de raleos se han informado diferentes planteos según las realidades productivas de los diferentes sitios de implantación. En Nueva Zelanda, frente a un stock de 1600 árboles/ha se recomendaron

3 a 4 raleos para lograr una densidad de 100-400 árboles/ha, a la edad de los diez años (Pinkard y Beadle, 2002). En cambio en Sudáfrica, se han planteado raleos progresivos hasta llegar a una densidad final de 300-400 árboles/ha a la edad de 17 años. Con ello se ha maximizado el volumen de rollizos utilizables a la edad de 34 años (Pinkard y Beadle, 2002; Beadle *et al.*, 2004; Nicholas y Gifford, 2004). En poblaciones naturales de los pantanos de Tasmania, la densidad considerada óptima fue de 200 árboles/ha con rotaciones de 70 años con el objetivo de lograr un diámetro normal mínimo de 50 cm. El régimen allí empleado implica ralear en una sola intervención. En Chile y Sudáfrica también se ha informado sobre la práctica de raleos tempranos, suaves y frecuentes para liberar paulatinamente a los mejores ejemplares. En los bosques puros del sur de Chile se han prescrito raleos por lo alto, para llegar a una densidad final de 200-250 árboles/ha en una rotación estimada de 45-50 años en promedio, para lograr diámetros normales de 70 cm, dependiendo de la productividad del sitio y del origen de la semilla (INFOR-CONAF, 1997).

Con lo anterior se aprecia que los planteos de ordenación forestal donde la especie es manejada para producir madera de calidad coinciden en que las rotaciones (edades de aprovechamiento forestal) son más largas que la que hasta el momento ha tenido el recurso local, y en que mediante raleos se practica un control poblacional que conduce a densidades finales no mayores de 400 árboles por hectárea, mucho menor densidad poblacional que la correspondiente al desarrollo del recurso local.

#### 4.1.6. PRINCIPALES RESULTADOS SOBRE EL RECURSO REGIONAL DE *A. melanoxylon*. CONDICIONES ECOLÓGICAS, CARACTERÍSTICAS DE LAS MASAS FORESTALES Y EXISTENCIAS EN VOLUMEN COMERCIAL

Se menciona la presencia de la especie desde los años 1940, desconociéndose su origen o procedencia.

La analogía climática entre las localidades australianas de origen y la región bajo estudio, ubicadas en la misma franja latitudinal, indicó que, si bien en ambos casos se trata de regímenes isohigros, localmente existe mayor oferta hídrica durante el período

de crecimiento. Por otra parte, el sudeste de la provincia de Buenos Aires no impone limitantes climáticas (apropiadas temperaturas medias mínimas y suficiente período libre de heladas).

Localmente la especie encuentra diversas condiciones de protección para su desarrollo debidas a la topografía. La textura edáfica (arcillas limosas) resulta apropiada, aunque las variaciones en profundidad de suelos y condiciones de drenaje generan tanto ambientes apropiados a su desarrollo, como otros con algún grado de limitaciones.

Los sitios estudiados, todos localizados a no más de 200 km del frente costero, se diferenciaron por las condiciones de protección ofrecidas, profundidad de suelos y condiciones de drenaje:

Los Tuelches, sitio serrano, caracterizado por un contacto lítico (rocas) a escasa profundidad en un 80% de su complejo edáfico, con peligro de erosión hídrica y excesivo drenaje. La plantación estudiada, masa pura, se desarrolló en la ladera de exposición sur-sudoeste, rodeada por otra vegetación arbórea y sierras. Se espera que esta situación genere un ambiente de bajas temperaturas y alta humedad relativa lo que sumado a la protección provista por la vegetación y sierras circundantes resulte en una apropiada disponibilidad hídrica.

Cinco Cerros, sitio serrano, caracterizado por la presencia de afloramientos rocosos y horizonte petrocálcico (tosca) en un 20% del complejo edáfico, con mayor profundidad del perfil que en el caso de Los Tuelches. La plantación estudiada, masa pura, se desarrolló en el pedemonte de una ladera de exposición norte, enfrentada a una llanura de cultivo agrícola. Se espera que esta situación genere condiciones ambientales más desecantes (mayores temperaturas, menor humedad relativa) en relación al otro sitio serrano.

Las Cortaderas, sitio de llanura, caracterizado por la presencia de suelos ácuicos (limitaciones de drenaje) y moderada alcalinidad en un 25% del complejo edáfico. La plantación, masa pura, se desarrolló sin mayor protección que la de una cortina coetánea de eucaliptos al oeste.

Mar Chiquita, sitio de llanura caracterizado por la presencia de suelos ácuicos (limitaciones de drenaje) en un 20% del complejo edáfico. La plantación, masa mixta (árboles mezclados de varias especies) se desarrolló protegida por la vegetación arbórea tanto preexistente como coetánea.

La composición del vuelo de las masas se caracterizó por la presencia mayoritaria de árboles de fuste único (97%) y alta proporción de los mismos (50%) asociados espacialmente, cuestión indicativa de la ocurrencia de rebrotes de raíz y de reducidos espesores del perfil del suelo.

En todas las masas se observó una estructura caracterizada por alta proporción de árboles en las clases diamétricas inferiores (estructura irregular o de edad desuniforme). A esta estructura le correspondieron distribuciones diamétricas asimétricas y positivas.

Las plantaciones se caracterizaron por una alta densidad poblacional actual, del orden de 1874 árboles/ha (LT) a 2013 árboles/ha (CC) en las masas puras.

Los Árboles Tipo (AT) seleccionados en el marco de la tarea inventarial (cinco por sitio) resultaron de edades diferentes. AT de una misma clase diamétrica fueron discetáneos, sea dentro o entre sitios, Mar Chiquita (MCh) puede considerarse la plantación más joven del conjunto estudiado.

El análisis de las alturas totales de los AT de las clases diamétricas superiores, excluyendo los del sitio MCh, permite indicar a Los Tuelches (LT) y a Las Cortaderas (LC) como los de mejor aptitud (mayor altura total) y menor aptitud para el crecimiento de la especie, respectivamente. Así también lo indicaron otras investigaciones contemporáneas sobre las mismas parcelas correspondientes a esta Tesis.

En Árboles Tipo de 30-31 años, LT fue el de mayor incremento medio en DAP (0,73 cm/año) *versus* CC (0,56 cm/año) y LC (0,69 cm/año), posiciones relativas que también se mantuvieron en relación al incremento medio en altura total.



El recurso regional de *A. melanoxylon*, con cierta variación entre sitios, ofrece a través de sus clases diamétricas superiores ( $DAP > 10$  cm), rollizos comerciales de entre 6,5m y 11m de longitud, con alta cilindridad.

En las masas puras (LT, LC y CC) las existencias en volumen fueron superiores en los sitios serranos. El volumen comercial fue del orden de: 184 m<sup>3</sup>/ha (LT), 167 m<sup>3</sup>/ha (CC) y 57 m<sup>3</sup>/ha (LC).

El rendimiento en volumen (las existencias) de LT, el mayor del conjunto aquí estudiado, fue similar a algunos informados en Sudáfrica y Chile (del orden de 214 m<sup>3</sup>/ha – 114 m<sup>3</sup>/ha). Sin embargo, plantaciones de Nueva Zelanda, Australia y también Chile, ordenadas con rotaciones más largas (30-50 años) y con densidades finales menores (200-400 árboles/ha) que lo observado localmente, reportan rendimientos superiores al del presente trabajo, del orden de los 400-800 m<sup>3</sup>/ha.

## **4.2. LA MADERA. ESTUDIOS XILOTECNOLÓGICOS**

### **4.2.1. INFORMACIÓN DENDRO EPIDOMÉTRICA DE LOS ÁRBOLES**

La información dendrométrica y las edades de los árboles muestreados para los estudios xilotecnológicos se indican en el Cuadro 4-16. Cabe recordar que estos árboles no se corresponden con aquéllos estudiados como Árboles Tipo en el cálculo de las existencias en volumen de madera de las masas forestales (Capítulo 4, Parte I).

El conjunto de árboles muestreados para los estudios xilotecnológicos manifestó nuevamente una desuniformidad de edades dentro y entre sitios. LT registró la mayor altura total promedio (Cuadro 4-16). El Cuadro 4-17 muestra los incrementos individuales medios anuales en DAP, altura total y volumen de los árboles.

Cuadro 4-16. Edades y variables dendrométricas de los árboles muestreados.

Sitio	Árbol*	Edad (años)	DAP	DAP	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	
			C/C (cm)	S/C (cm)			C/C	S/C
LT	LT- IV	22	16,6	15,3	12,8	7,4	0,1269	0,1069
	LT- IV <sub>1</sub>	17	20,9	19,5	14,3	7,7	0,2073	0,1814
	LT- V	30	21,8	19,3	15,6	8,8	0,2396	0,2082
	LT- V <sub>1</sub>	27	23,0	21,9	14,3	8,6	0,2527	0,2306
	LT- VI	27	33,2	31,6	18,8	9,9	0,6402	0,5785
LC	LC- IV <sub>1</sub>	27	16,5	14,5	13,6	6,7	0,1272	0,1062
	LC- IV <sub>2</sub>	26	15,5	14,3	12,6	9,2	0,1238	0,1027
	LC- IV <sub>3</sub>	32	16,1	14,8	13,6	8,0	0,1323	0,1118
	LC- IV <sub>4</sub>	25	16,2	15,1	13,7	7,6	0,1436	0,1131
	LC- IV <sub>5</sub>	19	17,0	15,5	12,9	6,8	0,1451	0,1173
CC	CC- III	20	13,4	12,7	12,6	8,1	0,0862	0,0776
	CC- IV <sub>1</sub>	31	17,5	16,8	12,1	7,7	0,1556	0,1439
	CC- IV <sub>2</sub>	26	17,4	16,2	13,4	7,2	0,1440	0,1249
	CC- V	21	21,4	20,4	14,1	8,6	0,2500	0,2265
	CC VI	21	25,4	24,4	13,3	6,9	0,2909	0,2666
MCh	MCh- III	10	12,5	11,2	12,8	6,8	0,0696	0,0571
	MCh- IV <sub>1</sub>	11	17,2	15,9	13,2	6,5	0,1195	0,1065
	MCh- IV <sub>2</sub>	12	19,6	18,0	13,4	7,7	0,1946	0,1667
	MCh- V <sub>1</sub>	9	22,4	21,0	15,9	10,9	0,2767	0,2381
	MCh- V <sub>2</sub>	15	23,5	21,8	16,8	9,6	0,3172	0,2796

\*Números romanos después del guión refieren a la clase diamétrica.

DAP: diámetro a 1,3 m sobre nivel del suelo.

C/C: con corteza; S/C: sin corteza.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Cuadro 4-17. Incrementos medios anuales en altura total, DAP y volumen comercial de los árboles muestreados.

Árbol*	Edad (años)	Incremento Medio en Altura Total (m/año)	Incremento Medio en DAP (cm/año)	Incremento Medio en Volumen Comercial (m <sup>3</sup> /año)
LT- IV	22	0,58	0,75	0,006
LT- IV <sub>1</sub>	17	0,84	1,23	0,012
LT- V	30	0,52	0,73	0,008
LT- V <sub>1</sub>	27	0,53	0,85	0,009
LT- VI	27	0,70	1,23	0,024
LC- IV <sub>1</sub>	27	0,50	0,61	0,005
LC- IV <sub>2</sub>	26	0,48	0,60	0,005
LC- IV <sub>3</sub>	32	0,42	0,50	0,004
LC- IV <sub>4</sub>	25	0,55	0,65	0,006
LC- IV <sub>5</sub>	19	0,68	0,89	0,008
CC- III	20	0,63	0,67	0,004
CC- IV <sub>1</sub>	31	0,39	0,56	0,005
CC- IV <sub>2</sub>	26	0,52	0,67	0,006
CC- V	21	0,67	1,02	0,012
CC VI	21	0,63	1,21	0,014
MCh- III	10	1,28	1,26	0,007
MCh- IV <sub>1</sub>	11	1,20	1,56	0,011
MCh- IV <sub>2</sub>	12	1,12	1,63	0,016
MCh- V <sub>1</sub>	9	1,77	2,49	0,031
MCh- V <sub>2</sub>	15	1,12	1,57	0,021

\*Números romanos después del guión refieren a la clase diamétrica.

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.

DAP: diámetro a 1,3 m.

C/C: con corteza; S/C: sin corteza.

Si se consideran los incrementos del conjunto de árboles con edades entre 25 a 31 años, para otorgar cierta comparabilidad entre sitios (Cuadro 4-17), LT resultó el sitio que entregó los mayores incrementos medio anuales en altura total (0,58 m/año); en DAP (0,94 cm/año) y en volumen comercial (0,014 m<sup>3</sup>/año). MCh, el sitio de los árboles más

jóvenes (9-15 años) dentro del material experimental, mostró los mayores incrementos anuales, propio de la etapa de desarrollo más juvenil que transitan.

#### 4.2.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA, DIMENSIONES CELULARES Y DURAMEN

##### 4.2.2.1. DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

La especie *A. melanoxylo*n presentó, en el corte transversal, una visible marcación de rayas o bandas de color oscuro, posiblemente marcando el límite de los anillos de crecimiento, cuya diferenciación resultó confusa en forma macroscópica (Figura 4-4, foto B), por lo tanto la delimitación de anillos se realizó a nivel microscópico (IAWA Committee, 1989). También presentó radios rectilíneos visibles con lupa. Duramen color marrón o en esos tonos, rojo o en esos tonos y amarillo o en esos tonos. Según Tortorelli (1956) podría describirse como una madera color castaño claro con vetas más oscuras y tintes rojizos. Albura bien diferenciada del duramen, de color blanco cremoso con tintes rosados. Textura fina y heterogénea, grano derecho, diseño cromático y veteado-floreado (Castiglioni, 1957) (Figura 4-4, foto A).

##### 4.2.2.2. DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

###### 4.2.2.2.1. Corte Transversal

Los anillos estuvieron demarcados por 10-15 hileras de fibras achatadas, de pared muy engrosada (Figura 4-4, foto C). Se observó también la presencia de anillos falsos, evidenciados por un engrosamiento de las paredes celulares sin el achatamiento radial que caracterizó a la demarcación de los anillos verdaderos. Porosidad difusa, sin disposición especial. Poros pequeños a medianos con un diámetro promedio de  $69,2\mu$  (DE: 31,6), solitarios en su mayoría, aunque con presencia de múltiples cortos, largos y agrupados. Poros poco numerosos, 5 vasos/ $\text{mm}^2$  (DE: 1,7) (Figura 4-4, foto D), con

contenidos en el duramen y vacíos en la albura. También hubo presencia de contenidos en las fibras del duramen. Fibras de paredes delgadas, de  $2,2 \mu$  (DE: 0,7) de espesor (Figura 4-4, foto E). Parénquima vasicéntrico, confluyente, y en bandas anchas en las posiciones más externas (hacia la corteza) (Figura 4-4, foto D).

#### 4.2.2.2.2. Corte Longitudinal Tangencial

Radios uni a triseriados (Figura 4-4-, foto G). Uniseriados en su mayoría, abundantes biseriados y algunos triseriados, algunos parcialmente bi-tri-seriados (con la porción bi-triseriada de 1 o 2 células de alto). Sin estructura estratificada. Parénquima axial en series largas. Presencia de traqueidas vasicéntricas (Figura 4-4, foto G). Vasos de dos tamaños, con tabique oblicuo y con puntuaciones areoladas alternas. Fibras muy cortas de  $656,5\mu$  (DE: 204) de longitud, con puntuaciones simples muy escasas (Figura 4-4, foto F).

#### 4.2.2.2.3. Corte Longitudinal Radial

Radios con todas las células procumbentes (Figura 4-4, foto H). Vasos con placa de perforación simple. Presencia de series de cristales cúbicos en el parénquima axial (escaso).

La descripción anatómica general, macro y microscópica, coincidió con la hallada por otros autores, que, sin embargo, no han mencionado la dificultad de la observación macroscópica de los anillos de crecimiento (Nájera Angulo y López Fraile, 1969; Wilkins y Papassotiriou, 1989). Hillis *et al.* (2004) reportaron la formación anormal de leño de tensión en varias especies del Género *Acacia*, entre ellas *A. melanoxylon*, creciendo en bosques naturales de Australia. Esta formación de leño de tensión fue asociada, por los autores, a cambios de coloración en forma de líneas oscuras dentro del duramen que no se corresponden con el límite de los anillos. La disposición de estas bandas oscuras, descritas por ellos, resultó similar a la hallada en el material estudiado en la presente tesis por lo que éstas podrían estar asociadas a la presencia de madera de tensión.

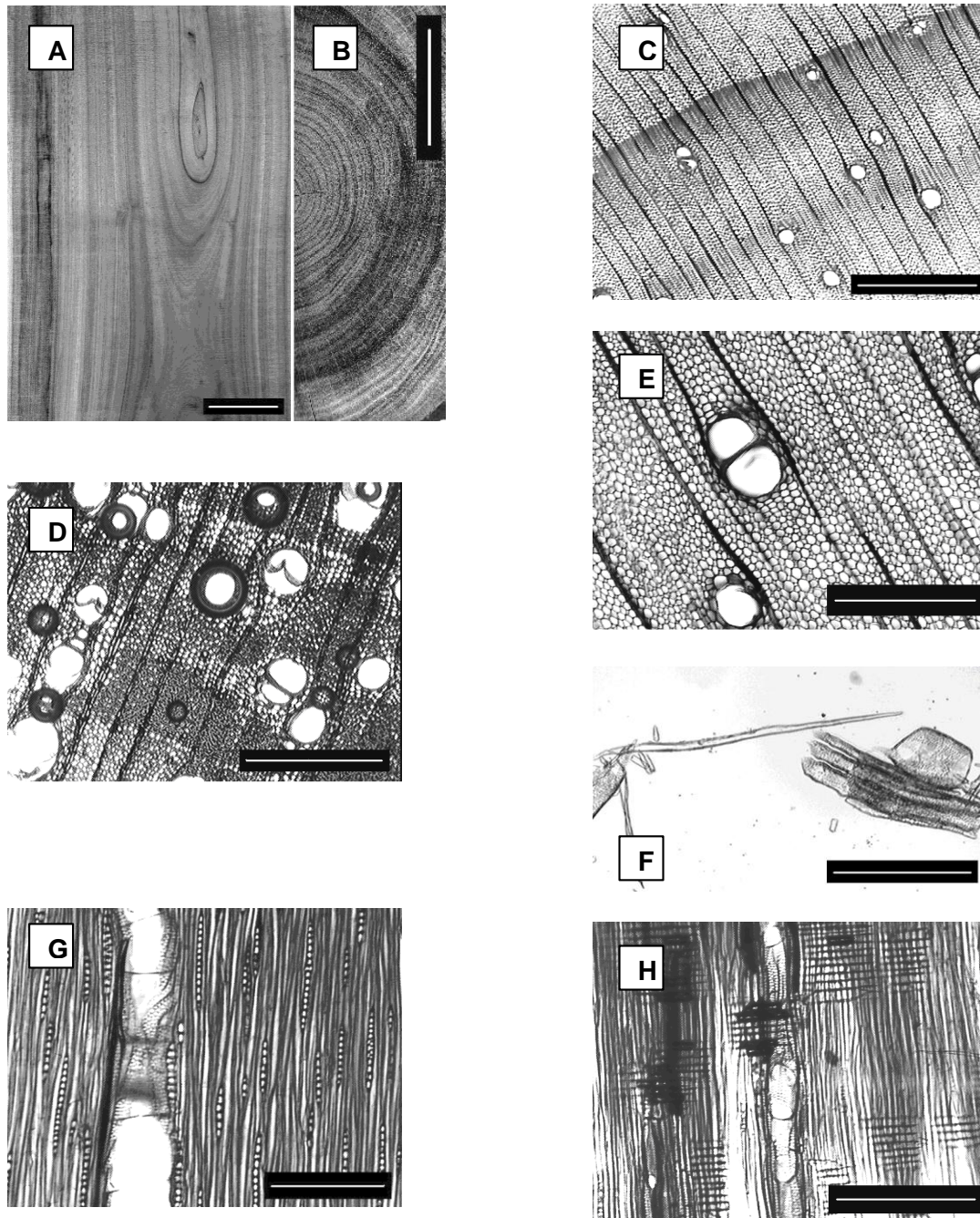


Figura 4-4. Fotos A y B caracteres macroscópicos, foto A: tabla radial (escala = 5 cm), foto B: corte transversal (CT) de la tabla (escala= 3 cm), fotos C a H caracteres microscópicos, foto C: CT - Anillo de crecimiento demarcado por hileras de fibras achatadas radialmente (escala = 500 $\mu$ ), foto D: CT- Porosidad difusa, poros solitarios y múltiples, vacíos, parénquima en bandas (escala = 250 $\mu$ ), foto E: CT- Poros solitarios y múltiples cortos, fibras de paredes delgadas y escaso parénquima vasicéntrico (escala = 250 $\mu$ ), foto F: Macerado -Vasos de diferente diámetro y longitud, fibras cortas (escala = 500 $\mu$ ), foto G: CLtg - Radios uniseriados y parcialmente biseriados, vasos y traqueidas vasicéntricas (escala = 250 $\mu$ ), foto H: CLrd - Radios homogéneos y vasos con placa de perforación simple (escala = 250 $\mu$ )

(Monteoliva e Igartúa, 2010).

## 4.2.2.3. DIMENSIONES CELULARES

Los valores medios por árbol de las variables anatómicas cuantitativas se indican en el Cuadro 4-18, en tanto el Cuadro 4-19 muestra los valores medios según los sitios y la comparación entre éstos.

Cuadro 4-18. Variables anatómicas cuantitativas en los árboles.

Sitio	Árbol	Edad (años)	FIBRAS				VASOS	
			Longitud ( $\mu$ )	Ancho ( $\mu$ )	Lumen ( $\mu$ )	Espesor pared ( $\mu$ )	Diámetro ( $\mu$ )	Frecuencia ( $n^{\circ}/mm^2$ )
LT	IV	22	526,92	9,17	5,02	1,80	50,07	8
	IV <sub>1</sub>	17	508,16	10,20	5,87	1,84	60,23	6
	V	30	476,87	10,30	6,43	1,68	54,61	7
	V <sub>1</sub>	27	483,11	10,01	6,28	1,70	55,10	7
	VI	27	577,21	9,83	6,74	1,65	58,36	6
LC	IV <sub>1</sub>	27	772,11	15,43	10,45	2,19	93,69	4
	IV <sub>2</sub>	26	808,84	15,93	10,34	2,49	88,45	4
	IV <sub>3</sub>	32	819,63	14,58	9,08	2,37	74,82	4
	IV <sub>4</sub>	25	970,43	17,61	11,20	3,06	99,75	3
	IV <sub>5</sub>	19	862,56	16,01	10,66	2,58	133,40	3
CC	III	20	852,21	15,29	9,15	2,67	68,72	5
	IV <sub>1</sub>	31	689,32	15,70	9,28	2,48	73,07	4
	IV <sub>2</sub>	26	767,69	17,48	11,99	2,89	77,92	3
	V	21	873,66	14,85	9,79	2,71	77,27	3
	VI	21	702,38	15,89	10,96	2,34	83,92	2
MCh	III	10	548,04	10,28	6,69	1,88	42,23	9
	IV <sub>1</sub>	11	459,40	9,41	5,59	1,72	51,26	6
	IV <sub>2</sub>	12	466,03	9,48	6,53	1,68	38,70	6
	V <sub>1</sub>	9	482,99	10,75	7,51	1,63	54,74	6
	V <sub>2</sub>	15	481,58	11,38	6,82	1,94	53,62	6

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.



En términos generales, desde el análisis de las dimensiones celulares de todos los árboles (Cuadro 4-18), los sitios se agruparon en dos situaciones: LC - CC por un lado y LT - MCh por el otro. Los primeros con las fibras más largas y anchas (ancho resultante tanto de mayores espesores como de mayores lúmenes) y con vasos más anchos y de menor frecuencia.

El análisis de la varianza bajo un modelo que consideró como fuentes de variación al sitio, a la posición radial de muestreo (interna y externa), a la interacción sitio\*posición y al árbol anidado en el sitio, indicó los resultados que resume el Cuadro 4-19.

Cuadro 4-19. Fuentes de variación para las dimensiones celulares.

Fuente de Variación	Longitud de fibras ( $\mu$ )	Espesor de pared de fibras ( $\mu$ )	Lumen de fibras ( $\mu$ )	Ancho de fibras ( $\mu$ )	Diámetro de vasos ( $\mu$ )	Frecuencia de vasos (%)
<i>SITIO</i>	***	***	***	***	***	***
<i>POSICIÓN</i>	***	***	***	***	***	o
<i>SITIO x POSICIÓN</i>	**	***	***	***	**	ns (valor p:0,1368)
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	***	***	***	***	**	***

ns: no significativa . \*\*\*:  $p < 0,001$ ; \*\*:  $0,001 < p < 0,01$ ; \*  $0,01 < p < 0,05$ ; °  $0,05 < p < 0,1$ .

En el análisis según los valores medios por sitio (Cuadro 4-20), surgieron los agrupamientos antes mencionados y se detectaron las diferencias dentro de ellos. Los sitios difirieron en la longitud de fibras (LC el mayor). También difirieron en el ancho de las mismas, exceptuando la igualdad que se manifestó entre LC y CC (los mayores). El diámetro de vasos resultó diferente en todos los sitios (LC el mayor) y la frecuencia de los mismos también, excepto la igualdad manifestada entre LC y CC (las menores frecuencias de vasos) (Cuadro 4-20).

Cuadro 4-20. Valores medios de las variables anatómicas cuantitativas según los sitios.

	LT [17-30 años]*	LC [19-32 años]	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]	Todos los sitios
Longitud fibras ( $\mu$ )	514,45 b	846,71 d	777,05 c	487,61 a	656,5
<i>Desvío estándar</i>	78,9	152,6	174,5	84,9	204,03
<i>número observaciones</i>	600	600	600	600	2400
Ancho fibras( $\mu$ )	9,90 a	15,91 c	15,84 c	10,26 b	12,9
<i>Desvío estándar</i>	1,9	3,8	3,4	2,0	4,12
<i>número observaciones</i>	1000	1000	1000	1000	4000
Lumen fibras ( $\mu$ )	6,07 a	10,35 c	10,24 c	6,23 b	8,3
<i>Desvío estándar</i>	1,7	3,2	3,2	1,8	3,25
<i>número observaciones</i>	1000	1000	1000	1000	4000
Espesor pared fibras ( $\mu$ )	1,73 a	2,54 b	2,62 c	1,77 a	2,17
<i>Desvío estándar</i>	0,3	0,7	0,6	0,4	0,67
<i>Número observaciones</i>	1000	1000	1000	1000	4000
Diámetro vasos ( $\mu$ )	56,00 b	97,10 d	76,05 c	47,83 a	69,25
<i>Desvío estándar</i>	17,8	35,2	27,2	15,4	31,6
<i>número observaciones</i>	1000	1000	1000	1000	4000
Frecuencia vasos ( $n^{\circ}/mm^2$ )	7 c	4 a	4 a	6 b	5
<i>Desvío estándar</i>	2,2	1,5	2,0	2,5	2
<i>número observaciones</i>	190	190	190	190	760

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.

\* Rango de edades en el sitio.

Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ). Test Tukey.

Algunas referencias bibliográficas para al especie reportaron resultados biométricos de las fibras comprendidos en el rango de los presentes. Así, Santos *et al.* (2006) presentaron valores de longitud de fibras de  $650\mu$  para árboles de 22 años en Portugal. En un estudio posterior (Santos *et al.*, 2007), sobre 20 árboles de 40 cm de DAP, provenientes de cuatro sitios representativos de los poblamientos espontáneos de la especie en Portugal, encontraron valores medios de longitud y ancho de fibra de  $740\mu$  (DE: 60) y  $18,8\mu$  (DE: 1,5) respectivamente. Tavares *et al.* (2009), también sobre esos

mismos poblamientos, analizaron la variación biométrica dentro de los árboles e indicaron valores medios de longitud de fibra entre  $960\mu$  (DE: 40) y  $940\mu$  (DE: 20); y de espesor de pared de  $3,89\mu$  (DE: 0,07) y  $3,45\mu$  (DE: 0,02). Ellos encontraron que aproximadamente a los 14 cm del radio; la longitud de fibras superó el milímetro. El material local mostró, respecto a lo anterior, mayor variación en las dimensiones de las fibras, las que resultaron en promedio más cortas, angostas y de paredes más finas. Cabe aclarar que en estos estudios portugueses, la menor variación puede deberse en parte a que su material experimental correspondió a una sola clase diamétrica y de edad (40 cm y 45 años). Por otra parte, la mayor edad de estos árboles respecto a los locales se espera que sea responsable de las mayores dimensiones de sus fibras.

Resultados indicados en Chile por Campos *et al.* (1990), reflejaron un mayor largo de fibras ( $1450\mu$ ) pero en este trabajo no fue citada edad de los ejemplares analizados.

En relación a los vasos, Wilkins y Papassotiriou (1989) encontraron, dentro de la zona de origen de la especie, que la frecuencia y diámetro de los vasos disminuye a medida que aumenta la latitud. Dentro de sus resultados, los correspondientes a Tasmania (similar latitud que la región local de estudio) indicaron mayores diámetros promedio de vasos ( $120\mu$ ) y similares frecuencias ( $5,5$  vasos/ $\text{mm}^2$ ), que los encontrados aquí.

El análisis del sitio y la posición radial de muestreo como fuentes de variación mostrados en el Cuadro 4-19 debe abordarse desde las interacciones significativas encontradas entre ellos para todas las características, excepto para la frecuencia de vasos. Las aperturas de dichas interacciones se indican en el Cuadro 4-21.

La longitud de fibras, si bien diferente entre sitios, manifestó contundentemente la tendencia de aumento desde la médula (posición a) hasta la corteza (posición b) en cada uno de los sitios (Cuadro 4-21).

En latifoliadas de porosidad difusa, la variación de la longitud de las fibras asociada a las edades formativas del cambium (o del leño) es la mayor fuente de variación, estableciéndose que dicha longitud aumenta en sentido radial. En este contexto, el patrón radial aquí descrito es coincidente con el aceptado para la longitud de las fibras. Esto permite indicar a la posición radial interna “a” como de madera formada en

período juvenil en relación a la externa “c” que correspondería a la fase de madera más madura. El muestreo realizado no permitió detectar la zona de transición madera juvenil/madera madura, que se evidencia por el inicio de una estabilización en los valores de longitud de las células (Panshin y de Zeeuw, 1980; Kojima *et al.*, 2009). Tavares *et al.* (2009) también informaron diferencias entre sitios y el mismo patrón radial de variación radial de la longitud de las fibras, en árboles de mayor desarrollo (40 cm de DAP; 28-33 m de altura total) creciendo en cuatro sitios de Portugal.

Cuadro 4-21. Valores medios de las variables anatómicas cuantitativas según sitios y posiciones en el radio (interacción estadística positiva).

			SITIOS			
	Variable	Posición	LT	LC	CC	MCh
Fibras	Longitud ( $\mu$ )	a	479,3 bA	789,8 cA	727,6 cA	444,4 aA
		c	549,6 aB	903,6 cB	826,5 bB	530,8 aB
	Ancho ( $\mu$ )	a	10,2 aB	16,2 bA	16,7 bB	10,2 aA
		c	9,6 aA	15,7 dA	15,0 cA	10,4 bA
	Lumen ( $\mu$ )	a	6,4 aB	10,8 bB	11,1 bB	6,5 aA
		c	5,7 aA	9,9 dA	9,3 cA	6,7 bA
Espesor pared ( $\mu$ )	a	1,7 aA	2,3 bA	2,4 cA	1,7 aA	
	c	1,8 aA	2,8 bB	2,8 bB	1,8 aB	
Vasos	Diámetro ( $\mu$ )	a	46,2 bA	87,9 dA	65,8 cA	40,7 aA
		c	65,8 bB	106,3 dB	86,4 cB	55,0 aB
	Frecuencia ( $n^{\circ} / mm^2$ )	a	6,6 bA	3,9 aA	3,5 aA	6,4 bA
		c	7,3 bA	3,6 aA	3,8 aA	6,4 bA

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.

Posiciones: a: interna; c: externa.

Las letras mayúsculas se leen verticalmente, y las minúsculas horizontalmente. Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ). Test Tukey.

El ancho de las fibras y el diámetro del lumen, según los sitios (Cuadro 4-21), resultaron: o bien similares entre las posiciones a y c, o bien superiores en los tejidos cercanos a la médula. En cambio, el espesor de la pared de las fibras resultó o bien similar entre las posiciones a y c, o bien inferior en las fibras ubicadas en la cercanía de

la médula (a). Dicho de otra manera: cuando se manifestaron diferencias en las dimensiones transversales de las fibras éstas consistieron en fibras menos anchas, de menor lumen y de pared más gruesa en los tejidos próximos a la corteza. Esta tendencia también fue apreciada en Portugal, en árboles (30-50 años) de masas espontáneas (Bessa *et al.*, 2005).

Las latifoliadas no presentan un patrón único de variación radial del ancho de las fibras. Se han reportado disminuciones del mismo en sentido médula/corteza en el Género *Eucalyptus*, tal como en el presente trabajo. Se acepta tentativamente que las fibras de latifoliadas aumentan el espesor de su pared desde la médula hacia la periferia, aunque sobre pocos estudios (Panshin y de Zeeuw, 1980). En este trabajo esa fue la tendencia encontrada.

Los vasos aumentaron su diámetro en sentido médula corteza, en diferentes magnitudes según los sitios, y no variaron su frecuencia en dicho sentido radial (Cuadro 4-21). De acuerdo a un limitado número de investigaciones, ésta es la tendencia en los vasos de las latifoliadas (Panshin y de Zeeuw, 1980).

Las dimensiones celulares registradas para la especie (espesores de pared, diámetro de fibras y frecuencia de vasos) permiten inferir que esta madera logrará un buen acabado superficial por cepillado y lijado, buen brillo y lustre, caracteres fundamentales para su uso en mueblería. Los vasos pequeños y poco numerosos proporcionan una textura fina que es ideal para artículos torneados.

#### 4.2.2.3.1. RELACIONES ENTRE LAS DIMENSIONES DE LAS CÉLULAS, LA EDAD Y EL CRECIMIENTO

Se estimaron las correlaciones y se ajustaron modelos lineales que expresaron algunas relaciones entre el tamaño de las células, la edad y el incremento medio en DAP, éste último como indicativo de la velocidad de crecimiento (Cuadro 4-22).

Las dimensiones de las fibras y de los vasos manifestaron una relación lineal positiva con la edad, aunque no significativa. La frecuencia de vasos podría adoptar un sentido negativo en su relación con la edad (Cuadro 4-22).

Cuadro 4-22. Correlaciones (coeficiente de Pearson) dimensiones celulares / edad, y dimensiones celulares/ crecimiento (n= 20).

		Edad		Incremento medio anual en DAP	
		r	Valor p	r	Valor p
Fibras	Longitud	0,43	0,056	-0,61	**
	Ancho	0,44	0,051	-0,55	0,012
	Espesor	0,37	0,107	-0,58	**
Vasos	Diámetro	0,38	0,102	-0,47	0,037
	Frecuencia	-0,33	0,158	0,29	0,220

*r*: coeficiente de correlación.

\*\**p*: 0,001 < *p* < 0,01.

El incremento medio anual en DAP y todas las dimensiones de las fibras y de los vasos manifestaron relaciones negativas, sólo significativas para la longitud y el espesor de las fibras (Cuadro 4-22). Esto permite indicar que el material de los sitios LT y MCh, los de mayor incremento en DAP (Cuadro 4-17), fueron los sitios de fibras más cortas, menos anchas y de paredes más finas como se indicó en los Cuadros 4-18 y 4-21.

La longitud de las fibras y el espesor de su pared, mostraron entre sí una destacada relación de sentido positivo (*r*: 0,93; valor *p*<0,001). El ajuste lineal que modela tal relación se indica en la Figura 4-5. Sus parámetros resultaron significativos (*p*<0,001) y su valor  $R^2$ ajustado fue de 0,86.

En relación a la dimensión transversal de las fibras, se notó que el ancho de fibras y cada una de sus dos variables constitutivas (espesor de pared y lumen) manifestaron una positiva, y significativa relación lineal. El coeficiente de correlación entre ancho y espesor fue de 0,94 y entre ancho y lumen fue de 0,97. Esto indicaría que, en general, mayores anchos de las fibras se corresponden con aumentos tanto del diámetro de los lúmenes como de los espesores de sus paredes.

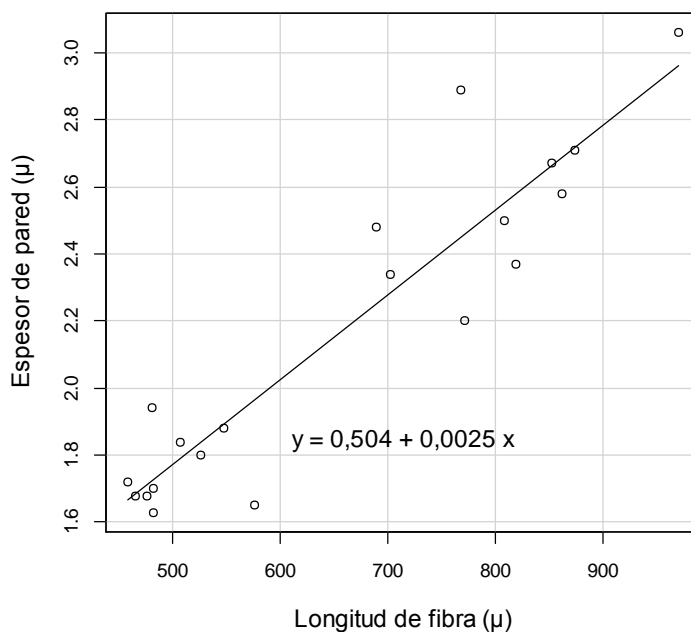


Figura 4-5. Tamaño de las fibras. Espesor de la pared en función de la longitud.

#### 4.2.2.4. CONTENIDOS DE DURAMEN Y ALBURA

Todos los árboles presentaron duramen a lo largo del fuste comercial (Cuadros 4-23, 4-24, 4-25 y 4-26). Esto es un importante aspecto para la potencial utilización de esta madera con destino al aserrado (Harrison, 1974). Sus principales atributos tecnológicos en el mercado de maderas para mueblería de Australia y Nueva Zelanda están relacionados con el duramen, su contenido y su color (Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002).

El duramen observado en el material experimental se caracterizó por su formación regular, esto es, con su periferia similar en forma a la del contorno del tronco (Figura 4-6). En algunas rodajas correspondientes a la región basal de los fustes se observaron contornos ondulados, debido a la presencia de aletones o contrafuertes en los troncos de dichos árboles (Figura 4-6, Foto E).

En un estudio realizado en la especie en Portugal, si bien en árboles de mayores diámetros (40 cm), Knapic *et al.* (2006) informaron la presencia de duramen regular y, la particularidad descrita aquí sobre el contorno de las rodajas basales. Se acepta que la

mayoría de las especies arbóreas que diferencian su duramen presentan un duramen regular, aunque en algunos (especies y árboles dentro de especies) operan mecanismos bastantes desconocidos aún que conducen a una irregular formación del mismo tanto en sentido radial como axial (Stokes y Berthier, 2000; Berthier *et al.*, 2001).

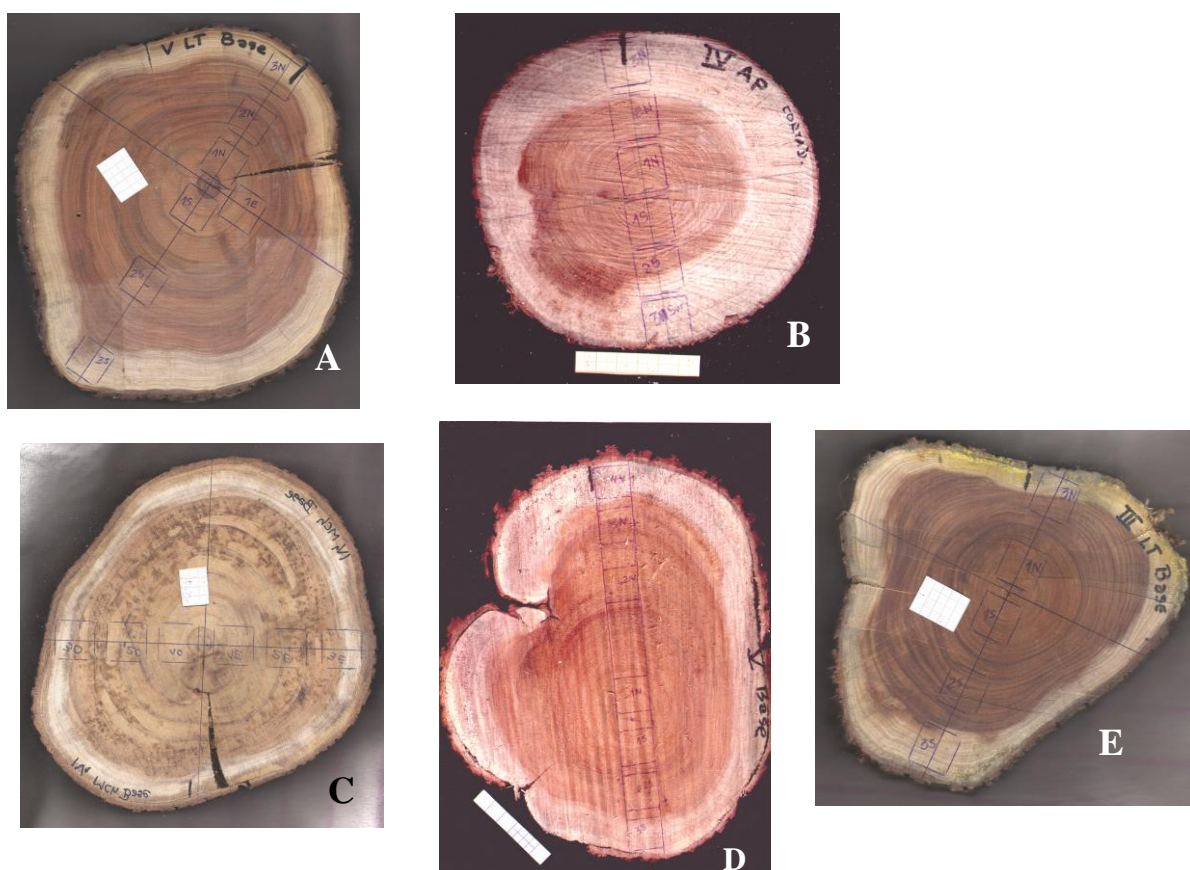


Figura 4-6. Contenidos y contornos de duramen. Base de los árboles: (A) LT, clase diamétrica V-edad 30 años; (B) LC, clase diamétrica IV-edad 25 años; (C) MCh, clase diamétrica IV-edad 11 años; (D) CC, clase diamétrica V-edad 21 años; (E) Duramen de contorno ondulado.

Los contenidos de albura y duramen, como fue indicado en el correspondiente apartado metodológico (Capítulo 3, apartado 3.2.3), se expresaron como proporción en la sección transversal del fuste [relación área/área] y como proporción en el volumen del fuste [relación volumen/volumen]. La albura también fue valorada en términos de su espesor a lo largo del fuste.



## 4.2.2.4.1. Proporción en la sección transversal [relación área/área]

El contenido promedio de duramen y de albura [relación área/área] para el conjunto del material experimental (n: 80) fue de 47,6% (DE: 16,3) y 43,2% (DE: 16,2) respectivamente. El espesor promedio de la albura fue de 2,18 cm (DE: 0,75).

Los análisis de la varianza indicaron que para la proporción de duramen, la de albura y el espesor de albura, el sitio, la altura de muestreo y el árbol resultaron fuentes de variación significativas ( $p < 0,001$ ), aunque no así la interacción sitio x altura (valores p: 0,8250, 0,3112 y 0,4894, respectivamente).

En los Cuadros 4-23 y 4-24 se indican, respectivamente, los valores medios según los sitios y las alturas en el fuste para la proporción de duramen y de albura y el espesor de ésta última.

Cuadro 4-23. Valores medios según los sitios para las proporciones de duramen y de albura en la sección transversal del fuste.

	LT [17-30 años]	LC [19-32 años]*	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]
Duramen (%)	57,34 c	35,50 a	43,78 b	54,01 c
<i>desviación estándar</i>	8,6	10,5	10,6	22,4
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20
Albura (%)	32,74 a	56,31 d	46,34 c	37,25 b
<i>desviación estándar</i>	6,9	10,1	11,3	21,6
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20
Espesor de albura (cm)	1,86 a	2,64 b	2,56 b	1,68 a
<i>desviación estándar</i>	0,31	0,44	0,79	0,80
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20

\*Rango de edades de los árboles en el sitio.

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.

Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Los Tuelches y Mar Chiquita, éste último con los árboles más jóvenes del conjunto estudiado, no se diferenciaron en su contenido de duramen y presentaron la mayor proporción de este tipo de leño y, en consecuencia, la menor de albura (Cuadro 4-23; Figura 4-6).

Cuadro 4-24. Valores medios según las alturas de muestreo en el fuste para las proporciones de duramen y de albura en la sección transversal y para el espesor de albura.

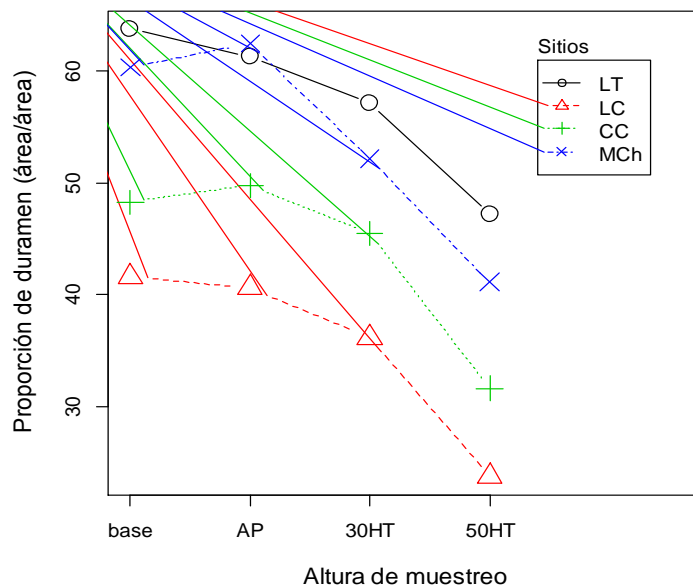
	Base	AP	30% AT	50% AT
Duramen (%)	53,48 c	53,52 c	47,73 b	35,91 a
<i>desviación estándar</i>	16,5	13,2	13,6	16,3
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20
Albura (%)	36,76 a	38,27 ab	43,36 b	54,25 c
<i>desviación estándar</i>	16,2	13,6	13,5	16,3
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20
Espesor de albura (cm)	2,23 ab	2,05 a	2,07 a	2,40 b
<i>desviación estándar</i>	0,9	0,6	0,5	0,8
<i>Número observaciones</i>	20	20	20	20

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

El mayor contenido de duramen se encontró en la región basal del fuste hasta la altura de pecho (AP: 1,3m), y desde allí disminuyó hacia el ápice, patrón que se invirtió en el contenido de albura. El espesor de la albura fue mayor en el extremo superior del fuste, aunque, estadísticamente, este valor no difirió del registrado en la base, por lo que podría considerarse en buena medida constante a dicho espesor a lo largo del fuste (Cuadro 4-24). Este patrón de variación axial del contenido de duramen, que también puede observarse en la Figura 4-7, resultó similar en cada sitio, en acuerdo con la interacción sitio por altura hallada, que resultó no significativa.

En general resultó alta la variación individual de los contenidos de duramen, de albura y del espesor de albura sea dentro de sitios como dentro de cada altura (Cuadro 4-23, Cuadro 4-24).



*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .  
Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30HT:30% de la altura total;  
50HT: 50% de la altura total.*

Figura 4-7. Variación axial en el contenido de duramen expresado como porcentaje en la sección transversal del fuste.

#### 4.2.2.4.2. Proporción en el volumen del fuste [relación volumen/volumen]

La proporción promedio de duramen y de albura [relación volumen/volumen] para el conjunto del material (n: 60) fue de 49,2% (DE:14,7) y 42,1% (DE:14,9) respectivamente.

Los análisis de la varianza para el contenido de duramen y de albura indicaron nuevamente al sitio, a la altura de muestreo y al árbol como fuentes de variación significativas ( $p < 0,001$ ), No lo fue la interacción sitio x altura (valores p: 0,8488, 0,2894 para duramen y albura respectivamente).

En los cuadros siguientes se indican los valores medios para estas variables según los sitios (Cuadro 4-25) y las alturas en el fuste (Cuadro 4-26), y el resultado de las comparaciones entre los mismos.

Cuadro 4-25. Valores medios de los contenidos de duramen y de albura en relación al volumen del fuste, según los sitios.

	LT [17-30 años]*	LC [19-32 años]	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]
Duramen (%)	58,44 c	36,91a	45,38 b	56,02 c
<i>Desvío estándar</i>	6,4	8,2	8,2	20,5
<i>número observaciones</i>	15	15	15	15
Albura (%)	32,27 a	55,16 c	44,83 b	36,32 a
<i>Desvío estándar</i>	5,5	8,0	8,9	20,7
<i>número observaciones</i>	15	15	15	15

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

*\*Rango de edades de los árboles en el sitio.*

*Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Los Tuelches y Mar Chiquita no se diferenciaron en su contenido de duramen, ahora expresado en relación al volumen del fuste, y presentaron la mayor proporción de este tejido. Nuevamente MCh presentó datos de mucha variación entre árboles. Ello se debió a que el árbol de clase diamétrica III registró 19,6% de duramen vs proporciones del orden de entre 58% y 73% para los restantes árboles del sitio (Cuadro 4-25).

Cuando el duramen se valora en relación al volumen comercial, la diferencia entre la troza basal y siguiente, no es importante en términos tecnológicos y biológicos, por lo que podría entenderse que el contenido de duramen es del 53-51% hasta el 30% de la altura total del árbol, para terminar siendo del 43 % en la troza apical (Cuadro 4-26).

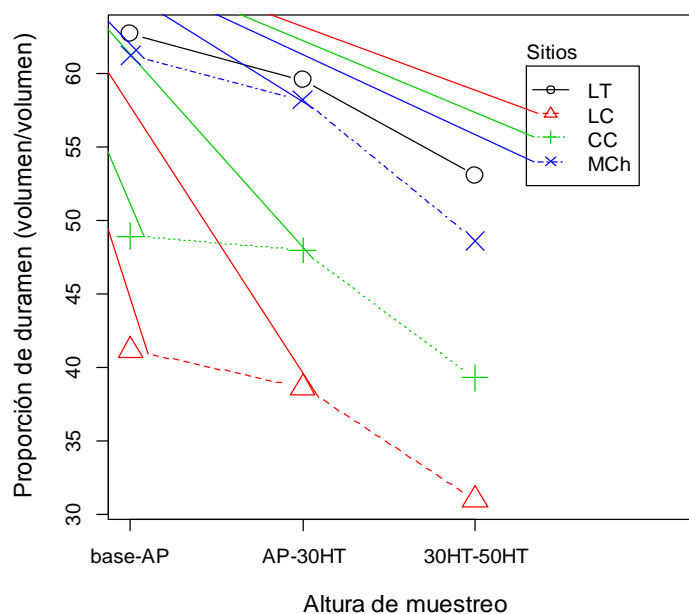
Cuadro 4-26. Valores medios de los contenidos de duramen y de albura en relación al volumen del fuste, según las alturas de muestreo.

	Troza Base-AP	Troza AP-30% AT	Troza 30% AT -50% AT
Duramen (%)	53,50 c	51,08 b	43,00 a
<i>desviación estándar</i>	14,9	13,2	14,6
<i>número observaciones</i>	20	20	20
Albura (%)	37,42 a	40,42 a	48,58 b
<i>desviación estándar</i>	14,8	13,4	14,8
<i>número observaciones</i>	20	20	20

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Los sitios manifestaron similares patrones axiales de variación en el contenido de duramen (interacción sitio x altura no significativa), LT y MCh con los mayores contenidos de duramen (Figura 4-8).



*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .  
Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30HT:30% de la altura total;  
50HT: 50% de la altura total.*

Figura 4-8. Variación axial en el contenido de duramen expresado como porcentaje del volumen del fuste.

En relación a lo informado por la literatura, el Cuadro 4-27 indica valores medios del contenido de duramen aportados por diferentes investigaciones en la especie, incluyendo la presente.

Cuadro 4-27. Contenido de duramen informado para la especie en Nueva Zelanda (NZL), Tasmania (TAS), Sudáfrica (SAF), Australia (AUS) y Portugal (POR).

Autores	Duramen	País	Edad	DAP	Nº árboles
Haslett (1986)	50 % *	NZL	15	Nc	Nc
Nicholas <i>et. al</i> (1994)	42-52 %	NZL	10	16-20	59
Bradbury (2005)	25-40 % **	TAS	14-22	13-21	210
Nicholas y Brown (2002)	42-52 % **	NZL	10	Nc	59
Harrison (1974)	83% **	SAF	Nc	40	75
Searle y Owen (2005)	2,4% **	AUS	8	8,7	17
Knapic <i>et al.</i> , (2006)	61% *	POR	30-38	40	20
Este trabajo	49,2% * 47,6 **	ARG	9-32	13-33	20

\*proporción promedio en relación al volumen del fuste.

\*\*proporción promedio en el área de la sección transversal.

Nc: no se consigna la información.

En general, la proporción de duramen del material local podría considerarse comprendida en el rango de valores informados en otros países sobre plantaciones ordenadas (Cuadro 4-27). Las plantaciones locales estudiadas, sin manejo forestal, igualan/superan en contenido de duramen a las plantaciones de menor edad indicadas en el Cuadro 4-27, pero no superan a las de mayor edad, como las informadas por Harrison (1974) y Knapic *et al.* (2006).

El patrón de variación axial aquí encontrado en todos los sitios (Figura 4-7 y Figura 4-8) es reconocido en la literatura dado que se acepta que el área de duramen generalmente es mayor en la base de los árboles y disminuye hacia la región apical (Hillis, 1987; Taylor *et al.*, 2002). También se reconoce que en algunas especies (por ejemplo en ciertos pinos) la proporción de duramen aumenta desde la base hasta alturas de entre 1-3

metros para luego disminuir hacia el ápice (Hillis, 1987). Las razones para este último patrón axial en la formación del duramen son bastante desconocidas aún, algunos autores la relacionan al stress hídrico más acentuado que supone una localización alejada de las raíces como lo es el ápice; otros postulan que la conductividad específica es menor en la base del árbol, en consecuencia, el volumen de albura allí es mayor para compensar esa situación (Stokes y Berthier, 2000).

Particularmente para *A. melanoxylon*, Knapic *et al.* (2006), trabajando sobre plantaciones de cuatro sitios de Portugal, han informado los mismos patrones axiales aquí descritos para el contenido de duramen, los que allí también resultaron similares entre los diferentes sitios portugueses. En nuestro trabajo, el espesor de la albura resultó de menores valores y de mayor variación individual (Cuadro 4-24) que lo informado para la especie por Knapic *et al.* (2006). Estos autores, sobre árboles más homogéneos, de mayor edad (30-38 años) y DAP (40 cm) determinaron un valor a lo largo del árbol de entre 3,1 cm y 3,5 cm. Igual que en el presente trabajo, el espesor de la albura podría considerarse axialmente constante. Esta tendencia también ha sido observada en otras especies (Taylor *et al.*, 2002). Haslett (1986) señala como usual un espesor de 2-5 cm para *A. melanoxylon* en las plantaciones de Nueva Zelanda, rango en el que se encuentra el material local.

La alta variación entre árboles encontrada en el presente trabajo puede estar relacionada con la desuniformidad de edades y/o diferentes tasas de crecimiento que han caracterizado al material dentro de los sitios. Varios autores consideran a la edad de los árboles como uno de los principales factores que controlan los contenidos de duramen y de albura (Stokes y Berthier, 2000; Taylor *et al.*, 2002). También se ha encontrado al contenido de duramen relacionado al índice de crecimiento, al sitio, a prácticas silviculturales y a un control genético moderado (Hillis, 1987; Zobel y Jett, 1995; Taylor *et al.*, 2002). En particular, las investigaciones en Sudáfrica y Nueva Zelanda sobre *A. melanoxylon* sugieren que las características de su duramen se encuentran bajo un control combinado de genética y de condiciones ambientales (Searle, 2000). Otros autores han encontrado una destacada variación individual (Nicholas *et al.*, 1994; Searle y Owen, 2005).

Lo anterior condiciona la comparación del contenido de duramen entre los sitios estudiados en el presente, donde varios de los factores enunciados (edad, tasa de crecimiento, genotipo) están operando en el material experimental, además de las condiciones intrínsecas que los sitios están entregando para el desarrollo de la especie. Desde el punto de vista dasométrico, fue indicado en la parte I de este capítulo, que LT y MCh estarían representando los sitios de mejor calidad para el desarrollo de la especie. Son éstos los sitios que han entregado los mayores contenidos de duramen. La literatura ha mostrado algunas evidencias que sugieren que con mejores condiciones de sitio se ha registrado mayor formación de duramen, aunque también se indica lo confuso que puede ser este análisis (Taylor *et al.*, 2002). En Sudáfrica, Harrison (1975) encontró que la especie produjo mayores contenidos de duramen en sitios con mayor humedad relativa, buen drenaje y alto contenido de materia orgánica en el suelo. Por su parte, el estudio portugués sobre la especie (Knapic *et al.*, 2006) no detectó variación entre los cuatro sitios cuyas diferencias fueron de lluvias y de temperaturas.

La especie, entonces, muestra localmente similares proporción y distribución axial de su principal atributo tecnológico en el mercado de maderas para mueblería de Australia, Nueva Zelanda y Tasmania (Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002; Tasmanian Timber Promotion Board, 2012).

#### 4.2.2.4.3. RELACIONES ENTRE EL CONTENIDO DE DURAMEN, LA EDAD Y EL CRECIMIENTO

La proporción de duramen, tanto en la sección transversal del fuste como en relación al volumen comercial, estuvo positivamente correlacionada con el DAP, con el incremento medio anual en DAP (IMA DAP) y con el volumen comercial. No se encontró una relación lineal significativa del contenido de duramen con la edad en los rangos de edad que caracterizaron a este material (Cuadro 4-28).

El DAP, tanto como su incremento medio anual y el volumen de los árboles son una referencia del tamaño de los mismos. La relación tamaño-duramen o crecimiento-duramen ha sido referida por la literatura como de naturaleza positiva en otras especies (Knapic y Pereira, 2005; Gominho y Pereira, 2000, 2005). Harrison (1974) y Knapic *et*



al. (2006) también la han informado en el recurso sudafricano y portugués de *A. melanoxylon*, respectivamente. En este sentido podría explicarse el mayor contenido de duramen de los árboles de los sitios LT y MCh, que representaron los mayores volúmenes comerciales del conjunto (Cuadro 4-16, Cuadro 4-17). En MCh, su corta edad no estaría condicionando negativamente el contenido duramen frente al crecimiento/desarrollo que se ha alcanzado en ese sitio.

Cuadro 4-28. Correlaciones (coeficiente de Pearson) entre el contenido de duramen, la edad y el crecimiento medio anual en DAP (IMA DAP) (n= 20).

	Proporción Duramen (área/área )		Proporción Duramen (volumen/volumen)	
	r	Valor p	r	Valor p
DAP(cm)	0,67	**	0,68	**
IMA DAP (cm/año)	0,55	*	0,58	**
Edad (años)	-0,24	0,324	-0,27	0,2525
Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	0,60	**	0,60	**

*r*: coeficiente de correlación.

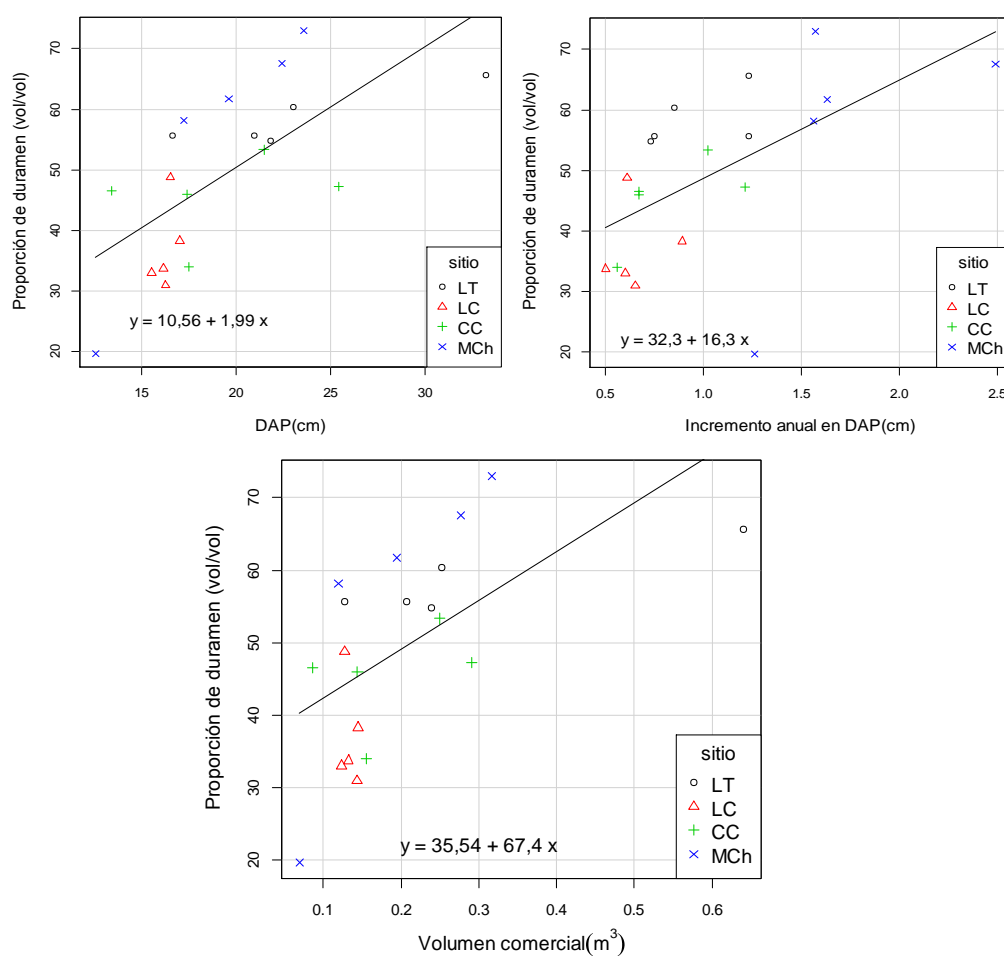
\*\*: $0,001 < p < 0,01$ ; \*  $0,01 < p < 0,05$ .

En la evolución de una masa de estructura regular (coetánea o de edad uniforme) se espera que mayores edades representen mayores tamaños/desarrollos/vigor (DAP, volumen, crecimientos) de los árboles (Daniel *et al.*, 1982), lo cual no fue la estructura encontrada en este trabajo. Como se indicó en la parte I de este capítulo, en el recurso local, árboles de una misma clase diamétrica han mostrado diferentes edades y viceversa, la misma edad se ha encontrado en árboles de distinto DAP (desarrollo), propio de una masa de edad desuniforme. Esto puede haber contribuido a la falta de hallazgo de una relación lineal significativa entre edad y contenido de duramen, en cambio sí fue captada una relación entre el contenido de duramen y el desarrollo alcanzado por los árboles, independientemente de sus edades.

En relación a los contenidos promedio de duramen del recurso local, cabe entonces esperar que una Ordenación forestal que los conduzca a mayores desarrollos (estructura

de masa regular, espaciamientos, mayores tiempos de desarrollo o turnos) permita árboles con mayores contenidos de duramen.

La estimación de la proporción de duramen en base medidas externas del árbol (DAP) y a estimaciones derivadas (volumen comercial) cobra importancia en *A. melanoxylon* donde esta característica es un importante atributo de calidad (Harrison, 1974; Searle, 2000; Nicholas y Brown, 2002). Las expresiones gráficas y analíticas de los modelos lineales ajustados en este sentido se muestran en la Figura 4-9.



LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .  
D AP: diámetro a la altura de pecho (1,3m).

Figura 4-9. Contenido de duramen. Relaciones con DAP, incremento medio en DAP y volumen comercial.

Los modelos lineales entre proporción de duramen y el DAP, el incremento medio anual en DAP y el volumen comercial resultaron de moderado ajuste ( $R^2$  ajustado de 0,43; 0,30 y 0,32, respectivamente) (Figura 4-9). Monteoliva *et al.* (2012), trabajando sobre estos mismos árboles pero analizando sólo el material de contenidos intermedios de duramen, es decir CC y LC, encontraron mejores ajustes con el DAP ( $R^2$ : 0,76) y el volumen comercial ( $R^2$ : 0,86) cuando el contenido de duramen fue expresado como variable acumulada, es decir, no en términos relativos (proporción) sino como volumen en metros cúbicos. Esto resulta alentador por cuanto más evidencia empírica sobre el recurso local debería conducir a una apropiada predicción del volumen de duramen en pie.

#### 4.2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA

Los valores medios de los contenidos de los componentes químicos analizados en esta madera se indican en el Cuadro 4-29. Los mismos se expresan en porcentaje sobre materia seca total, referido a madera original (% s.m.s total).

Las maderas provenientes de LT y de MCh presentaron los contenidos de lignina insoluble mayores del conjunto. En particular, LT ofreció también madera con los más altos porcentajes de extractivos solubles en agua caliente, si bien éstos últimos no difieren significativamente de los correspondientes al resto de los sitios (Cuadro 4-29).

Al igual que lo encontrado en estudios preliminares sobre el recurso donde fue evaluado solamente a la altura del pecho (AP) (Monteoliva e Igartúa, 2008), el material presentó valores promedio de lignina y extractivos característicos para una angiosperma dicotiledónea de color oscuro (Hillis, 1987).

Cuadro 4-29. Composición química porcentual (% s.m.s. total, referido a madera original). Contenidos medios de lignina, extractivos en alcohol-tolueno (Ex.A-T) y extractivos en agua caliente (Ex. Agua cal.).

	LT [17-30 años]*	LC [19-32 años]	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]	TODOS LOS SITIOS
Lignina (%)	28,2 b	23,2 a	23,3 a	25,6 ab	25,1
CV	5,9	4,6	10,4	12,0	11,6
número observaciones	5	5	5	5	20
Ex. A-T (%)	6,7 a	6,9 a	6,2 a	4,7 a	6,1
CV	7,0	15,6	34,6	29,9	25,4
número observaciones	5	5	5	5	20
Ex. Agua cal. (%)	10,5 a	6,8 a	7,3 a	8,8 a	8,4
CV	13,4	55,5	28,0	27,6	33,1
número observaciones	5	5	5	5	20

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .

CV: Coeficiente de Variación; n: número de observaciones.

\*Rango de edades de los árboles en el sitio.

Las letras se leen horizontalmente: letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

El contenido de extractivos totales fue de 17,2% (LT); 13,7% (LC); 13,5 % (CC) y 13,5% (MCh), lo que surge del Cuadro 4-29 como la suma de lo extraído en alcohol-tolueno más lo extraído en agua caliente.

Cualitativamente, cabría esperar que la fracción extraída por el alcohol-tolueno estuviera compuesta por alguna combinación de ceras, grasas, resinas, aceites y/o gomas. La fracción extraída por el agua caliente correspondería a los taninos (compuestos fenólicos condensados y no condensados), sales (orgánicas e inorgánicas), pectinas, almidones o azúcares (Petersen, 1984; Walker, 2006). Algunos de estos compuestos estarían distinguiendo a LT del resto de los sitios. En relación a ellos, se ha informado la presencia de compuestos fenólicos en el Género y en la especie. Seigler (2003) indicó la presencia de metabolitos secundarios para el Género *Acacia*, siendo los más conocidos las gomas y los taninos condensados. Otros autores, investigando una indeseada decoloración sufrida por la madera de *A. melanoxylon*, informaron como

causa a una reacción oxidativa de compuestos fenólicos (probablemente una quinona) de sus extractivos, sin presencia de microorganismo alguno (Barry *et al.*, 2003).

En general, el material local presentó mayores contenidos de extraíbles en agua caliente que en alcohol-tolueno (Cuadro 4-29). A nivel del conjunto del material (Cuadro 4-30), el 58% del total de extractivos correspondió a los solubles en agua caliente. Se destacó la madera de LT por su alto nivel de extractivos totales y, dentro de ellos, la importancia de la fracción extraída en agua caliente, donde se encuentran los compuestos fenólicos informados por la literatura antes mencionada (Barry *et al.*, 2003; Seigler, 2003).

Cuadro 4-30. Proporción (%) de extractivos en alcohol-tolueno (Ex.A-T) y en agua caliente (Ex. Agua cal.), en relación a los extractivos totales.

	LT	LC	CC	MCh	Todos los sitios
Ex. A-T	39	50	46	35	42
Ex. Agua cal.	61	50	54	65	58

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

Respecto a la composición relativa de las fracciones dentro de los extractivos totales, otras investigaciones sobre la especie en Portugal y Chile han informado resultados coincidentes y no coincidentes con los presentes. Respecto a la lignina, el material local resultó de mayor o igual contenido de lignina que los correspondientes a dichas investigaciones.

Lourenço *et al.* (2008) trabajando sobre la especie en Portugal, con el mismo material experimental en que basó su investigación Knapic *et al.* (2006) (árboles de 30-38 años, 40 cm de DAP y 61% de duramen en volumen), encontraron que el duramen tuvo un contenido mayor de extractivos totales que la albura siendo éstos de 7,4% - 9,5% (en el duramen) y de 4% - 4,2% (en la albura). Además informaron que los extractivos del duramen estuvieron compuestos mayormente por la fracción de los extraídos en alcohol-tolueno (70% de los extractivos totales pertenecieron a esa fracción). Si bien nuestra investigación no discriminó entre albura y duramen, el material local ha presentado contenidos mayores de extractivos totales (17,2% - 13,5%) y una

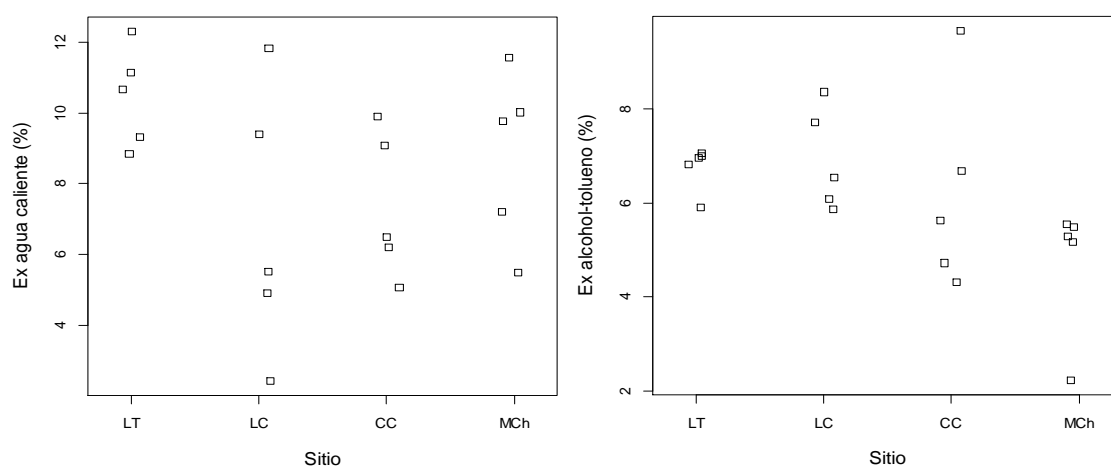
composición inversa en referencia a sus dos fracciones constitutivas, resultando más destacada la posible presencia de taninos y/o sales y/o pectinas, almidones y azúcares.

Lourenço *et al.* (2008) también informaron contenidos de lignina total (insoluble más soluble) de 21%, indicando que el sitio no influyó en la composición química y que la variabilidad individual fue poco destacada. La albura y el duramen sólo se diferenciaron por su contenido de extractivos, no por la lignina. El material local, donde sólo se determinó la lignina insoluble, resultó destacadamente más lignificado que el portugués, principalmente en LT, lo que podría influir en las propiedades elásticas y resistentes de esta madera en relación a otras (Petersen, 1984; Abreu *et al.*, 1999; Walker, 2006).

El Instituto forestal de Chile ha informado contenidos de extractivos en alcohol-benceno de 7,6%, en agua caliente de 9,23% y de lignina del 19,8%. No surge de la comunicación las características del material experimental (INFOR-CONAF, 1997). Otros autores chilenos han indicado en árboles de 20-53 años de edad valores de 8,9% de 6,6% y de 22,3% para extractivos en alcohol-tolueno, agua caliente, y lignina insoluble, respectivamente (Rodríguez y Poblete, 1990). Pelen *et al.* (1998) evaluando el comportamiento de distintas mezclas de partículas de duramen y de albura de *A. melanoxylon* en las propiedades de los tableros de partículas, encontraron contenidos extraíbles en alcohol-tolueno de 8,52% en duramen y de 3,55% en albura. Mansilla *et al.* (1991) estudiando especies nativas y exóticas en Chile, encontraron, en árboles de 10-25 años, 26,4% de lignina y un menor valor de extractivos totales (4,1%) *versus* lo aquí encontrado (14,5%) También fueron menores los contenidos informados en Portugal, para árboles de 22 años: lignina 17,5% y extractivos totales 3,2% (Santos *et al.*, 2006).

En relación a otras acacias y especies de rápido crecimiento, se ha indicado para *Acacia dealbata*, 3,5% y 18,2% de extractivos totales y de lignina insoluble, respectivamente (Santos *et al.*, 2006). En plantaciones de 10 años de *Eucalyptus globulus*, de la región de estudio del presente trabajo, se indicaron valores de extractivos totales de 4,16% - 3,1%, con altos coeficientes de variación (27%), y valores de lignina total de 25,2% (Monteoliva *et al.*, 2002a; Igartúa *et al.*, 2004).

Los extractivos en alcohol tolueno y en agua caliente presentaron en general una alta variación individual como surge del Cuadro 4-29 y de los registros por árbol que se aprecian en la Figura 4-10. Tal como se menciona en la literatura, los extractivos son los componentes químicos de la madera que muestran la mayor variabilidad, tanto en cantidad como en calidad (Hillis, 1987; Walker, 2006). En LT se registró la menor variación entre árboles de los extractivos lo que lleva a considerar a ese dato como más preciso.



*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

Figura 4-10. Extractivos en agua caliente y en alcohol tolueno. Registros individuales según los sitios.

Analíticamente, la alta variación encontrada en el contenido de extractivos generó un también alto cuadrado medio de error lo que probablemente haya impedido que el ANOVA detectara diferencias entre los sitios referidas a los extractivos. Es así que no resultó significativa la superioridad de extractivos en agua caliente que se registró en LT (Cuadro 4-29).

#### 4.2.3.1.1. RELACIONES ENTRE EL CONTENIDO DE LIGNINA Y EXTRACTIVOS CON LA EDAD, EL TAMAÑO Y EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

La proporción de lignina insoluble estuvo positiva y significativamente correlacionada con el DAP, el volumen comercial del fuste y el área y proporción del duramen. Similares relaciones, aunque de menor coeficiente de correlación, mostraron sólo los extractivos en agua caliente, fracción que como se dijo antes, resultó mayoritaria en la composición de extractivos (Cuadro 4-31).

La composición química, al igual que lo manifestado en el contenido de duramen, no estuvo asociada a la edad en los rangos aquí considerados para esta variable (Cuadro 4-31). Como ya fue indicado, nuestro material no tuvo una relación entre edad y tamaño (DAP) lo que puede haber contribuido, entonces, a la inexistencia de una relación lineal significativa entre edad y composición química tanto como entre edad y contenido de duramen.

Cuadro 4-31. Correlaciones (coeficiente de Pearson) entre la composición química y las variables asociadas al tamaño y crecimiento de los árboles y a su contenido de duramen (n= 20).

	Lignina insoluble (% s.m.s)		Extractivos en agua caliente (% s.m.s)		Extractivos en Alcohol-tolueno (% s.m.s)	
	r	Valor p	r	Valor p	r	Valor p
DAP (cm)	0,62	**	0,41	°	0,22	0,35
IMA DAP <sup>a</sup> (cm/año)	0,27	0,25	0,18	0,45	-0,24	0,30
Edad (años)	0,02	0,92	0,00	0,99	0,30	0,20
Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	0,54	*	0,38	°	0,16	0,50
Área de duramen (cm <sup>2</sup> ) <sup>b</sup>	0,66	**	0,53	*	0,20	0,38
Proporción de duramen (área/área) <sup>b</sup>	0,65	**	0,64	**	0,30	0,20

*a* : Incremento medio anual en DAP;

*b* : en la sección del árbol, donde se determinó composición química, esto es, la base;

*r*: coeficiente de correlación

Valores *p*: \*\*: 0,001 < *p* < 0,01; \* 0,01 < *p* < 0,05; ° 0,05 < *p* < 0,1

La proporción de lignina y de extractivos en agua caliente manifestaron una relación positiva con el tamaño de los árboles al igual que lo hizo el contenido de duramen (tanto



en el presente trabajo (Cuadro 4-28) como en otros indicados por la literatura para la especie). Árboles de mayor volumen comercial, o de mayor DAP o de mayor área o proporción de duramen contendrían mayor proporción de lignina y de extractivos en agua caliente. Lourenço *et al.* (2008) contrariamente a lo aquí hallado, no encontró correlación entre el contenido de extractivos y la correspondiente área de la sección transversal donde tomó el material de análisis, sin embargo, notó que las más pequeñas áreas de duramen estuvieron asociadas a las más altas proporciones de extractivos. Cabe destacar que este autor trabajó con un material experimental muy homogéneo.

La relación tamaño/duramen y tamaño/composición química aquí descrita podría explicar el mayor contenido de duramen, de lignina y extractivos en agua caliente de los árboles de los sitios LT y MCh, que representaron los de mayores volúmenes comerciales del conjunto (Cuadro 4-16, Cuadro 4-17).

La composición química, a diferencia del contenido de duramen, no mostró relación lineal con el crecimiento (IMA DAP). Se han indicado en la literatura relaciones positivas entre la tasa de crecimiento y el contenido de extractivos (algunos eucaliptos); negativas (Géneros *Tectona* y *Picea*) e inexistentes (Géneros *Juglands*, *Quercus*, algunos *Eucalyptus*) (Hillis, 1987).

Una Ordenación forestal del recurso local aquí representado, que lo conduzca a mayores desarrollos / tamaños (estructura de masa regular, espaciamientos, mayores tiempos de desarrollo o turnos) permitiría árboles con mayores contenidos de duramen, que a su vez podrían estar asociados a mayores proporciones de lignina y de extractivos. Estos componentes pueden hacer variar la calidad de la madera en el sentido de su durabilidad y rigidez y, en consecuencia, sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad natural frente a la degradación biótica y abiótica (Petersen, 1984; Abreu *et al.*, 1999; Walker, 2006).

#### 4.2.4. DENSIDAD DE LA MADERA Y SU VARIACIÓN

#### 4.2.4.1. DENSIDAD NORMAL

La densidad normal promedio para el conjunto del material experimental (416 probetas ensayadas) fue de  $600,5 \text{ kg/m}^3$  (DE: 80,2). La variación entre árboles, expresada la densidad normal como un promedio simple de los registros en el árbol, cubrió un rango entre  $487 \text{ kg/m}^3$  y  $739 \text{ kg/m}^3$ . Campos *et al.* (1990) reportaron un valor de densidad al 12 % CH de  $647 \text{ kg/m}^3$  para árboles de esta especie implantados en Chile. Este valor fue levemente superior al promedio hallado en el presente estudio debido, probablemente, a que el rango de edades involucrado en el trabajo chileno abarcó de 32 a 62 años, en tanto que los del presente, como fue mencionado, se extendió entre los 9 y 32 años. Nicholas y Brown (2002) comparando materiales de Nueva Zelanda y de Australia presentaron la información de varios autores, de lo que surgen magnitudes de  $640 \text{ kg/m}^3$  a  $680 \text{ kg/m}^3$  para la densidad normal en árboles de 70 años.

Como se indicó en el capítulo metodológico, para analizar la variación radial de la densidad normal, se definieron tres posiciones proporcionales a la longitud del radio: 10%, 50% y 90% de la longitud del radio, que en adelante se indicarán como “a o interna”, “b o intermedia” y “c o externa”, respectivamente (Capítulo 3, apartado 3.2.5.2). El análisis de la varianza indicó que las interacciones sitio x altura, sitio x posición y altura x posición, tanto como árbol, resultaron fuentes de variación significativas ( $p < 0,001$ ) para la densidad normal. En los Cuadros 4-32, 4-33 y 4-34 se muestran las aperturas de dichas interacciones, indicándose los resultados de las comparaciones entre los valores medios de densidad normal según los niveles de sitio, de altura en el fuste y de posición en el radio, respectivamente.

Interacción sitio por altura. El sitio LT presentó valores significativamente mayores de densidad normal respecto a los restantes (Cuadro 4-32, Figura 4-11). Esta superioridad se mantiene en cada altura de muestreo analizada. Del mismo modo, MCh con los árboles más jóvenes del conjunto, es el sitio de valores significativamente menores y LC y CC, representaron densidades intermedias y similares entre sí.

Cuadro 4-32. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la densidad normal (12% CH) ( $\text{kg/m}^3$ ). Valores medios y desviación estándar.

Altura de muestreo en el fuste	LT [17-30 años]*	LC [19-32 años]	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]
Base	706 (71) b C	628 (74) b B	641 (50) c B	557 (50) b A
AP	653 (65) a C	592 (61) a B	624 (58) bc B	513 (42) a A
30% AT	632 (67) a C	605 (62) ab B	579 (37) a B	479 (40) a A
50% AT	643 (61) a C	625 (47) ab B	595 (45) ab B	479 (40) a A

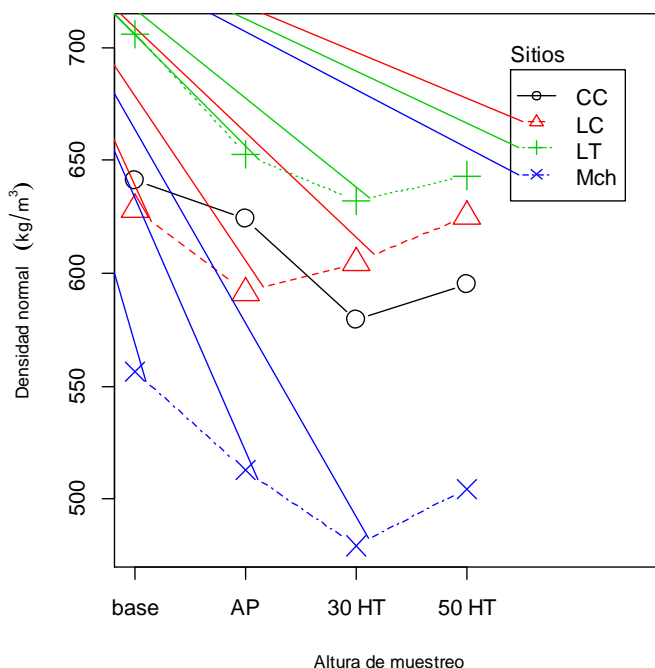
\*Rango de edades de los árboles en el sitio.

LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente: las minúsculas, verticalmente. Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

La región basal del fuste ofreció la mayor densidad en todos los sitios, si bien estadísticamente se registraron ciertas igualdades: en LC la base no se diferenció de 50% AT, y en CC no se diferenció de AP (Cuadro 4-32, Figura 4-11).



LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30HT:30% de la altura total; 50HT: 50% de la altura total.

Figura 4-11. Interacción sitio por altura en el fuste para la densidad normal.

El patrón axial de variación de la densidad normal, sin embargo, presentó diferencias entre sitios. Los sitios de densidades extremas (LT y MCh) mostraron similar patrón: mayor densidad en la base y el resto del fuste con densidades similares. LC y CC no evidenciaron un patrón tan neto, lo que podría indicarse como de una cierta constancia a lo largo del fuste, siempre con el mayor valor en la base (Cuadro 4-32, Figura 4-11).

Interacción sitio por posición. En sentido radial (Cuadro 4-33) se evidenciaron dos tendencias, LT y LC registraron una menor densidad en la región próxima a la médula (posición a) y una estabilización de la misma a partir de la mitad del radio (posición b). MCh y CC, en cambio, mostraron una densidad similar a lo largo del radio.

Dado que el espesor medio de albura alcanzó los 2 cm en todos los sitios (Cuadro 4-24), las probetas de la posición “c” estuvieron constituidas en buena medida por este tejido. Podría indicarse, en general, que la albura registró densidades similares a las de todo el duramen (CC, MCh), o densidad mayor que la del duramen próximo a la médula (posición a, en LT y LC) (Cuadro 4-33).

Cuadro 4-33. Interacción sitio por posición en el radio para la densidad normal ( $\text{kg/m}^3$ ). Valores medios y desviación estándar.

Posición en el radio	LT	LC	CC	MCh
a	633 (68) a C	579 (59) a B	597 (52) a B	511 (56) a A
b	682 (84) b C	622 (56) b B	632 (60) a B	521 (52) a A
c	671 (60) b C	639 (60) b B	618 (48) a B	515 (49) a A

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita .*

*Posición en el radio: a interna, b intermedia, c externa.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente: las minúsculas, verticalmente. Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Interacción altura de muestreo por posición. Se manifestaron diferentes tendencias axiales según se tratase del tejido próximo a la médula (posición “a”), intermedio (posición “b”) o externo, correspondiente mayormente a la albura (posición “c”) (Cuadro 4-34, Figura 4-12). En la albura (c), la base fue significativamente más densa que las

restantes alturas en el fuste; en cambio, los tejidos duraminizados (a, b) no manifestaron tan claramente esa tendencia axial.

Cuadro 4-34. Interacción altura de muestreo en el fuste por posición en el radio para la densidad normal ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Valores medios y desvío estándar.

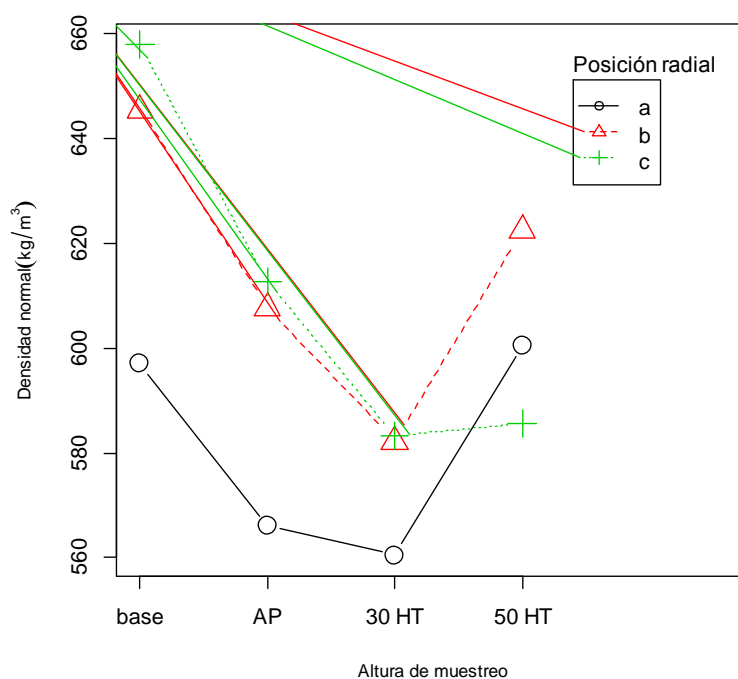
Altura de muestreo en el fuste	Posición radial a	Posición radial b	Posición radial c
Base	597 (74) b A	646 (80) b B	658 (78) c B
AP	566 (65) a A	608 (90) a B	613 (71) b B
30% AT	561 (74) a A	582 (84) a A	583 (78) a A
50% AT	601 (75) b A	623 (37) ab A	586 (73) a A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

Posición en el radio: a interna, b intermedia, c externa.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente: las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.



Posición radial: a: interna; b: intermedia; c: externa.

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); 30HT: 30% de la altura total; 50HT: 50% de la altura total.

Figura 4-12. Interacción altura de muestreo en el fuste por posición en el radio para la densidad normal.

Radialmente, las regiones basales del fuste (Base-AP) estabilizan la densidad a partir de la mitad del radio (posición b). En la parte alta del fuste, no se apreciaron diferencias de densidad a lo largo del radio (Cuadro 4-34, Figura 4-12).

#### 4.2.4.2. DENSIDAD BÁSICA

La densidad básica promedio para el conjunto del material experimental fue de 516,6 kg/m<sup>3</sup> (DE: 62; n: 320). La variación entre árboles, expresada la densidad básica como un promedio simple de los registros en el árbol, cubrió el rango 414 kg/m<sup>3</sup> - 589 kg/m<sup>3</sup>.

Estos valores de densidad básica se encontraron en el rango indicado por otras investigaciones para la especie, aunque las comparaciones suelen dificultarse dado que la información comunicada es variada en cuanto a la edad, a las procedencias geográficas y a los métodos de muestreo y de estimación, a veces no suficientemente explicitados. Searle y Owen (2005) reportaron una densidad promedio simple de 8 alturas en el fuste de entre 530 y 576 kg/m<sup>3</sup>, para ejemplares de 8 años en Australia. En un ensayo de 6 años, con diferentes tratamientos de irrigación, Clark (2001) determinó una densidad básica de 420 kg/m<sup>3</sup> como valor promedio simple de 8 alturas de muestreo dentro del árbol. Éstos resultan valores similares a lo encontrado en el presente estudio para los individuos más jóvenes (Cuadro 4-35).

A la edad de 22 años, a partir de chips de madera, Santos *et al.* (2006), en Portugal, informaron valores de 460 y 387 kg/m<sup>3</sup> para la zona basal y superior del fuste, respectivamente. Para árboles de 21-30 años en Nueva Zelanda, Harris y Young (1988) indicaron una densidad de 470 kg/m<sup>3</sup> expresada como promedio ponderado por volumen. En Chile, se informó, para un conjunto de árboles de 25 a 62 años, una densidad –promedio simple por árbol- de 582 kg/m<sup>3</sup> (Campos *et al.*, 1990). Pelen *et al.* (1998), en árboles de 15 años determinaron una densidad promedio simple de 539 kg/cm<sup>3</sup> también en Chile.

El análisis de la varianza consideró como fuentes de variación al sitio, a la altura de muestreo y al árbol ya que debido a la estrategia de muestreo no fue captada la variación radial (apartado 3.2.5.2 -Materiales y Método). Resultó significativa al 5% la

interacción sitio por altura (valor  $p$ : 0,0264). En el Cuadro 4-35 se muestra la comparación entre los valores medios de densidad básica según los niveles de sitio y de altura en el fuste.

Al igual que sucedió con la densidad normal, el sitio LT presentó valores significativamente mayores de densidad básica respecto a los restantes en cada altura de muestreo analizada; en tanto MCh los presentó significativamente menores. LC y CC fueron sitios de densidades intermedias y similares entre sí (Cuadro 4-35).

La falta de diferencia estadística entre LT y LC al 50% AT ha originado la interacción sitio por altura encontrada (valor  $p$ : 0,0264) (Cuadro 4-35). Podría indicarse que el patrón axial de variación de la densidad básica fue el mismo en todos los sitios, esto es, que la región basal del fuste ofreció la mayor densidad básica. Asimismo, los sitios mantuvieron similares posiciones relativas en su densidad básica, sea cual fuere la altura de muestreo considerada (Cuadro 4-35).

Cuadro 4-35. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la densidad básica [ $\text{kg/m}^3$ ]. Valores medios y desviaciones estándar.

Altura de muestreo en el fuste	LT [17-30 años]*	LC [19-32 años]	CC [20-31 años]	MCh [9-15 años]
Base	602 (29) b C	568 (41) b B	560 (21) b B	481 (17) b A
AP	575 (24) a C	523 (44) a B	514 (28) a B	435 (26) a A
30% AT	552 (25) a C	524 (41) a B	499 (22) a B	412 (24) a A
50% AT	554 (33) a C	532 (38) a AB	515 (38) a B	421 (38) a A

*LT: Los Tuelches, LC: Las Cortaderas, CC: Cinco Cerros, MCh: Mar Chiquita.*

*\*Rango de edades de los árboles en el sitio.*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente: las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

La variación de la densidad (básica y normal) entre árboles resulta destacada en el material estudiado ( $414 \text{ kg/m}^3$  -  $589 \text{ kg/m}^3$  para densidad básica;  $487 \text{ kg/m}^3$  -  $739 \text{ kg/m}^3$  para densidad normal). La diferencia entre árboles, aún creciendo en el mismo sitio y siendo contemporáneos, ha sido indicada por algunos autores como la mayor fuente de

variación para la densidad en latifoliadas de porosidad difusa (Wilkes, 1988; Downes *et al.*, 1997; Zobel y Talbert, 1998). En el presente trabajo, la variabilidad fenotípica observada podría descansar en diferencias genéticas, ambientales (sitios) y de edad. En su revisión sobre *A. melanoxylon*, Searle (2000) y más tarde Searle y Owen (2005) indicaron que se ha reconocido una significativa variación de naturaleza genética entre procedencias y entre individuos para la densidad básica en la especie. Nicholas y Brown (2002) también han mencionado la destacada variación entre árboles de la misma edad y diferente origen genético, en Nueva Zelanda.

Los patrones de cambios en sentidos radial y tangencial, a su vez asociados con las variaciones estructurales internas de los árboles, son bastantes consistentes tanto en coníferas como en latifoliadas (Panshin y de Zeeuw, 1980). En latifoliadas de porosidad difusa han sido más estudiados en *Eucalyptus*, *Populus* y *Salix*, indicándose que la variación axial de la densidad es de menor magnitud que la variación radial (Wilkes, 1988; Monteoliva *et al.*, 2002b). En estos Géneros, se ha mencionado como característica general la manifestación de un aumento de la densidad desde la base al ápice (Downes *et al.*, 1997; Igartúa *et al.*, 2000, 2002, 2003). Asimismo, algunos autores han descrito un descenso inicial hasta el 10- 25% de la altura comercial y su aumento posterior (Yanchuk *et al.*, 1983; Bhat *et al.*, 1990; Raymond y Muneri, 2001; Quilhó y Pereira, 2001; Monteoliva *et al.*, 2002a; Monteoliva *et al.*, 2002b), e incluso se ha indicado la ausencia de variación axial como uno de los modelos posibles de encontrar en el Género *Eucalyptus* (Downes *et al.*, 1997; Igartúa y Monteoliva, 2010). Para *A. melanoxylon*, se han descrito tanto tendencias decrecientes (desde la base hacia el ápice) como una nula de variación axial de la densidad básica (Haslett 1986; Harris y Young 1988; Clark, 2001; Nicholas y Brown 2002; Searle y Owen, 2005). En el presente trabajo se encontró que, axialmente, la región basal (Base) resultó más densa en relación a la constancia de esta propiedad en el resto del fuste (Cuadros 4-32, 4-34, 4-35).

Panshin y de Zeeuw (1980) describen tres tipologías de variación de la densidad en sentido radial: incremento desde médula a corteza (el predominante), decrecimiento inicial a partir de la médula seguido de su aumento hacia la corteza, y el decrecimiento médula/corteza. Estos patrones, a su vez, no deben considerarse invariables dentro de una especie, es decir, no deben considerarse constantes en todos los árboles de una



misma especie. Dando cuenta de esta variabilidad dentro de especie, en el presente estudio (Cuadro 4-33) no se apreciaron diferencias radiales en densidad normal en CC y MCh, en tanto que el patrón predominante en latifoliadas de porosidad difusa sí se manifestó en LT y LC.

#### 4.2.4.2.1. RELACIONES DE LA DENSIDAD CON LA EDAD, EL TAMAÑO Y EL CRECIMIENTO DE LOS ÁRBOLES

Estas relaciones lineales son indicadas en el Cuadro 4-36, donde se aprecia que en el material estudiado la densidad no guardó relación con el tamaño de los árboles (DAP, altura total, volumen comercial). Asimismo, el rango de edades representado en el material permitió detectar una relación densidad/edad de naturaleza positiva y significativa (Cuadro 4-36).

Cuadro 4-36. Correlaciones (coeficiente de Pearson) entre la densidad y variables asociadas al tamaño y a la edad (n= 20).

	Densidad Básica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad Normal (kg/m <sup>3</sup> )	
	r	Valor p	r	Valor p
DAP (cm)	0,13	0,57	-0,01	0,96
Altura total (m)	0,00	0,99	-0,11	0,64
Edad (años)	0,61	**	0,45	*
Volumen comercial (m <sup>3</sup> )	0,12	0,61	-0,06	0,81

*DAP: diámetro a la altura del pecho (1,3 m).*

*r: coeficiente de correlación.*

*Valores p \*\*: 0,001 < p < 0,01; \* 0,01 < p < 0,05*

Las relaciones se mostraron con mayor significancia en la densidad básica (masa seca /volumen saturado), variable que resulta de más exacta determinación en laboratorio.

A medida que el árbol y el cambium avanzan en edad, la producción de madera madura que se suma a la formada en etapas juveniles va ocasionando cambios en la densidad del leño en los fustes, situación que en la literatura se ha descrito como el aumento de la

densidad de los árboles con la edad de los mismos (Panshin y de Zeeuw, 1980; Zobel y Talbert, 1988; Plomion *et al.*, 2001).

En el material estudiado se apreció claramente que los árboles más jóvenes del sitio Mar Chiquita - 9 a 15 años- presentaron las menores densidades en relación al conjunto restante. El aumento de la densidad con la edad fue comunicado para *Acacia melanoxylon* tanto como para otras latifoliadas de porosidad difusa (Harris y Young 1988; Wilkes, 1988; Downes *et al.*, 1997; Matyas y Peszlen, 1997; Igartúa *et al.*, 2000; Barnet y Jeronimidis, 2003; Igartúa *et al.*, 2004; Monteoliva y Marlats, 2007; Monteoliva, 2007).

El análisis de la relación entre el crecimiento y la densidad se desarrolló excluyendo el material joven del sitio MCh para lograr un grupo más homogéneo en relación a la edad (Cuadro 4-37). Se encontraron relaciones densidad/crecimiento positivas, de moderada magnitud (con el incremento en altura total), y no significativas (con el incremento en DAP).

Cuadro 4-37. Correlaciones (coeficiente de Pearson) entre la densidad y los incrementos medios en DAP (IMADAP) y en altura total (IMAALT) (n= 15).

	Densidad Básica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad Normal (kg/m <sup>3</sup> )	
	r	Valor p	r	Valor p
IMA DAP (cm/año)	0,51	0,054	0,41	0,13
IMA ALT (m/año)	0,61	*	0,62	*

DAP: diámetro a la altura del pecho (1,3 m).

r: coeficiente de correlación.

\*  $0,01 < p < 0,05$ .

Es conocida la influencia del sitio en los parámetros de crecimiento pero es menos conocida su influencia en la calidad de la madera (Barnet y Jeronidimis, 2003). La densidad se puede ver afectada por la velocidad de crecimiento. En este sentido, se han reportado estudios contradictorios con respecto al carácter positivo o negativo de esta relación en los distintos grupos de plantas. Zobel y van Buijtenen (1989) listaron 59

referencias con respecto a la relación entre densidad y crecimiento en pinos duros, de los cuales 35 no manifestaron correlación y sólo 11 citaron correlación negativa. Zobel y Jett (1995) mencionaron que existen resultados contradictorios sobre esta relación para latifoliadas, siendo el comportamiento más usual para las de porosidad difusa que no exista relación significativa, como se ha encontrado en esta investigación. Sin embargo, la heterogeneidad de nuestro material en edad (aún si se excluyera del análisis al sitio MCh), y su desconocida constitución genética pueden estar contribuyendo a confundir respecto a la verdadera relación involucrada.

La relación crecimiento / propiedades de la madera es confusa y compleja debido al número de factores que afectan tanto a las propiedades de la madera como al crecimiento, lo que impide hacer afirmaciones definitivas. Una relación directa y positiva entre crecimiento y densidad se ha encontrado en especies de porosidad circular (*Fraxinus*, *Quercus*), pero esa tendencia no es la generalidad en especies de porosidad difusa (Zobel y Talbert, 1988). Un futuro abordaje en el recurso local de *A. melanoxylon*, en condiciones controladas respecto a edad y genotipo aportará más evidencia sobre la relación entre la densidad y el crecimiento en la especie.

#### 4.2.4.2.2. RELACIONES DE LA DENSIDAD CON LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS, LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y EL CONTENIDO DE DURAMEN

Estas relaciones lineales son indicadas en el Cuadro 4-38, donde, en general, se aprecia que en el material estudiado la densidad, bajo cualquiera de sus dos expresiones (básica o normal) no guardó relación ni con los contenidos de extractivos ni con los de duramen. Tampoco se apreciaron relaciones significativas entre la densidad y algunas de las variables anatómicas que se reconocen en la literatura como influyentes en ese sentido.

Cuadro 4-38. Correlaciones (coeficiente de Pearson) entre la densidad y variables asociadas a la estructura anatómica, a la composición química y al contenido de duramen (n= 20).

	Densidad Básica (kg/m <sup>3</sup> )		Densidad Normal (kg/m <sup>3</sup> )	
	r	Valor p	r	Valor p
Extractivos <sup>a</sup> totales (%)	0,34	0,145	0,29	0,212
Extractivos <sup>a</sup> agua caliente (%)	0,14	0,54	0,16	0,50
Extractivos <sup>a</sup> Alcohol-Tolueno (%)	0,53	*	0,39	0,08
Espesor pared celular fibras (μ)	0,22	0,349	0,21	0,377
Diámetro vasos (μ)	0,42	0,065	0,31	0,189
Frecuencia vasos ( n°/mm <sup>2</sup> )	-0,11	0,642	-0,04	0,853
Contenido de duramen <sup>b</sup> (%)	-0,15	0,534	-0,18	0,439

*a: se indican como % sobre madera seca total; b: en relación al volumen comercial;*

*r: coeficiente de correlación.*

*\*: 0,01 < p < 0,05 .*

La densidad es una propiedad compleja de la madera, dado que es la resultante de una combinación de características estructurales, cada una de la cuales tiene un sólido patrón hereditario propio. Está determinada principalmente por el tamaño y grosor de las paredes de las células de las fibras leñosas y, en las latifoliadas, también influyen la presencia de vasos y radios medulares así como el volumen relativo de los diferentes tipos celulares al interno del fuste de los árboles (Zobel y Talbert, 1988; Panshin y de Zeeuw, 1980). Especies con alta frecuencia de vasos y de tamaño grande (diámetro del lumen) tendrán menor densidad que aquellas con pocos vasos y pequeños, algo similar ocurre con la cantidad y distribución de parénquima axial y radial (Panshin y de Zeeuw, 1980; Barnett y Jeronimidis, 2003). Se asume que la densidad de la pared celular es constante en las especies y se calculó un valor promedio de 1500 kg/m<sup>3</sup> para latifoliadas (Barnett y Jeronimidis, 2003). Por lo tanto, las variaciones en la densidad de la madera con las especies se deben a la cantidad de pared celular presente en una unidad de volumen. En especies de porosidad difusa como *A. melanoxylon*, se presentan vasos de diámetro similares en todo el anillo de crecimiento y la cantidad de pared celular presente (y por lo tanto la densidad), estará afectada por los otros componentes

anatómicos mayoritarios que son las fibras y el espesor de su pared celular (Barnett y Jeronimidis, 2003).

Asimismo, los extractivos en gran cantidad, sobre todo localizados dentro de la pared celular, pueden incrementar la densidad de la madera y disminuir la contracción y el hinchamiento, con sus consecuentes beneficios para la utilización de la madera (Barnett y Jeronimidis, 2003). Como se aprecia en el Cuadro 4-38, los extractivos totales o cualquiera de sus dos componentes, no parecen estar determinando la variación en densidad registrada en el material experimental. Tampoco dicha variación podría explicarse por las diferencias registradas en el espesor de las paredes de las fibras, diámetro y frecuencia de vasos.

Fue encontrado en el presente trabajo que mayores contenidos de duramen se asociaron a mayores contenidos de extractivos y mayores tamaños de árboles (Cuadro 4-31), lo que podría explicar el mayor contenido de duramen y extractivos de los árboles de LT y MCh, que representaron los de mayores volúmenes comerciales del conjunto (Cuadro 4-16, Cuadro 4-17). Sin embargo, madera de árboles con mayor contenido de duramen (y de extractivos, y de mayor tamaño arbóreo) no guardaría relación significativa con la densidad (Cuadros 4-36, 4-37 y 4-38).

Tampoco guardaron relación con la densidad las variables anatómicas analizadas. Lo aquí estudiado en referencia a dimensiones celulares, respondiendo a un objetivo descriptivo inicial, ha incluido variables del tamaño celular pero no de la proporción relativa de los diferentes tipos celulares (fibras, vasos, parénquima). Éste último aspecto podría estar explicando diferencias en densidad dentro del material estudiado.

Por todas las relaciones encontradas, la superioridad significativa en densidad para la madera del sitio LT no descansó en el tamaño de sus células, las más pequeñas del conjunto junto a MCh (Cuadro 4-20), ni en su composición en extractivos (Cuadro 4-29), similares a los del conjunto, ni en su superioridad en contenido de duramen, similar al de MCh (Cuadro 4-25), ni en sus destacados crecimientos (Cuadro 4-17). Restaría considerar en este análisis la proporción relativa de tejidos que ha caracterizado a todos los materiales, aunque, aun así, el desconocimiento del genotipo estaría restando capacidad explicativa al análisis.

### Resultados principales en referencia a la densidad y su variación

La densidad (normal y básica) resultó de similares valores a los determinados en otros países (densidad intermedia) donde se ha consolidado su aporte al mercado de maderas de calidad para mueblería (Australia, Nueva Zelanda y Tasmania).

Las regiones basales del fuste (Base, AP) fueron más densas (densidad normal, al 12% CH), patrón que se hace bien evidente en la región externa correspondiente a la albura (posición c).

En las regiones basales (Base, AP) los tejidos duraminizados próximos a la médula fueron los de menor densidad (densidad normal), característica no evidente en las regiones superiores del fuste (30%AT y 50% AT).

La albura fue más densa (densidad normal) que el duramen sólo en las regiones basales (Base, AP) del fuste, en tanto que en las regiones superiores, albura y duramen fueron igualmente densos.

Los sitios manifestaron diferencias en la variación axial y radial de la densidad normal. Estas diferencias consistieron, por una parte, en un fuste igualmente denso en todas sus alturas (LC y CC) o con la base más densa (LT y MCh). Por otra parte, en sentido radial, o no se apreciaron diferencias en densidad normal (CC y MCh) o la región próxima a la médula resultó menos densa (LT y LC).

En términos de densidad básica, el material manifestó un patrón de variación axial similar en todos los sitios. Al igual que para la densidad normal, la región basal (Base) resultó más densa en relación a la constancia de la densidad básica que presentó el resto del fuste.

La densidad bajo cualquiera de sus dos expresiones (básica o normal) no guardó relación con el tamaño de los árboles (DAP, altura total, volumen comercial) ni con los contenidos de extractivos y de duramen. Tampoco se apreciaron relaciones significativas entre la densidad y las variables anatómicas espesor de la pared de las fibras, diámetro y frecuencia de los vasos. En cambio, el rango de edades representado

en el material permitió detectar una relación densidad/edad de naturaleza positiva y significativa.

#### 4.2.5. CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA

##### 4.2.5.1. LOS CAMBIOS EN DIRECCIÓN RADIAL

Los valores promedio para la contracción ( $C_{max_r}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_r}$ ) lineales máximos, para el coeficiente de contracción lineal ( $CR_r$ ) y para el punto de saturación de las fibras radial ( $PSF_r$ ) se indican en el Cuadro 4-39. El contenido de humedad promedio de las probetas al inicio del ensayo (madera seca al aire o estacionada) fue de 12,28 % (DE: 1,89).

Los histogramas de la Figura 4-13 permiten apreciar la distribución de la frecuencia de los registros obtenidos. Los valores máximos y mínimos de las propiedades estudiadas pertenecen a clases de baja representación porcentual en la muestra de datos.

Cuadro 4-39. Valores promedio de contracción ( $C_{max_r}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_r}$ ) radiales máximos, de coeficiente de contracción radial ( $CR_r$ ) y de punto de saturación de las fibras ( $PSF_r$ )

	$C_{max_r}$ (%)	$H_{max_r}$ (%)	$CR_r$	$PSF_r$ (%)
<i>Media (n=654)</i>	3,55	3,69	0,15	24,76
<i>Desviación Estándar</i>	0,72	0,77	0,03	2,40
<i>Máximo</i>	6,20	6,61	0,22	35,60
<i>Mínimo</i>	1,43	1,45	0,05	18,20

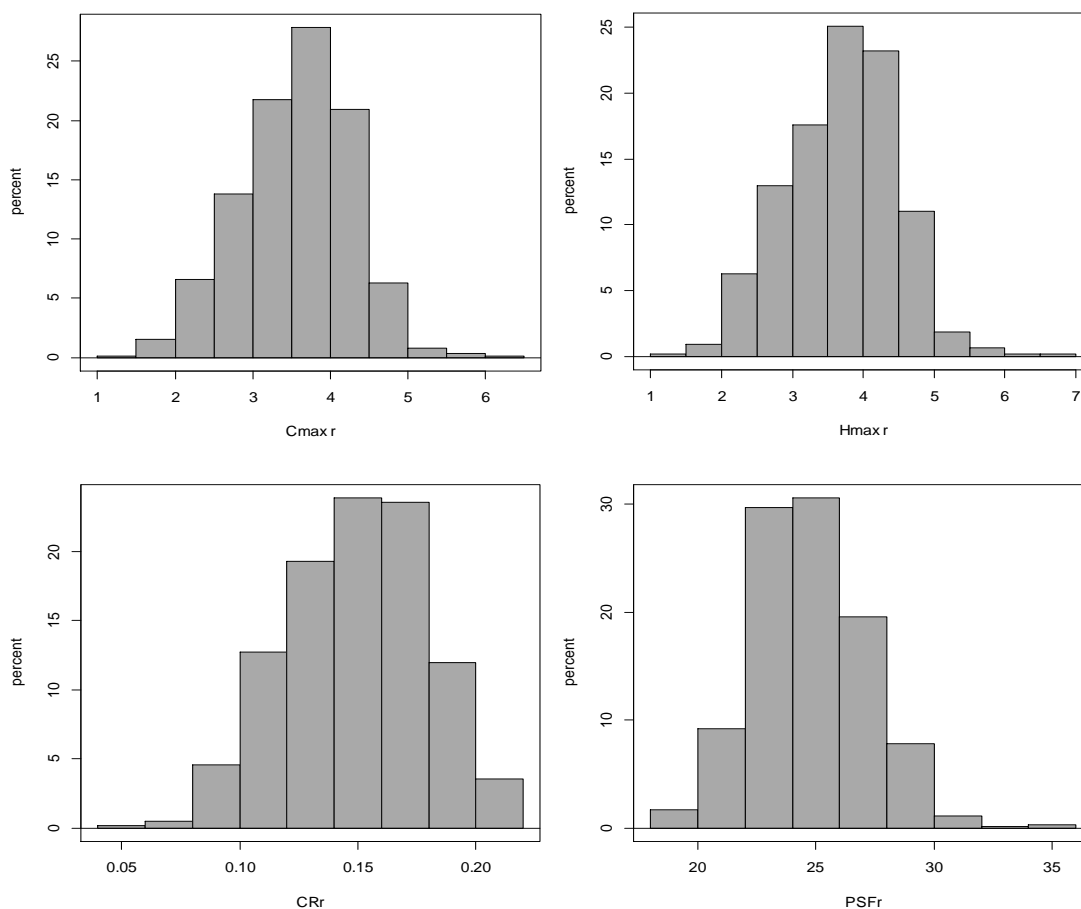


Figura 4-13. Distribución de frecuencias en los registros de: contracción ( $C_{max_r}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_r}$ ) radiales máximos, coeficiente de contracción radial ( $CR_r$ ) y punto de saturación de las fibras ( $PSF_r$ ).

En Chile, sobre esta misma especie Espinoza U. (1997) determinó en árboles de 16-18 años coeficientes  $CR_r$  del orden de 0,12 para la dirección radial y 0,26 para la tangencial. Según el autor, estas magnitudes resultaron más bajas que las de otras especies creciendo en Chile (“Eucalipto”, Coigüe”, “pino radiata”), y lo son también respecto al material aquí estudiado. Evaluaciones realizadas sobre plantaciones de esta especie en Nueva Zelanda mencionaron que el PSF correspondió a un contenido de humedad del 25,4 % (Haslett, 1986; Nicholas y Brown, 2002).

Los análisis de la varianza indicaron como fuentes de variación significativas, para las cuatro variables estudiadas, a las interacciones sitio por altura de muestreo y sitio por



posición radial, así como al árbol. No se encontró significativa a la interacción altura por posición en el radio (Cuadro 4-40).

Cuadro 4-40. Fuentes de variación para contracción ( $C_{max_r}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_r}$ ) radiales máximos, coeficiente de contracción radial ( $CR_r$ ) y de punto de saturación de las fibras ( $PSF_r$ ).

Fuente de Variación	$C_{max_r}$ (%)	$H_{max_r}$ (%)	$CR_r$	$PSF_r$ (%)
<i>SITIO</i>	***	***	***	***
<i>ALTURA</i>	***	***	***	***
<i>POSICIÓN</i>	ns (p: 0,46)	ns (p: 0,55)	**	*
<i>SITIO x ALTURA</i>	***	***	***	***
<i>SITIO x POSICIÓN</i>	***	***	***	***
<i>ALTURA x POSICIÓN</i>	ns (p: 0,53)	ns (p: 0,54)	ns (p: 0,39)	ns (p: 0,30)
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	***	***	***	***

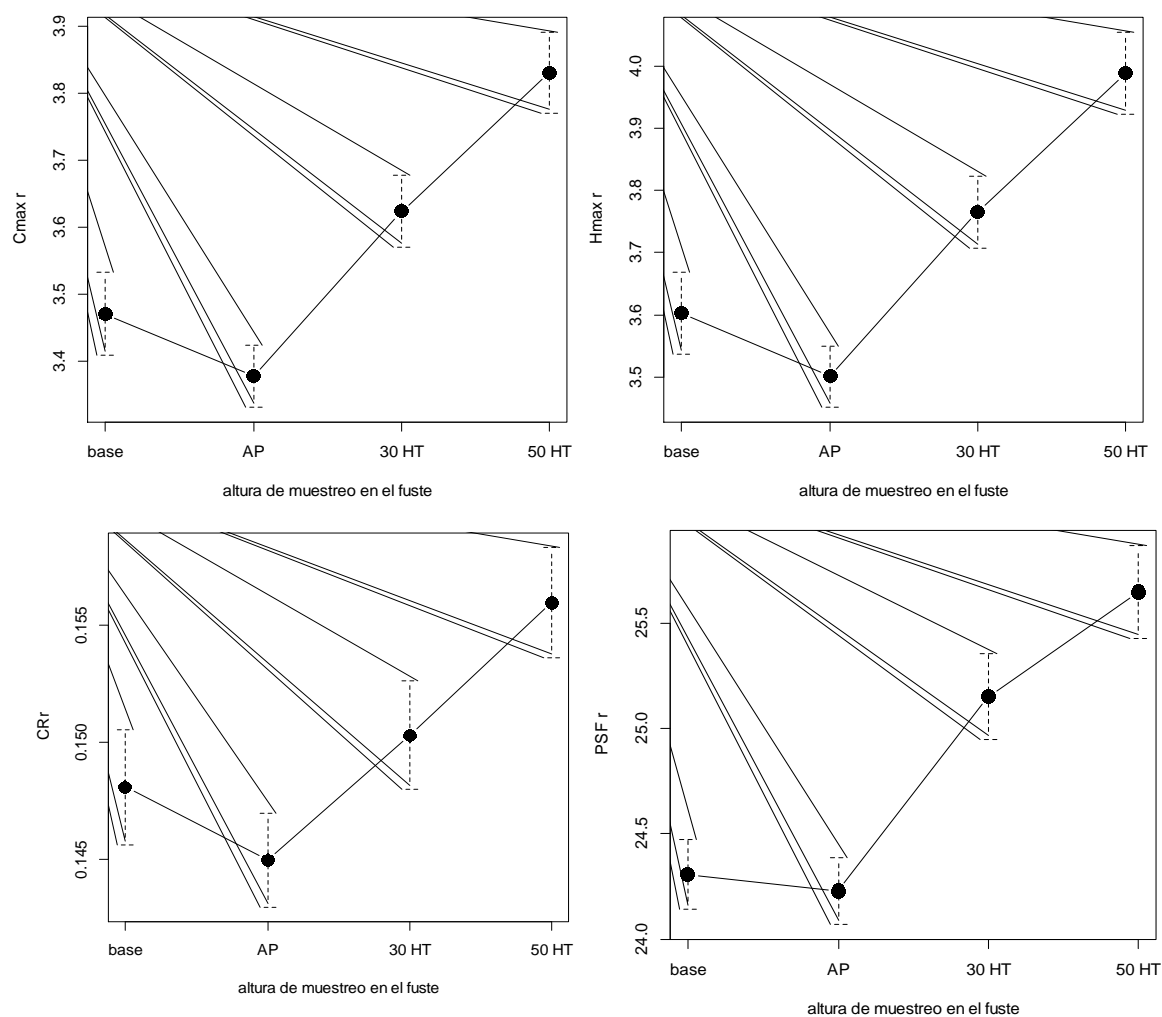
ns: no significativa.

\*\*\*:  $p < 0,001$ ; \*\*:  $0,001 < p < 0,01$ ; \*:  $0,01 < p < 0,05$ .

En adelante se desarrollará la presentación en el marco de las interacciones encontradas.

Interacción altura por posición. Resultó no significativa, por lo tanto la tendencia de variación a lo largo del fuste (para todas las propiedades) no estuvo condicionada por la posición radial de la que se tratase y viceversa. Cada propiedad manifestó un descenso de sus valores entre la base y la AP para incrementarlos a continuación hacia el ápice, independientemente de si se trató de tejidos cercanos a la médula o a la corteza. Las tendencias de variación a lo largo del fuste se representan en la Figura 4-14.

Ananias (1989) observó en esta especie implantada en Chile, que las contracciones máximas aumentaron desde la médula hacia la corteza, con rangos de 3,1 % - 3,9 % (dirección radial) y 6,6 % - 8,6 % (dirección tangencial).



*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); 30HT:30% de la altura total;  
50HT: 50% de la altura total.  
 $C_{max\ r}$ : contracción máxima;  $H_{max\ r}$ : hinchamiento máximo;  $CR_r$ : coeficiente de contracción;  
 $PSF_r$ : punto de saturación de las fibras.*

Figura 4-14. Variación a lo largo del fuste de los cambios dimensionales en dirección radial. Valores medios. Línea vertical: error estándar.

Interacción sitio por altura de muestreo. Los Cuadros 4-41, 4-42, 4-43 y 4-44 muestran el comportamiento de las variables asociadas a la contracción e hinchamientos máximos radiales en el marco de esta interacción significativa. En general, la contracción e hinchamiento máximos radiales manifestados por la madera del sitio MCh se han diferenciado significativamente de los del resto de los sitios, por ser de menor valor. Por otra parte, los sitios restantes no se diferenciaron en estas propiedades (Cuadro 4-41, Cuadro 4-42).

Los sitios manifestaron variaciones axiales para la contracción e hinchamiento similares a las indicadas antes en la Figura 4-14 con ciertas diferencias entre ellos (de allí la interacción), Se apreció la constancia de los valores de contracción e hinchamiento hasta el 30% AT (con excepciones donde la AP resulta significativamente menor o mayor) (Cuadro 4-41, Cuadro 4-42).

Cuadro 4-41. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la contracción máxima radial (%).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	3,82 (0,53) ab B	3,84 (0,64) a B	----	2,61 (0,53) ab A
AP	3,68 (0,52) a B	3,67 (0,42) a B	3,56 (0,42) a B	2,50 (0,38) a A
30% AT	3,83 (0,53) ab B	3,82 (0,44) a B	3,97 (0,36) b B	2,77 (0,52) bc A
50% AT	4,00 (0,51) bc B	4,31 (0,69) b C	3,80 (0,59) ab B	2,92 (0,19) c A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Cuadro 4-42. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el hinchamiento máximo radial (%).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	3,97 (0,58) ab B	3,99 (0,70) a B	----	2,69 (0,56) ab A
AP	3,82 (0,56) a B	3,81 (0,46) a B	3,69 (0,45) a B	2,57 (0,40) a A
30% AT	3,99 (0,58) ab B	3,98 (0,48) a B	4,14 (0,39) b B	2,85 (0,55) bc A
50% AT	4,17 (0,55) bc B	4,51 (0,76) b C	3,96 (0,64) ab B	3,01 (0,20) c A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

El CR<sub>r</sub> resultó significativamente menor en el sitio MCh, seguido por CC. Los mayores valores de CR<sub>r</sub> correspondieron a los sitios LT y LC. Este coeficiente tendió a la constancia a lo largo del fuste, con algunas excepciones en LC y MCh (Cuadro 4-43).

Cuadro 4-43. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el coeficiente de contracción radial (CR<sub>r</sub>).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	0,17 (0,02) a B	0,16 (0,02) a B	----	0,11 (0,02) a A
AP	0,17 (0,02) a C	0,16 (0,02) a C	0,14 (0,01) a B	0,11 (0,01) ab A
30% AT	0,17 (0,03) a C	0,16 (0,02) ab B	0,15 (0,01) a B	0,12 (0,03) ac A
50% AT	0,17 (0,02) a C	0,17 (0,02) ac C	0,15 (0,02) a B	0,12 (0,02) a A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

El PSFr resultó significativamente mayor en CC, y menor en LT y MCh. La tendencia axial prevaeciente es la igualdad del PSFr y, en términos absolutos, la región más alta del fuste manifestó el mayor valor de PSFr en la mayoría de los sitios (Cuadro 4-44).

Cuadro 4-44. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el punto de saturación de las fibras (%), desde el esfuerzo radial (PSF<sub>r</sub>).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	23,86 (1,6) a A	25,10 (2,0) ab B	----	24,03 (2,6) ab AB
AP	23,13 (1,6) a A	24,35 (2,5) a B	26,14 (1,6) a C	23,67 (1,8) a AB
30% AT	23,24 (1,9) a A	25,68 (1,3) bc B	27,81 (1,5) b C	23,75 (2,0) ab A
50% AT	24,11 (1,9) a A	26,82 (2,1) c BC	27,12 (2,3) ab C	25,23 (2,0) c AB

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Interacción sitio por posición en el radio. No se apreció influencia de la posición radial en las propiedades estudiadas, a excepción del comportamiento de la madera del sitio MCh, lo que originó la significancia de esta interacción. Nuevamente se apreció la menor magnitud de la contracción e hinchamiento máximos radiales en el sitio MCh, cuyo material es el único que manifestó una diferencia significativa entre las dos posiciones radiales estudiadas, siendo mayor la contracción e hinchamiento en la posición interna, cercana a la médula (Cuadro 4-45 y Cuadro 4-46).

Cuadro 4-45. Interacción sitio por posición en el radio para la contracción máxima radial (%).

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	3,78 (0,45) a B	3,82 (0,60) a B	3,84 (0,52) a B	2,84 (0,39) b A
c	3,88 (0,62) a C	3,92 (0,57) a C	3,65 (0,37) a B	2,19 (0,29) a A

*Posición a: interna, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Cuadro 4-46. Interacción sitio por posición en el radio para el hinchamiento máximo radial (%).

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	3,94 (0,49) a B	3,98 (0,65) a B	3,99 (0,57) a B	2,92 (0,41) b A
c	4,04 (0,67) a C	4,09 (0,62) b C	3,77 (0,39) a B	2,24 (0,31) a A

*Posición a: interna, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Los valores CRr (Cuadro 4-47) fueron superiores en LT y LC y significativamente menores en el sitio MCh. El material de MCh es el único donde también se manifestó la

influencia de la posición radial en el CRr, en este caso, los valores de la propiedad fueron mayores en la región próxima a la médula.

Cuadro 4-47. Interacción sitio por posición en el radio para el coeficiente de Contracción radial.

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	0,17 (0,02) a D	0,16 (0,02) a C	0,15 (0,02) a B	0,12 (0,02) b A
c	0,17 (0,02) a D	0,16 (0,02) a C	0,14 (0,01) a B	0,10 (0,01) a A

*Posición a: interna, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

El PSFr (Cuadro 4-48), significativamente mayor en CC tal como se apreciara también en el Cuadro 4-44, no manifestó diferencias en sus valores según la posición radial, a excepción de LC donde, si bien significativo estadísticamente, resulta de escasa relevancia en el aspecto tecnológico.

Cuadro 4-48. Interacción sitio por posición en el radio para el punto de saturación de las fibras (%), desde el esfuerzo radial.

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	23,53 (2,0) a A	25,18 (2,1) a B	26,90 (2,0) a C	24,27 (2,4) a A
c	23,71 (1,4) a A	25,36 (2,5) b B	27,29 (1,8) a C	23,43 (2,0) a A

*Posición a: interna, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

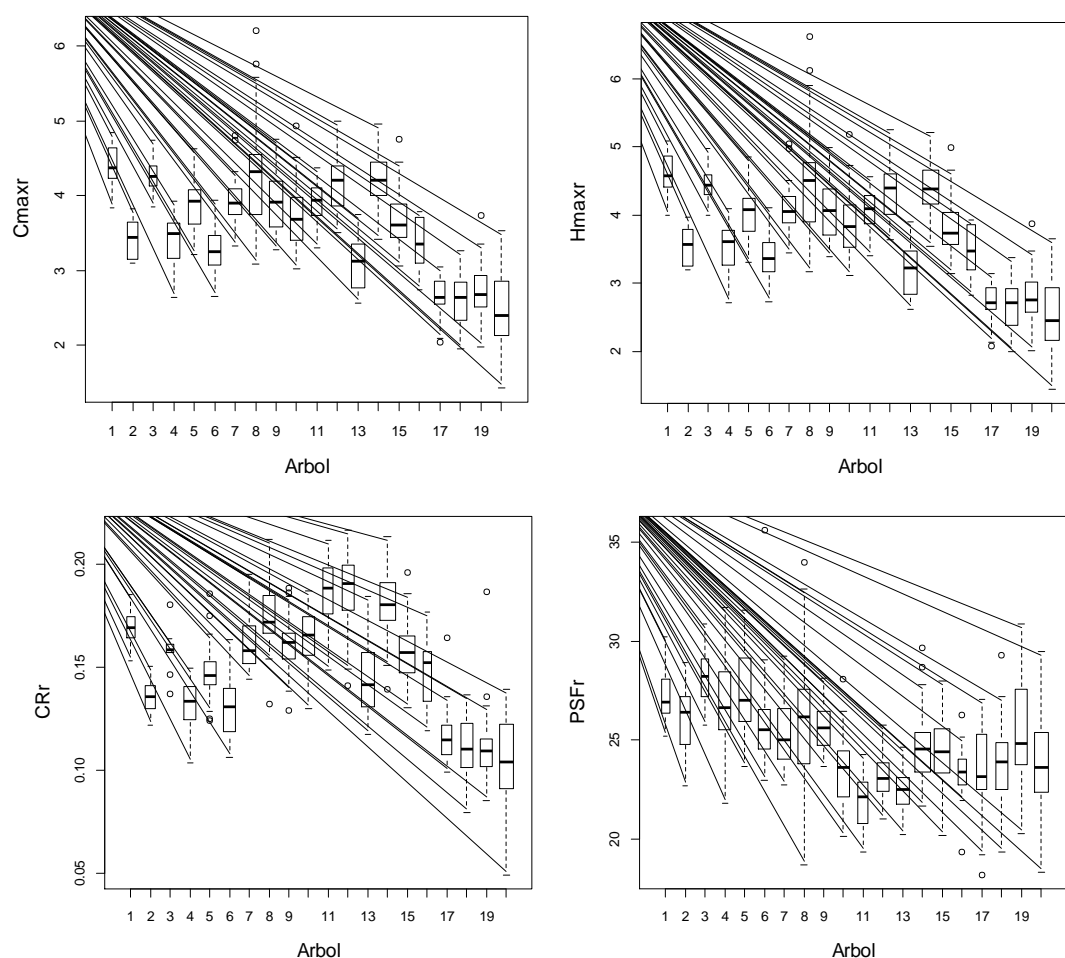
*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

La variación entre árboles en los cambios dimensionales radiales. La variación entre árboles, expresada cada propiedad como un promedio simple de los registros en el

árbol, cubrió los siguientes rangos:  $C_{max_r}$  entre 4,40 % y 2,44 %;  $H_{max_r}$  entre 4,61% y 2,51 %;  $CR_r$  entre 0,19 y 0,11 y  $PSF_r$  entre 28,24% y 21,91%.

Como fue indicado en el Cuadro 4-40, el análisis de varianza indicó como fuente de variación significativa al árbol dentro de sitio (el modelo estadístico consideró al árbol anidado en el sitio). La Figura 4-15 permite apreciar las diferencias en medianas, en simetría y en valores extremos que se manifestaron entre los árboles de un mismo sitio, para todas las propiedades.



*CC: 1 a 5; LC: 6 a 10; LT: 11 a 15; MCh: 16 a 20*

*Caja: 1er y 3er cuartil.*

*Línea vertical: máximo y mínimo, ó 1,5 veces el rango inter-cuartil (3er – 1er cuartil), si hay outliers*

Figura 4-15. Variación de los árboles en el sitio en los cambios dimensionales radiales (medianas): contracción ( $C_{max_r}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_r}$ ) máximos, coeficiente de contracción ( $CR_r$ ) y punto de saturación de las fibras ( $PSF_r$ ).

#### 4.2.5.2. LOS CAMBIOS EN DIRECCIÓN TANGENCIAL

Los valores promedio en dirección tangencial para la contracción ( $C_{max_t}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_t}$ ) lineales máximos, para el coeficiente de contracción lineal ( $CR_t$ ) y para el punto de saturación de las fibras ( $PSF_t$ ) se indican en el Cuadro 4-49. El material experimental correspondiente a este análisis tuvo un contenido de humedad promedio al inicio del ensayo (madera seca al aire o estacionada) de 12,22 % (DE: 1,76).

Cuadro 4-49. Valores promedio de contracción ( $C_{max_t}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_t}$ ) tangenciales máximos, de coeficiente de contracción tangencial ( $CR_t$ ) y de punto de saturación de las fibras ( $PSF_t$ ).

	$C_{max_t}$ (%)	$H_{max_t}$ (%)	$CR_t$	$PSF_t$ (%)
<i>Media (n=1158)</i>	6,63	7,13	0,27	26,20
<i>Desviación Estándar</i>	1,58	1,82	0,05	2,77
<i>Máximo</i>	11,10	12,49	0,41	36,38
<i>Mínimo</i>	3,01	3,10	0,12	18,64

Los histogramas de la Figura 4-16 permiten apreciar la distribución de la frecuencia de los registros obtenidos. Los valores máximos y mínimos de las propiedades estudiadas pertenecen a clases de baja representación porcentual en la muestra de datos. Se registró la relación esperada en tanto los mayores cambios dimensionales correspondieron a los ocurridos en el dirección tangencial (Coronel, 1994) (Cuadro 4-39 y Cuadro 4-49).

En Chile, sobre esta misma especie y en árboles de 60 años, Ananias (1989) mediante un muestreo más exhaustivo que el presente, informó un coeficiente de contracción en dirección tangencial de 0,29. Evaluaciones realizadas sobre plantaciones de la especie en Nueva Zelanda mencionan que el PSF correspondió a un contenido de humedad del 25,4% (Haslett, 1986; Nicholas y Brown, 2002), en cambio para Ananias (1989) quedó



determinado en el 26,1% de contenido de humedad. Chowdhury *et al.* (2005) determinaron sobre otra especie del Género, *A. mangium* de Bangladesh, de edades entre 10 y 20 años y con densidad básica de  $560 \text{ kg/m}^3$ , una contracción máxima de 6,7% en dirección tangencial y 3,2% en el radial. Valores algo inferiores (5,3% tangencial y 2,6% radial) fueron informados por Shukla *et al.* (2007) en madera de *A. auriculiformis* de 8 a 13 años.

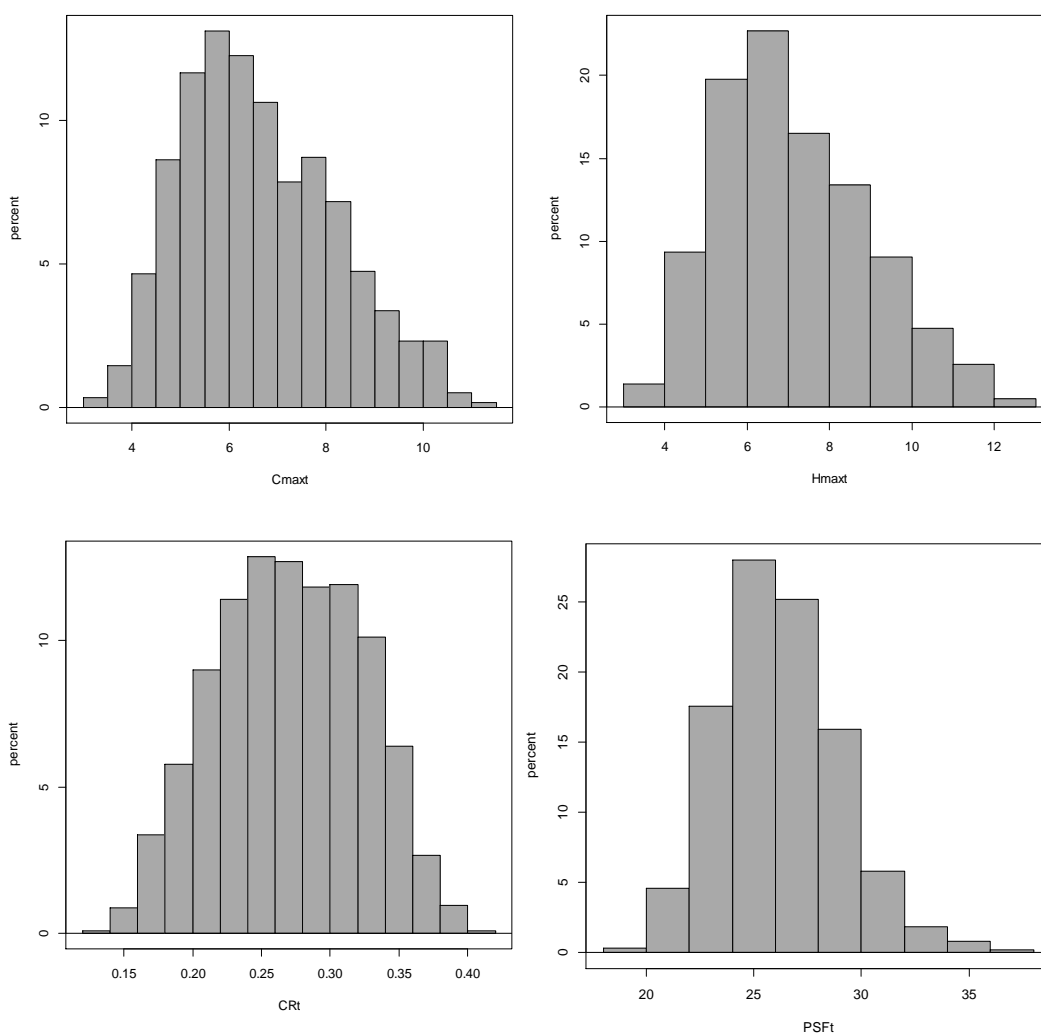


Figura 4-16. Distribución de frecuencias en los registros de los cambios dimensionales tangenciales: contracción ( $C_{max_t}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_t}$ ) tangenciales máximos, coeficiente de contracción tangencial ( $CR_t$ ) y punto de saturación de las fibras ( $PSF_t$ ).

Los análisis de la varianza sobre las cuatro variables estudiadas referidas al esfuerzo tangencial, indicaron como fuentes de variación significativas a las interacciones sitio por altura de muestreo, sitio por posición en el radio, altura por posición en el radio, así como al árbol (Cuadro 4-50). Por lo tanto no corresponde el análisis de la variación según cada factor aisladamente (sitio, altura, posición), sino en el marco de sus interacciones. En adelante, así se desarrollará la presentación.

Cuadro 4-50. Fuentes de variación para contracción ( $C_{max_t}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_t}$ ) tangenciales máximos, coeficiente de contracción tangencial ( $CR_t$ ) y de punto de saturación de las fibras ( $PSF_t$ ).

Fuente de Variación	$C_{max_t}$ (%)	$H_{max_t}$ (%)	$CR_t$	$PSF_t$ (%)
<i>SITIO</i>	***	***	***	***
<i>ALTURA</i>	***	***	***	***
<i>POSICIÓN</i>	***	***	***	***
<i>SITIO x ALTURA</i>	***	***	***	***
<i>SITIO x POSICIÓN</i>	***	***	***	***
<i>ALTURA x POSICIÓN</i>	**	***	**	***
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	***	***	***	***

*ns: no significativa .*

*\*\*\*:  $p < 0,001$ .    \*\*:  $0,001 < p < 0,01$ .*

Interacción sitio por altura de muestreo. Los Cuadros 4-51, 4-52, 4-53 y 4-54 muestran el comportamiento de las variables indicativas de los cambios dimensionales tangenciales en el marco de la interacción sitio por altura de muestreo.

Al igual que sucedió con los esfuerzos radiales, la contracción e hinchamiento máximos tangenciales manifestados por la madera del sitio MCh se diferenciaron significativamente de los del resto de los sitios, por su menor valor. El material manifestó variaciones axiales de contracción e hinchamiento tangenciales, con ciertas diferencias entre sitios, así, en MCh tal variación no existe. Los restantes sitios diferencian dos regiones en el fuste según sus valores para estas dos propiedades, siendo ellos mayores en la región base-30% de la altura total (Cuadro 4-51; Cuadro 4-52).

Cuadro 4-51. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la contracción máxima tangencial (%).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	7,75 (1,33) b B	7,53 (1,91) b B	----	5,70 (1,06) a A
AP	7,42 (1,35) b C	7,78 (1,63) b C	6,77 (1,08) b B	5,62 (1,05) a A
30% AT	6,79 (1,25) a C	6,67 (2,21) a C	6,20 (0,95) a B	5,69 (0,89) a A
50% AT	6,89 (1,23) a C	6,23 (1,77) a B	6,00 (1,12) a B	5,53 (0,85) a A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Cuadro 4-52. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el hinchamiento máximo tangencial (%).

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	8,42 (1,56) b B	8,18 (2,24) c B	----	6,06 (1,21) a A
AP	8,01 (1,58) b C	8,46 (1,92) c C	7,27 (1,24) b B	5,96 (1,18) a A
30% AT	7,30 (1,44) a C	7,20 (2,55) b C	6,61 (1,08) a B	6,04 (1,00) a A
50% AT	7,42 (1,41) a C	6,68 (2,02) a B	6,39 (1,27) a B	5,86 (0,95) a A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

El  $CR_t$  (Cuadro 4-53) resultó significativamente menor en el sitio MCh y mayor en LT. El material manifestó diferentes tendencias axiales según los sitios, así, MCh y CC mantuvieron valores constantes de  $CR_t$  a lo largo del fuste, en tanto LT y LC los disminuyen hacia el ápice.

Cuadro 4-53. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el coeficiente de contracción tangencial.

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	0,32 (0,05) b C	0,28 (0,05) b B	----	0,25 (0,04) b A
AP	0,31 (0,04) b D	0,30 (0,05) c C	0,26 (0,03) a B	0,24 (0,04) ab A
30% AT	0,29 (0,04) a D	0,27 (0,07) b C	0,26 (0,04) a B	0,24 (0,04) ab A
50% AT	0,29 (0,04) a C	0,25 (0,06) a B	0,26 (0,04) a B	0,23 (0,04) a A

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Los sitios se diferenciaron por sus PSFt en la región basal del fuste (Base y AP), donde LC y MCh registraron el mayor y menor PSFt respectivamente. En la región superior se igualan los valores de PSFt entre los sitios, a excepción de MCh, levemente superior (Cuadro 4-54).

Cuadro 4-54. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para el punto de saturación de las fibras (%), desde el esfuerzo tangencial.

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	26,32 (1,92) a C	28,85 (3,52) c B	----	24,66 (2,71) a A
AP	26,08 (2,29) a C	27,95 (2,83) b B	27,46 (1,99) b B	24,95 (2,41) a A
30% AT	25,50 (2,26) a A	26,47 (3,17) a A	25,75 (1,84) a A	25,63 (2,55) ab A
50% AT	25,17 (2,56) a AB	26,03 (2,50) a B	24,96 (1,76) a A	26,19 (2,44) b B

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Interacción sitio por posición en el radio. Nuevamente se apreció la menor magnitud de la contracción e hinchamiento máximos radiales en el sitio MCh. La tendencia de variación radial fue contundente, todos los sitios incrementan los valores de hinchamiento y contracción tangenciales desde la médula hacia la corteza, aunque en diferentes magnitudes (Cuadro 4-55 y Cuadro 4-56).

Cuadro 4-55. Interacción sitio por posición en el radio para la contracción máxima tangencial (%).

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	5,74 (0,55) a C	5,18 (0,87) a B	5,28 (0,77) a B	4,77 (0,47) a A
b	7,81 (0,81) b D	7,72 (1,04) b C	6,52 (0,67) b B	6,02 (0,79) b A
c	8,11 (0,98) c D	8,68 (1,39) c C	7,11 (0,76) c B	6,29 (0,78) c A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Cuadro 4-56. Interacción sitio por posición radial para el hinchamiento máximo tangencial (%).

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	6,09 (0,62) a C	5,47 (0,96) a B	5,58 (0,86) a B	5,01 (0,52) a A
b	8,48 (0,94) b D	8,38 (1,23) b C	6,98 (0,77) b B	6,41 (0,89) b A
c	8,84 (1,17) c C	9,53 (1,66) c D	7,67 (0,89) c B	6,72 (0,89) c A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Los valores de CRt fueron superiores en LT y significativamente menores en el sitio MCh. El coeficiente de contracción tangencial aumentó en sentido médula-corteza en todos los sitios (Cuadro 4-57).

Cuadro 4-57. Interacción sitio por posición radial para el coeficiente de contracción tangencial (CR<sub>t</sub>).

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	0,25 (0,02) a C	0,22 (0,03) a B	0,22 (0,03) a B	0,19 (0,02) a A
b	0,33 (0,03) b D	0,29 (0,03) b C	0,27 (0,03) b B	0,26 (0,02) b A
c	0,33 (0,02) b C	0,32 (0,03) c C	0,29 (0,02) c B	0,27 (0,03) c A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

El PSFt fue significativamente mayor en LC, a excepción del correspondiente a su tejido próximo a la médula. El material correspondiente al sitio MCh fue el único que no manifestó cambios en el PSFt según las posiciones en el radio, los restantes sitios lo hicieron según el patrón de aumento médula-corteza ya mencionado (Cuadro 4-58).

Cuadro 4-58. Interacción sitio por posición en el radio para el punto de saturación de las fibras (%) en el esfuerzo tangencial.

Posición radial	LT	LC	CC	MCh
a	24,38 (2,00) a A	25,21 (2,24) a B	25,55 (2,01) a B	25,44 (2,60) a B
b	26,06 (1,74) b A	28,00 (2,39) b B	26,00 (1,93) ab A	24,87 (2,54) a A
c	26,80 (2,24) c B	29,33 (3,08) c C	26,56 (2,25) b B	25,39 (2,61) a A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Interacción altura por posición en el radio. La contracción y el hinchamiento máximos tangenciales, el coeficiente de contracción y el PSFt aumentaron en sentido médula a corteza en cada una de las alturas de muestreo, aumentos cuyas magnitudes se hacen menores hacia el extremo del fuste, de allí la interacción. Por otra parte, en sentido axial, se manifestaron leves disminuciones de estas propiedades desde la AP hacia el ápice, sea cual fuera la posición radial, excepto para el PSFt, que disminuyó axialmente sólo en el tejido próximo a la corteza (posición c), en tanto que en las restantes posiciones, el PSFt se mantuvo constante a lo largo del fuste (Cuadro 4-59, Cuadro 4-60, Cuadro 4-61, Cuadro 4-62).

Cuadro 4-59. Interacción altura por posición en el radio para la contracción máxima tangencial (%).

Altura	Base	AP	30% AT	50% AT
Posición				
a	5,37 (0,66) a B	5,49 (0,83) a B	5,09 (0,72) a A	5,04 (0,74) a A
b	7,34 (1,13) b B	7,17 (1,25) b B	6,63 (0,89) b A	6,81 (0,92) b AB
c	8,16 (1,73) c B	7,91 (1,39) c B	7,41 (1,25) c A	7,15 (1,02) c A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Cuadro 4-60. Interacción altura por posición en el radio para el hinchamiento máximo tangencial (%).

Altura	Base	AP	30% AT	50% AT
Posición				
a	5,67 (0,74) a B	5,82 (0,93) a B	5,37 (0,79) a A	5,31 (0,82) a A
b	7,94 (1,31) b B	7,74 (1,45) b B	7,12 (1,02) b A	7,32 (1,07) b AB
c	8,92 (2,04) c B	8,61 (1,64) c B	8,02 (1,47) c A	7,71 (1,19) c A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Cuadro 4-61. Interacción altura por posición en el radio para el coeficiente de contracción tangencial.

Altura	Base	AP	30% AT	50% AT
Posición				
a	0,23 (0,03) a B	0,23 (0,03) a B	0,21 (0,03) a A	0,22 (0,04) a AB
b	0,30 (0,04) b B	0,29 (0,04) b B	0,28 (0,03) b A	0,29 (0,04) b AB
c	0,32 (0,04) c B	0,31 (0,04) c B	0,30 (0,04) c B	0,29 (0,03) b A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

Cuadro 4-62. Interacción altura por posición en el radio para el punto de saturación de las fibras (%) en el esfuerzo tangencial.

Altura	Base	AP	30% AT	50% AT
Posición				
a	25,27 (1,95) a A	25,32 (2,04) a A	25,27 (2,67) a A	24,72 (2,27) a A
b	26,37 (2,62) b A	26,64 (2,52) b A	25,50 (2,00) a A	25,48 (1,73) b A
c	28,08 (4,06) c B	27,79 (2,84) c B	26,46 (2,37) b A	26,38 (2,34) b A

*Posición a interna, b intermedia, c externa.*

*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.*

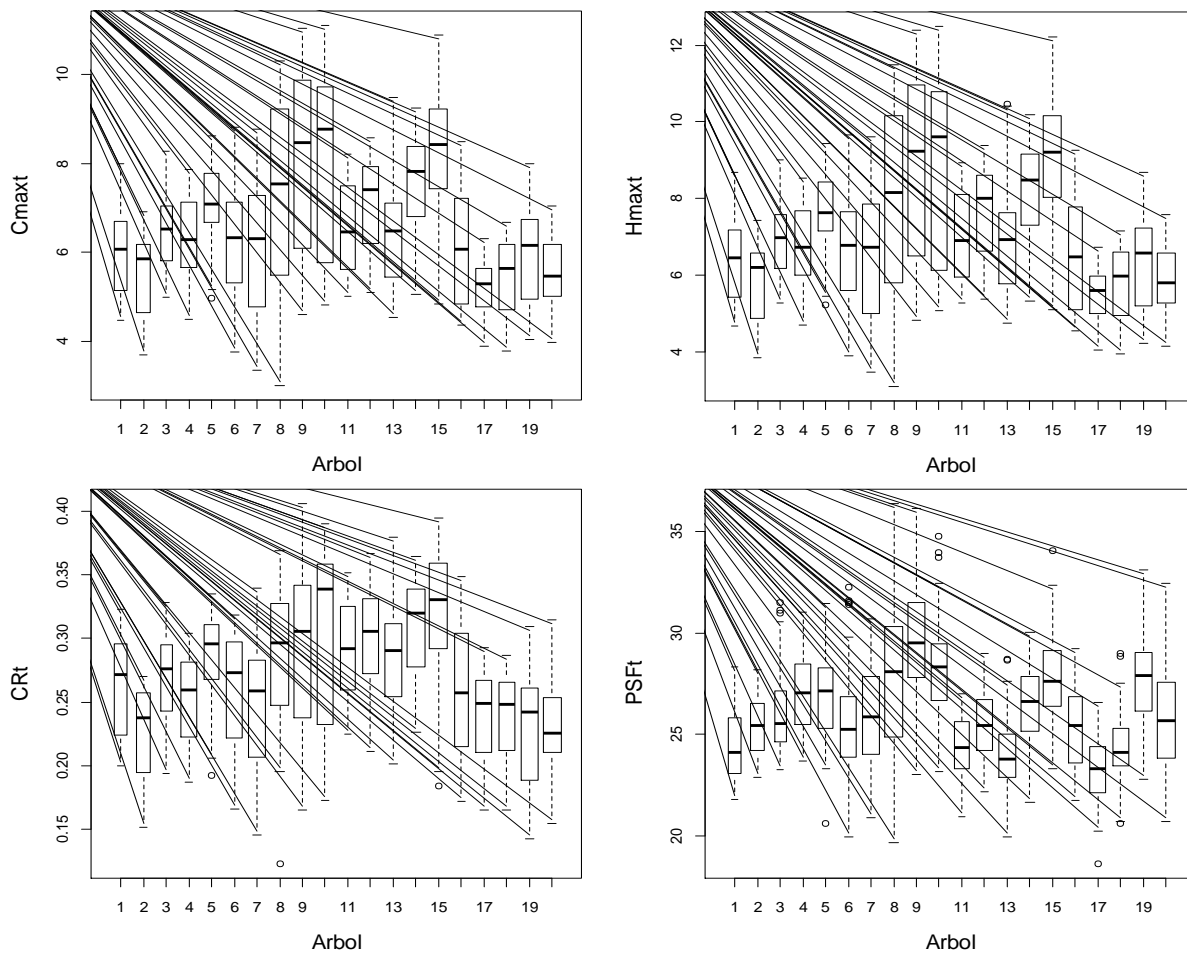
*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

La variación entre árboles en los cambios dimensionales tangenciales. La variación entre árboles, expresada cada propiedad como un promedio simple de los registros en el árbol, cubrió los siguientes rangos para el conjunto del material:  $C_{max_t}$  entre 8,1 % y 5,2 %;  $H_{max_t}$  entre 8,9 % y 5,5 %;  $CR_t$  entre 0,32 y 0,23 y  $PSF_t$  entre 29,9 % y 23,1 %.

El análisis de varianza (Cuadro 4-50) indicó como fuente de variación significativa al árbol dentro de sitio (el modelo estadístico consideró al árbol como anidado en el sitio).



La Figura 4-17 permite apreciar las diferencias en medianas, en simetría y en valores extremos que se manifestaron entre los árboles de un mismo sitio, para todas las propiedades. La alta variación entre árboles para las propiedades físicas y de resistencias mecánicas es reconocida en el recurso de *A. melanoxylon* tanto en Australia como en Nueva Zelanda. Asimismo se reconoce una escasa variación en sentido axial en comparación con la que ocurre en sentido médula corteza para todas estas propiedades (Haslett, 1986).



CC: 1 a 5; LC: 6 a 10; LT: 11 a 15; MCh: 16 a 20

Mediana.

Caja: 1er y 3er cuartil;

Línea vertical: máximo y mínimo ( ó 1,5 veces el rango inter-cuartil (3er – 1er cuartil), si hay outliers )

Figura 4-17. Variación de los árboles en el sitio para los cambios dimensionales tangenciales: contracción ( $C_{max_t}$ ) e hinchamiento ( $H_{max_t}$ ) tangenciales máximos, coeficiente de contracción tangencial ( $CR_t$ ) y punto de saturación de las fibras ( $PSF_t$ )

#### 4.2.5.3. ANISOTROPÍA DE LA CONTRACCIÓN MÁXIMA LINEAL Y DEL HINCHAMIENTO MÁXIMO LINEAL

Este análisis se desarrolló estructurando los datos según los valores promedio por altura en el árbol, tanto de la contracción como del hinchamiento en dirección radial y tangencial. Los valores promedio generales se indican en el Cuadro 4-63.

Cuadro 4-63. Valores promedio de anisotropía de la contracción (AC) y del hinchamiento (AH).

	AC	AH
<i>Media (n=73)</i>	1,87	1,94
<i>Desvío Estándar</i>	0,31	0,34
<i>Máximo</i>	2,49	2,64
<i>Mínimo</i>	1,18	1,19

Los coeficientes de anisotropía dimensional de la contracción y del hinchamiento resultaron, en promedio, de un valor levemente inferior a 2. Estos resultados se ubicaron en el rango para el que, según Coronel (1994) se espera un comportamiento normal en el secado. La madera de *A. melanoxylon* local presentó una estabilidad dimensional adecuada para usos sólidos (mueblería, carpintería de obra). Coincidentemente con nuestros resultados, se desprende de lo informado para la especie por Haslett (1986), un valor de anisotropía de la contracción (entre estado verde y 12 % de humedad) de 2; y de lo informado por Ananias (1989), valores de 2,12 a 2,20. Chowdhury *et al.* (2005) determinaron valores de anisotropía de 2 sobre otra especie del Género, *A. mangium* de Bangladesh, de edades entre 10 y 20 años con densidad básica de 560 kg/m<sup>3</sup>.

Considerando otras especies comerciales del mercado maderero argentino, la madera de *Prosopis nigra* “algarrobo negro” es muy conocida por su buena estabilidad dimensional y alta densidad, siendo utilizada en mueblería con gran aceptación en el mercado interno. Se han informado una anisotropía de 1,6; coeficientes de contracción

lineal de 0,12 (radial) y 0,81 (tangencial); y una densidad normal de 831 kg/m<sup>3</sup>, superior a la aquí determinada (Perpiñan y Pietrarelli, 1992; Coronel, 1994).

Otras especies exóticas comerciales argentinas, que ofrecen un material apreciado por su aptitud para usos en mueblería, carpintería de obra (aberturas, techos, pisos) y construcción, registran densidades normales y valores de anisotropía similares a los de *A. melanoxylon* (anisotropía de 1,4 para *Pinus elliottii* de Misiones y de 1,3 a 1,8 para *Eucalyptus grandis* de Entre Ríos) (González *et al.*, 1993; Calvo *et al.*, 2006).

El análisis de la varianza indicó como fuentes de variación significativas para estas propiedades a la interacción sitio por altura de muestreo, así como al árbol (Cuadro 4-64).

Cuadro 4-64. Fuentes de variación para la anisotropía de la contracción (AC) y del hinchamiento (AH) lineales máximos.

Fuente de Variación	AC	AH
<i>SITIO</i>	***	***
<i>ALTURA</i>	***	***
<i>SITIO x ALTURA</i>	*	*
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	***	***

\*\*\*:  $p < 0,001$ ; \*:  $0,01 < p < 0,05$ .

La interacción significativa se analizará a continuación mediante los Cuadros 4-65 y 4-66. Las anisotropías de la contracción y del hinchamiento fueron mayores en MCh, si bien estadísticamente esas diferencias frente a los otros sitios resultaron no significativas. Del mismo modo, podría adjudicarse a CC los menores valores de anisotropía (Cuadro 4-65, Cuadro 4-66).

Cuadro 4-65. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la anisotropía de la contracción lineal máxima.

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	2,03 (0,28) a A	2,00 (0,22) bc A	---	2,16 (0,20) a A
AP	2,04 (0,21) a A	2,12 (0,29) c AB	1,82 (0,23) a AC	2,15 (0,21) a AB
30% AT	1,79 (0,24) a AB	1,76 (0,27) ab AB	1,55 (0,15) a A	2,02 (0,22) a B
50% AT	1,74 (0,25) a BC	1,46 (0,25) a A	1,59 (0,40) a AB	1,85 (0,06) a C

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Cuadro 4-66. Interacción sitio por altura de muestreo en el fuste para la anisotropía del hinchamiento lineal máximo.

Altura de muestreo en el fuste	LT	LC	CC	MCh
Base	2,12 (0,31) b A	2,09 (0,25) bc A	----	2,23 (0,21) b A
AP	2,12 (0,24) b A	2,23 (0,33) c AB	1,88 (0,25) a A	2,29 (0,24) b B
30% AT	1,85 (0,26) ab B	1,82 (0,30) ab B	1,59 (0,16) a A	2,07 (0,24) ab B
50% AT	1,80 (0,29) a AB	1,50 (0,28) a A	1,63 (0,43) a A	1,93 (0,07) a B

Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); AT: altura total.

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

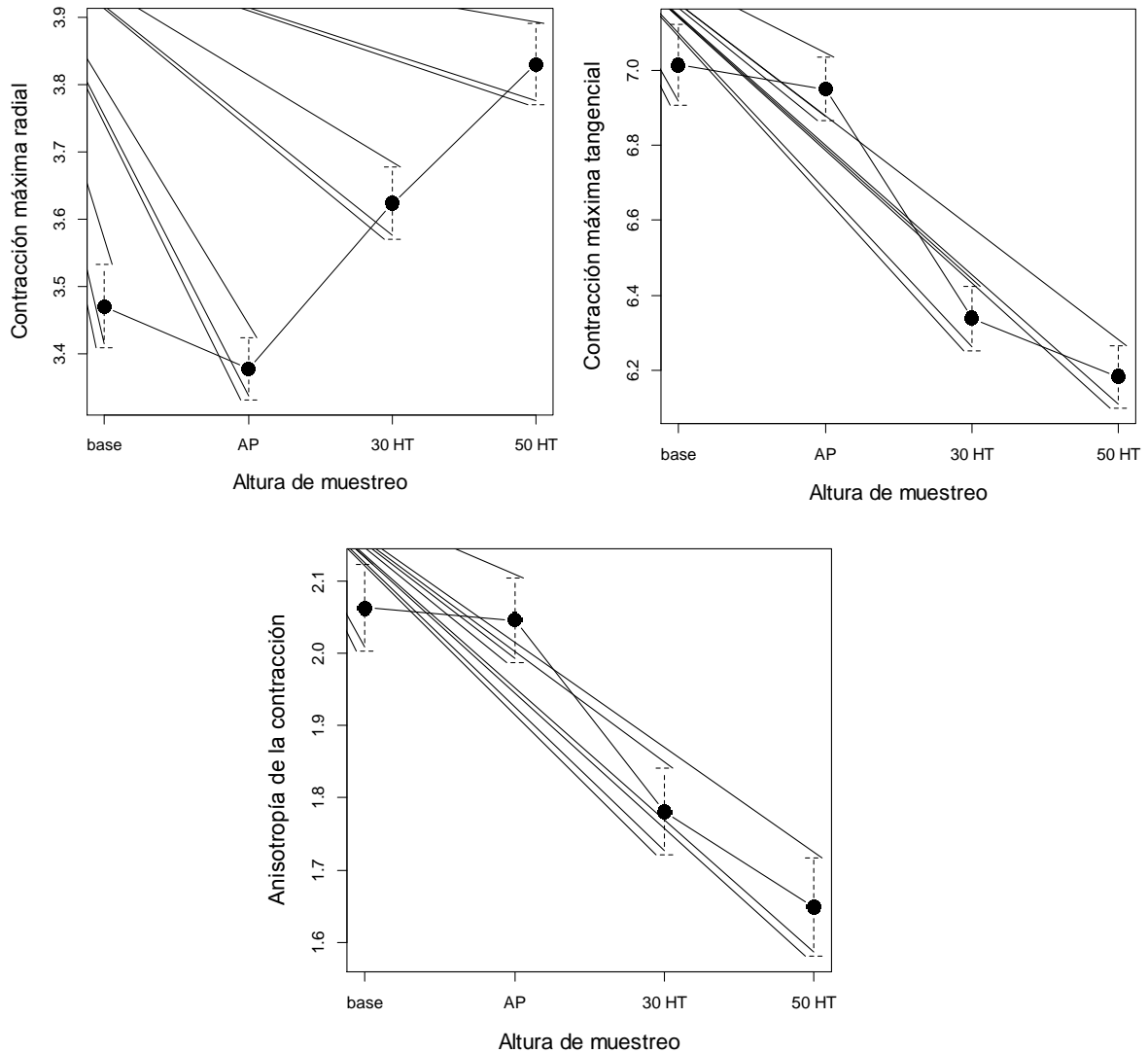
Entre paréntesis, desviación estándar.

Las letras mayúsculas se leen horizontalmente; las minúsculas, verticalmente.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.

Axialmente la anisotropía mostró algunas diferencias según los sitios, manifestando valores similares a lo largo del fuste o disminuciones significativas en la altura superior del mismo, esto último, más evidente para la anisotropía del hinchamiento (Cuadro 4-65, Cuadro 4-66). Esta tendencia axial de la anisotropía (cambio tangencial/cambio radial) de la contracción y del hinchamiento puede interpretarse a la luz de las tendencias generales que mostraron cada uno de dichos cambios: disminución hacia el

ápice, el tangencial; y aumento hacia el ápice, el radial. La Figura 4-18 permite apreciar estas relaciones en el caso de la contracción lineal máxima. La anisotropía de la contracción sigue la tendencia marcada por la contracción tangencial.



*Base: 0,3 m del suelo; AP: altura de pecho (1,3 m); 30HT:30% de la altura total;  
50HT: 50% de la altura total.*

Figura 4-18. Variación a lo largo del fuste de la contracción (en direcciones tangencial y radial) y de la anisotropía de la contracción lineal máxima. Barra vertical: error estándar de la media.

La variación de la anisotropía entre los árboles, expresada esta propiedad como un promedio simple de los registros en el árbol, cubrió los siguientes rangos para el conjunto del material: anisotropía de la contracción entre 1,36 y 2,24; anisotropía del hinchamiento entre 1,38 y 2,30. El análisis de varianza indicó como fuente de variación significativa al árbol dentro de sitio (Cuadro 4-64) y tal destacada variación se muestra en la Figura 4-19, en términos de las diferencias en medianas, en simetría y en valores extremos de anisotropía que se manifestaron entre los árboles de un mismo sitio.

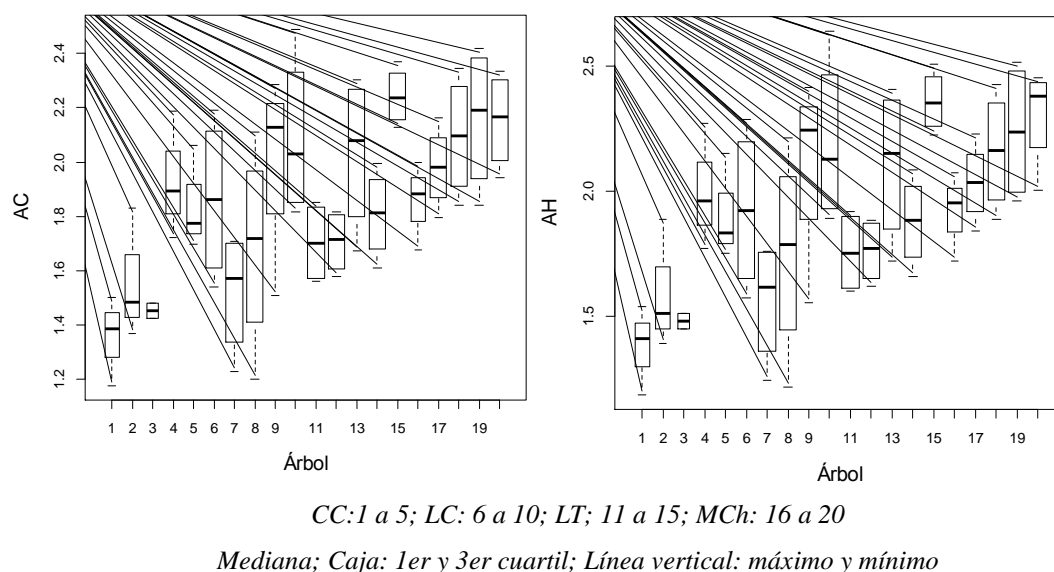


Figura 4-19. Variación de la anisotropía de la contracción (AC) y anisotropía del hinchamiento (AH) según los árboles dentro de sitio.

#### 4.2.5.4. RELACIONES LINEALES ENTRE LA DENSIDAD NORMAL Y LOS CAMBIOS DIMENSIONALES

Entre la densidad normal (al 12 % CH) y los atributos relativos a los cambios dimensionales se registraron correlaciones de magnitud y sentido diferentes. Las relaciones lineales fueron positivas y significativas con la contracción e hinchamiento máximos lineales y el coeficiente de contracción, en tanto que con la anisotropía y el punto de saturación de las fibras, la correlación no fue significativa. Las mayores

correlaciones fueron las manifestadas entre la densidad normal y los coeficientes de contracción (CR<sub>r</sub> y CR<sub>t</sub>) (Cuadro 4-67).

Cuadro 4-67. Correlación entre los cambios dimensionales y la densidad normal

Propiedad	r <sup>a</sup>	IC <sup>b</sup> para r		Valor p
AC	-0,207	-0,4173	0,0241	0,0787
AH	-0,193	-0,4050	0,0388	0,1019
Cmax <sub>r</sub>	0,652	0,4962	0,7669	***
Cmax <sub>t</sub>	0,575	0,3972	0,7108	***
Hmax <sub>r</sub>	0,649	0,4929	0,7651	***
Hmax <sub>t</sub>	0,571	0,3928	0,7082	***
CR <sub>r</sub>	0,749	0,6267	0,8350	***
CR <sub>t</sub>	0,721	0,5880	0,8154	***
PSF <sub>r</sub>	-0,094	-0,3170	0,1393	0,4229
PSF <sub>t</sub>	0,081	-0,1521	0,3052	0,4970

AC y AH: anisotropía dimensional de la contracción y del hinchamiento.

H max<sub>r</sub> y Hmax<sub>t</sub>: contracción e hinchamiento radiales máximos.

Cmax<sub>t</sub> y Hmax<sub>t</sub>: contracción e hinchamiento tangenciales máximos.

CR<sub>r</sub> y CR<sub>t</sub>: coeficientes de contracción radial y tangencial.

PSF<sub>r</sub> y PSF<sub>t</sub>: punto de saturación de las fibras en dirección radial y tangencial.

<sup>a</sup>: Coeficiente de correlación Pearson.

<sup>b</sup>: Intervalo de confianza al 95%.

\*\*\*:  $p < 0,001$

Se analizaron los ajustes de regresión lineal simple para la contracción e hinchamiento lineales máximos así como para el coeficiente de correlación, considerando a la densidad como variable independiente. Estos ajustes se caracterizaron por coeficientes ( $\beta_1$ ) significativos (distintos de cero) y menores que 1, como lo indican los respectivos intervalos de confianza (Cuadro 4-68). Se registraron valores de  $R^2$  entre 0,32 y 0,55.

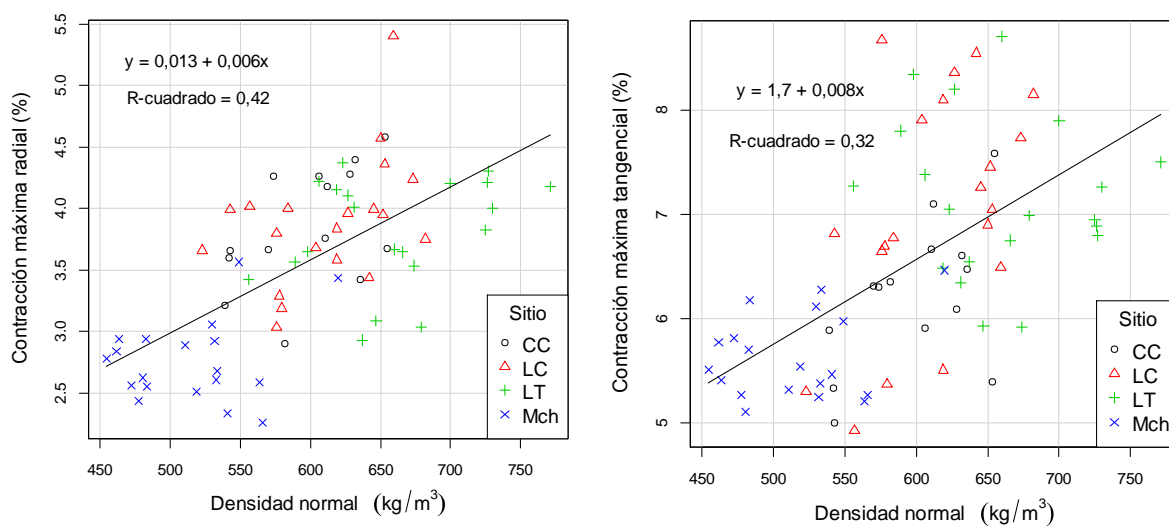
Los mejores ajustes fueron los que representan la relación lineal de los coeficientes de contracción tangencial y radial en función de la densidad normal. Estos modelos pueden apreciarse gráficamente en las Figuras 4-20, 4-21 y 4-22.

Cuadro 4-68. Parámetros de los modelos de regresión que representaron la relación lineal de las variables relativas a los cambios dimensionales en función de la densidad normal.

Variable dependiente	Estimación del Coeficiente $\beta_1$ y su significancia	IC para $\beta_1$		$R^2$ ajustado de los modelos
$C_{max_r}$	0,0059 ***	0.0043	0.0076	0,4168
$C_{max_t}$	0,0081 ***	0.0054	0.0108	0,3209
$H_{max_r}$	0,0064 ***	0.0047	0.0082	0,4135
$H_{max_t}$	0,0093 ***	0.0062	0.0125	0,3168
$CR_r$	0,0003 ***	0.0002	0.0003	0,5545
$CR_t$	0,0003 ***	0.0002	0.0004	0,5124

IC: Intervalo de Confianza al 95%

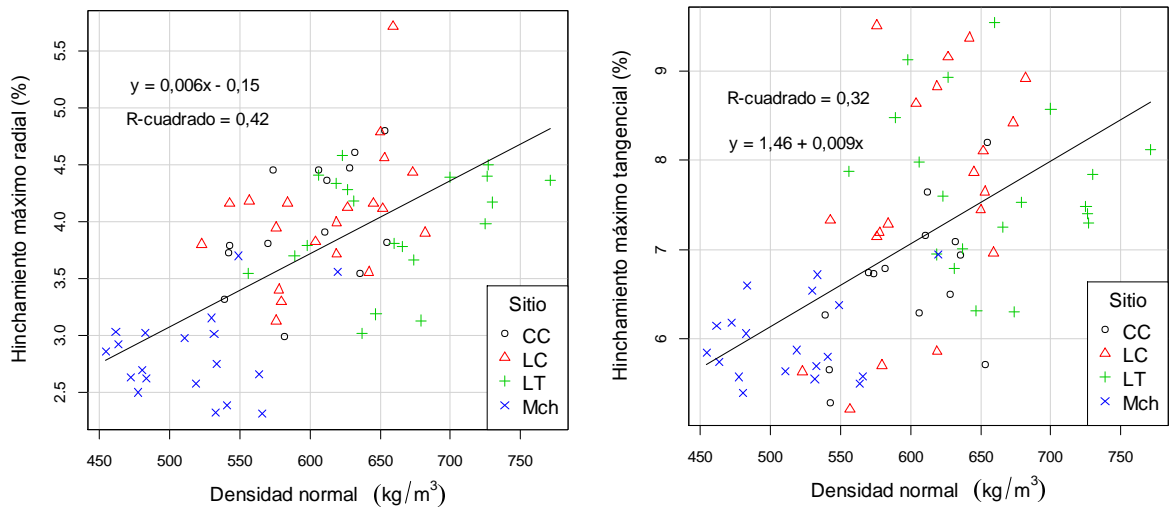
\*\*\*: valor  $p < 0,001$



CC: Cinco Cerros LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita.

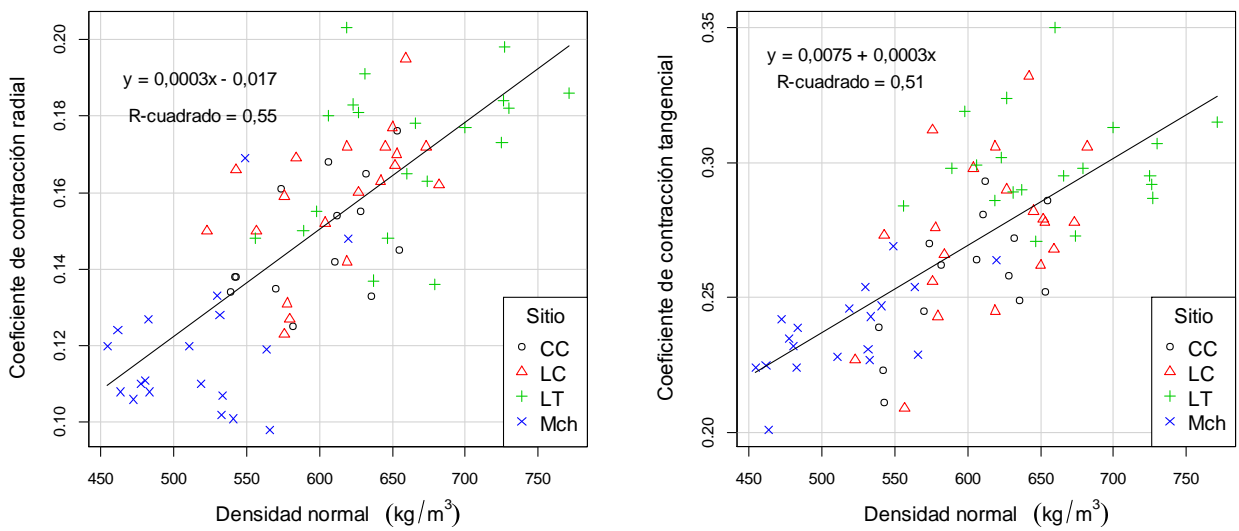
Figura 4-20. La contracción máxima lineal (radial y tangencial) en función de la densidad normal.





CC: Cinco Cerros LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita.

Figura 4-21. El hinchamiento máximo lineal (radial y tangencial) en función de la densidad normal.



CC: Cinco Cerros LC: Las Cortaderas; LT: Los Tuelches; MCh: Mar Chiquita.

Figura 4-22. El coeficiente de contracción lineal (radial y tangencial) en función de la densidad normal.

Los cambios dimensionales se relacionan con la densidad de la madera. El aumento volumétrico de la madera crece generalmente en forma proporcional con la densidad anhidra (Coronel, 1994). Estas relaciones han sido informadas en la literatura, si bien en otras especies. Pliura *et al.* (2005) determinaron correlaciones fenotípicas positivas y significativas entre la densidad básica y las contracciones transversales (radial y tangencial) en clones de álamos de 10 años en dos sitios de Canadá e informaron sobre otros autores que también las observaron.

#### 4.2.5.5. PRINCIPALES RESULTADOS SOBRE LOS CAMBIOS DIMENSIONALES DE LA MADERA Y SU VARIACIÓN

##### Cambios dimensionales en dirección radial

La contracción e hinchamiento máximos en dirección radial fueron significativamente menores en el sitio MCh, no registrándose diferencias entre los sitios restantes. MCh presentó, además, el menor valor de coeficiente de contracción radial y punto de saturación de las fibras. Los sitios restantes difirieron en sus CRr (LT el mayor) y en sus PSFr (CC el mayor).

Hubo una tendencia general a aumentar Cmaxr, Hmaxr, CRr y PSFr hacia el ápice, manifestándose constancia en los valores de estas propiedades dentro de la región base-30 %AT, y aumentándolos en el extremo superior del fuste. Esta tendencia se manifestó en cada sitio, con leves diferencias en ellos.

La tendencia axial de las cuatro propiedades se manifestó similarmente tanto en tejidos próximos a la médula como en los próximos a la corteza. Radialmente el material no se diferenció en el valor de sus propiedades, a excepción de MCh donde éstas fueron de mayor valor en los tejidos cercanos a la médula.

##### Cambios dimensionales en dirección tangencial.

La contracción e hinchamiento máximos en dirección tangencial fueron significativamente menores en el sitio MCh. Los mayores correspondieron a LT y LC, que no difirieron entre ellos. MCh registró también los menores valores de coeficiente

de contracción tangencial y punto de saturación de las fibras. Los sitios restantes difirieron en sus CRt (LT el mayor) y en sus PSFt (LC el mayor).

Contrariamente a lo manifestado en los cambios dimensionales radiales, las propiedades relacionadas a los cambios tangenciales disminuyeron sus valores hacia el extremo superior del fuste, manifestándose mayormente una constancia en los mismos dentro de la región base-AP. Esta tendencia general se manifestó con ciertas diferencias entre los sitios, siendo notoria la inexistente variación axial de la contracción e hinchamiento en MCh, y, en ese sitio, el aumento hacia el ápice del PSF<sub>t</sub>. La tendencia general axial también manifestó ciertas diferencias según la posición radial de que se tratase. Contrariamente a lo sucedido en los cambios dimensionales radiales, el material mostró diferencias significativas en el valor de sus propiedades según la posición en el radio. Todas las propiedades tuvieron sus valores mínimos en tejidos cercanos a la médula y los máximos en la proximidad de la corteza. Este patrón fue contundente, manifestándose en cada sitio y en cada altura del fuste.

#### Anisotropía de la contracción e hinchamiento máximos lineales

El material del sitio MCh, que presentó los menores valores de contracción e hinchamiento máximos lineales, registró los mayores valores de anisotropía (AC y AH). Axialmente la anisotropía mostró algunas diferencias según los sitios, manifestando constancia a lo largo del fuste o disminuciones significativas en la altura superior del mismo, esto último más evidente para la anisotropía del hinchamiento.

#### Relaciones entre los cambios dimensionales y la densidad normal

La contracción e hinchamiento tanto en dirección radial como tangencial, así como el coeficiente de contracción fueron las propiedades que estuvieron correlacionadas positiva y significativamente con la densidad. Los materiales extremos del rango de densidad aquí estudiado LT (843 kg/m<sup>3</sup>; DE: 72 kg/m<sup>3</sup>) y MCh (663 kg/m<sup>3</sup>; DE: 53 kg/m<sup>3</sup>) evidenciaron claramente esta relación entre ellos.

*A. melanoxyton* mostró localmente cambios dimensionales del orden de lo informado para ella y para otras especies exóticas comerciales argentinas, valoradas por su aptitud para usos en mueblería, carpintería de obra (aberturas, techos, pisos) y construcción: *P. elliotii*, *E. grandis* (de densidades similares) y *P. nigra* (de mayor densidad).

#### 4.2.6. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA

##### 4.2.6.1. RESULTADOS GENERALES

Los resultados generales obtenidos para las propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon* se indican en el Cuadro 4-69. Teniendo en cuenta que conforme a la moderna tendencia internacional las propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de flexión son consideradas las más importantes, y de ellas, junto a la densidad, pueden ser derivadas las restantes (Glos 1995a, EN 338 2010, EN 384 2010), así como que el módulo de elasticidad obtenido del ensayo de flexión se considera representativo del comportamiento elástico de la madera también cuando es sometida a tracción y compresión paralela a las fibras (EN 1995-1-1, NDS 2005), en el Cuadro 4-69 se presentan los resultados correspondientes a la tensión en el límite de proporcionalidad y el módulo de elasticidad sólo del ensayo de flexión estática.

Las probetas exhibieron al momento del ensayo los contenidos de humedad y valores de densidad que se indican en el Cuadro 4-70. En este cuadro puede apreciarse que los valores medios del contenido de humedad para las muestras varían en el rango comprendido entre 12% y 13,2%, es decir que son prácticamente coincidentes con el valor de equilibrio higroscópico de la madera ubicada en el clima denominado normal para la realización de ensayos mecánicos (20°C de temperatura y 65% de humedad relativa ambiente). Este contenido de humedad normalizado garantiza la obtención de resultados comparables en el plano nacional e internacional y ha sido adoptado por sistemas de equivalencias y criterios para la obtención de los valores característicos de las propiedades que han adquirido relieve internacional (EN 338, 2010; EN 384, 2010) y que actualmente están adquiriendo vigencia en nuestro país (IRAM 9664, en trámite final de aprobación). Por otra parte, la presencia de coeficientes de variación del contenido de humedad que fluctúan entre el 3% y el 9% confirman que puede descartarse la existencia de una desigual influencia de esta variable sobre las propiedades mecánicas obtenidas en este estudio.

Cuadro 4-69. Valores promedio y variación para las propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon*.

Ensayo	Propiedad	Mín. MPa	VM MPa	Máx. MPa	DE MPa	CV %
<i>Flexión Estática</i> (n=158)	Tensión en el límite de proporcionalidad	13,1	37,7	73,0	12,7	34
	Tensión de rotura	52,8	89,9	149,1	19,7	22
	Módulo de elasticidad	6249	10926	16891	2609	24
<i>Compresión paralela</i> (n=287)	Tensión de rotura	24,3	44,9	68,2	8,7	19
<i>Compresión perpendicular</i> (n=19)	Tensión de rotura	6,7	11,7	20,1	3,6	30
<i>Corte paralelo</i> (n=40)	Tensión de rotura	8,4	11,6	16,3	1,8	15
<i>Dureza Janka<sup>(1)</sup></i> (n=31)	Superficie radial	20,5	40,4	82,9	13,4	33
	Superficie tangencial	26,7	41,8	75,5	12,5	30
	Superficie transversal	35,7	53,6	88,4	11,9	22
	Promedio	29,6	45,3	82,3	11,9	26

<sup>(1)</sup> expresada como tensión de penetración de la esfera, cuya semiesfera proyecta horizontalmente un área de 100 mm<sup>2</sup>.

Mín.: mínimo; Máx.: máximo.

VM: valor medio.

DE: desviación estándar.

CV: coeficiente de variación.

Cuadro 4-70. Contenido de humedad y densidad de las probetas correspondientes a los estudios mecánicos, al momento de los ensayos.

Ensayo	Propiedad	VM	DE	CV (%)
<i>Flexión Estática</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	560	83,8	15
	Humedad (%)	12,6	0,62	5
<i>Compresión paralela</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	542	77,1	14
	Humedad (%)	12,0	1,1	9
<i>Compresión perpendicular</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	562	84	15
	Humedad (%)	13,2	0,52	4
<i>Corte Paralelo</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	550	94,6	17
	Humedad (%)	12,6	0,39	3
<i>Dureza Janka</i>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	561	75,6	14
	Humedad (%)	13,2	0,7	5

VM: valor medio; DE: desviación estándar; CV: coeficiente de variación

Santos *et al.* (2005) han informado para *A. melanoxylon* en Portugal valores promedio más elevados de tensión de rotura en flexión (146 MPa), módulo de elasticidad en flexión (14200 MPa) y tensión de rotura en compresión paralela (61 MPa), sobre un material al 12% de CH y de mayor densidad normal promedio que el investigado aquí (650 kg/m<sup>3</sup> en Portugal vs. 600,5 kg/m<sup>3</sup> en nuestro recurso). El material investigado en este Trabajo de Tesis resultó menos resistente y también presentó menor rigidez evidenciada por un menor módulo de elasticidad (Cuadro 4-69), lo cual es congruente con reportes previos para madera aserrada de coníferas y de latifoliadas (Glos 1995a, EN 338 2010, NDS 2005).

Autores chilenos, en relación con investigaciones sobre la especie en plantaciones de dicho país, han informado valores de dureza transversal (42,9 MPa), de resistencias en flexión estática (124 MPa) y en compresión paralela (60,1 MPa y 48,7 MPa) en materiales de densidad normal similar a la del presente trabajo (569 kg/m<sup>3</sup>) (INFOR-CONAF, 1997). El material local resultó algo menor en resistencia a la flexión y compresión paralela, aunque de similar dureza (Cuadro 4-69).

Campos *et al.* (1990), también informaron en Chile, sobre 21 árboles de entre 25 y 65 años y de una densidad normal promedio de  $822 \text{ kg/m}^3$ , los siguientes valores para las propiedades resistentes y elásticas en la especie: tensión de rotura en flexión estática (69,1MPa) y módulo de elasticidad en flexión estática (13156 MPa); tensiones de rotura en compresión paralela (30,5 MPa) y perpendicular (9,0 MPa) y dureza transversal (42,1 MPa). En esta comparación, el material estudiado en este trabajo resultó más resistente y duro (Cuadro 4-69) aunque, curiosamente si se tienen en cuenta los antecedentes internacionales referidos a las relaciones existentes entre las propiedades de resistencia y de rigidez (Glos 1995a, EN 338 2010, NDS 2005), exhibe un menor módulo de elasticidad que el reportado por Campos *et al.* (1990). En este aspecto es importante destacar que, sobre material de 10 árboles de la especie, de 16-18 años de edad y densidad básica de  $456 \text{ kg/m}^3$ , es decir menor que la obtenida en el presente trabajo ( $517 \text{ kg/m}^3$ ), a su vez empleando las mismas normas que en el presente estudio, Espinosa U. (1997) en Chile, también informó un módulo de elasticidad del orden de lo indicado por Campos *et al.* (1990) con un valor de 13714 MPa.

Teniendo en cuenta los objetivos de la presente investigación, resulta de interés comparar los valores de las propiedades mecánicas y de la densidad presentados en los Cuadros 4-69 y 4-70 con otros publicados previamente para otras especies cultivadas en el país y cuya aceptación como producto de calidad para el aserrado, industria del mueble y de la construcción se encuentra en constante evolución. En este aspecto se puede destacar la madera de *Eucalyptus grandis* cultivado en las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones (INTA, 1995), especie para la cual se han reportado resultados de propiedades mecánicas obtenidas de ensayos ejecutados sobre cuerpos de prueba pequeños y libres de defectos, y en consecuencia comparables con los presentados en este trabajo.

El valor medio obtenido en esta investigación para la tensión de rotura en flexión (89,9 MPa) es 43% mayor que el de 62,9 MPa publicado por Belvisi *et al.* (1998) a partir de una serie de 55 ensayos con probetas de *Eucalyptus grandis* llevados a cabo conforme a los procedimientos adoptados por la norma IRAM 9545 (1985). Los mismos autores publicaron valores medios de 35,8 MPa, 7,7 MPa, 9,5 MPa y 32,9 MPa para la resistencia a compresión paralela a las fibras, la resistencia a compresión perpendicular a las fibras, la resistencia al corte y la dureza Janka, respectivamente. Cuando se

compara estos valores con los presentados en el Cuadro 4-69 se verifica que los valores medios obtenidos en este trabajo son 25%, 52%, 22% y 38% mayores, respectivamente, que los reportados en la publicación mencionada anteriormente. Sánchez Acosta *et al.* (1985) publicaron valores medios para una serie de 18 ensayos a flexión estática realizados conforme a la norma ASTM D 143 (2007) sobre probetas de *E. grandis* cultivado en la Mesopotamia Argentina que alcanzan 50,9 MPa para la tensión en el límite de proporcionalidad, 71,8 MPa para la tensión de rotura y 9648 MPa para el módulo de elasticidad. En este caso, el valor medio de la tensión en el límite de proporcionalidad publicado es superior al obtenido en este estudio (37,7 MPa) pero el publicado para el módulo de elasticidad es inferior al determinado en esta investigación (10926 MPa).

En relación con la densidad, los valores presentados en el Cuadro 4-70 son levemente mayores que los reportados para el *Eucalyptus grandis* de Argentina y de Uruguay. Piter *et al.* (2004a, 2004b) publicaron un valor medio de 540 kg/m<sup>3</sup> obtenido sobre una muestra de 349 cuerpos de prueba con un contenido de humedad normal (12%). Pérez del Castillo (2001) reportó valores medios oscilando entre 548 kg/m<sup>3</sup> y 559 kg/m<sup>3</sup> para muestras de la misma especie cultivada en la República Oriental del Uruguay y con un contenido de humedad del 12%.

Estos resultados muestran un excelente comportamiento mecánico de la especie investigada en comparación con el de la madera de *Eucalyptus grandis*, la cual puede ser considerada una importante referencia por su desarrollo actual y su potencialidad futura en el mercado nacional e internacional (INTA, 1995). Por su parte, el hecho de poseer un valor medio de la densidad normal superior al correspondiente al *Eucalyptus grandis* indica que la madera de *Acacia melanoxylon* del sudeste de la Provincia de Buenos Aires puede desempeñarse satisfactoriamente en aplicaciones de alto valor agregado como la ejecución de pisos. Esta aseveración se fundamenta en que los pisos de *E. grandis* han adquirido una importante difusión en el país y han sido profusamente investigados en cuanto a su comportamiento mecánico (Calvo *et al.*, 2005). Asimismo, considerando otra especie comercial del mercado maderero argentino, *Prosopis nigra* “algarrobo negro”, que, como se dijo antes, es utilizada con gran aceptación en mueblería y otros usos como pisos, se ha informado una densidad de 820 kg/m<sup>3</sup>, un valor de tensión de rotura en flexión de 106,9 MPa, un módulo de elasticidad en flexión



de 8419 MPa, tensión de rotura en compresión paralela de 55,9 MPa y una dureza transversal de 116 ,6 MPa (Coronel, 1995). La madera de *A. melanoxylon* de la provincia de Buenos Aires exhibió en este estudio características resistentes similares en flexión y compresión paralela, mostrando a su vez mayor rigidez -evidenciada por un módulo de elasticidad más elevado-, aunque valores notoriamente menores para la dureza y la densidad.

#### 4.2.6.2. LA VARIACIÓN EN EL COMPORTAMIENTO ELÁSTICO Y RESISTENTE EN FLEXIÓN ESTÁTICA

Las propiedades analizadas en el trabajo a la flexión estática, tensión en el límite de la proporcionalidad ( $TLP_f$ ), Módulo de elasticidad ( $MOE_f$ ) y tensión de rotura ( $TR_f$ ) variaron significativamente con el sitio como se aprecia en el Cuadro 4-71. En tanto la variación debida a los árboles en el sitio fue significativa sólo para  $MOE_f$  y  $TR_f$ .

Cuadro 4-71. Fuentes de variación para las propiedades en flexión estática.

Fuente de Variación	$TLP_f$ (MPa)	$MOE_f$ (MPa)	$TR_f$ (MPa)
<i>SITIO</i>	***	***	***
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	ns	***	***

*TLP<sub>f</sub>*: tensión en el límite de proporcionalidad; *MOE<sub>f</sub>*: módulo de elasticidad;

*TR<sub>f</sub>*: tensión de rotura.

ns: no significativa ; \*\*\*:  $p < 0,001$ .

Las diferencias significativas entre sitios, para las tres propiedades, implicaron siempre los máximos valores en LT y los mínimos en MCh (Cuadro 4-72; Figura 4-23). Estos sitios representaron a su vez el máximo y mínimo valor promedio de densidad normal, como ya se mencionó (Figura 4-11; Cuadros 4-32 y 4-33). Podría indicarse a los sitios LC y CC como de valores intermedios en las tres propiedades, no difiriendo en  $MOE_f$  y  $TR_f$ .

Cuadro 4-72. Variación entre sitios para las propiedades en flexión estática. Valores promedio.

Sitio	TLP <sub>f</sub> (MPa)	MOE <sub>f</sub> (MPa)	TR <sub>f</sub> (MPa)
LT (n=21)	57,5 (8,6) d	14045 (1839) c	117,6 (17,6) c
LC (n=24)	45,5 (10,2) c	12390 (1882) b	100,2 (10,8) b
CC (n=39)	36,9 (11,1) b	12155 (1809) b	96,7 (15,7) b
MCh (n=74)	29,8 (5,8) a	8918 (1580) a	75,1 (9,1) a

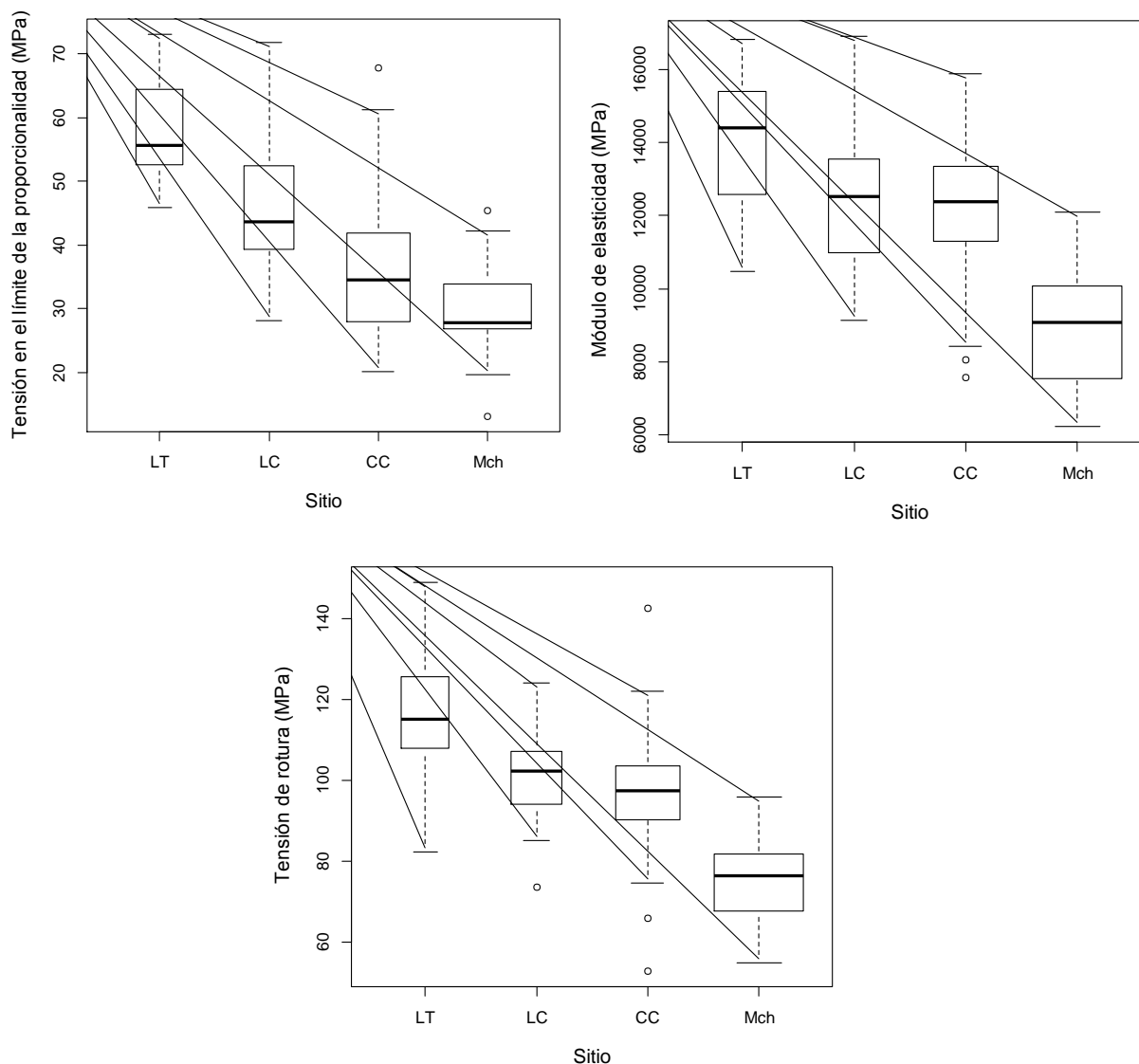
*TLP<sub>f</sub>: tensión en el límite de proporcionalidad; MOE<sub>f</sub>: módulo de elasticidad; TR<sub>f</sub>: tensión de rotura.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras se leen verticalmente. Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

El análisis de los valores presentados en el Cuadro 4-72 para los distintos sitios y su comparación con los resultados obtenidos para la densidad aparente (ver apartado 4.2.3) indican claramente que existe relación entre las propiedades resistentes (tensión en el límite de proporcionalidad y tensión de rotura) y de rigidez (módulo de elasticidad) con la densidad.

Los mayores valores de las propiedades de resistencia y rigidez corresponden al sitio Los Tuelches, el cual a su vez presentó los mayores niveles de densidad normal (Cuadro 4-32 y Figura 4-11 del apartado 4.2.3). Por su parte, al sitio Mar Chiquita, que exhibió los menores valores para la densidad normal, le corresponden también los más bajos resultados para las propiedades mecánicas.



*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita*  
*Mediana; Caja: 1er y 3er cuartil; Línea vertical: máximo y mínimo*  
*ó 1,5 veces el rango inter-cuartil si hay outliers.*

Figura 4-23. Variación entre sitios para las propiedades en flexión estática. Medianas.

Las propiedades elásticas y de resistencia a la flexión estática según las alturas en el fuste, región AP-30% AT y región 30-50% AT, si bien no analizadas como fuente de variación en el ANOVA (Capítulo 3, apartado 3.2.8, modelo [28]), mostraron los valores que se indican en el Cuadro 4-73. Allí también se indican los resultados del test-t para muestras independientes que permitió analizar la significancia estadística de las diferencias entre las medias de las dos regiones en el fuste. Para todas las propiedades, tal diferencia resultó no significativa a nivel del 1%.

Cuadro 4-73. Variación dentro del fuste para las propiedades en flexión estática.

Altura en el fuste	TLP <sub>f</sub> (MPa)	MOE <sub>f</sub> (MPa)	TR <sub>f</sub> (MPa)
AP – 30% AT (n=112)	37 (13)	10925 (2760)	91 (20)
30% - 50% AT (n=46)	39 (11)	10926 (2226)	88 (20)
Test-t, valor p	0,344	0,990	0,466

*TLP<sub>f</sub>: tensión en el límite de proporcionalidad; MOE<sub>f</sub>: módulo de elasticidad; TR<sub>f</sub>: tensión de rotura.  
AP: altura del Pecho (1,3m sobre nivel del suelo); AT: altura total.  
Entre paréntesis, desviación estándar.*

#### 4.2.6.3. LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN PARALELA

La propiedad analizada en el trabajo a la compresión paralela, tensión de rotura (TR), varió significativamente con el sitio como se aprecia en el Cuadro 4-74. Asimismo lo fue la variación debida a los árboles en el sitio. No resultaron significativas ni la altura en el fuste ni la interacción sitio por altura.

Cuadro 4-74. Fuentes de variación para la tensión de rotura (TR) en compresión paralela a las fibras. Valores medios.

Fuente de Variación	TR (MPa)
<i>SITIO</i>	***
<i>ALTURA</i>	ns
<i>SITIO X ALTURA</i>	.
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	***

*ns: no significativa;*

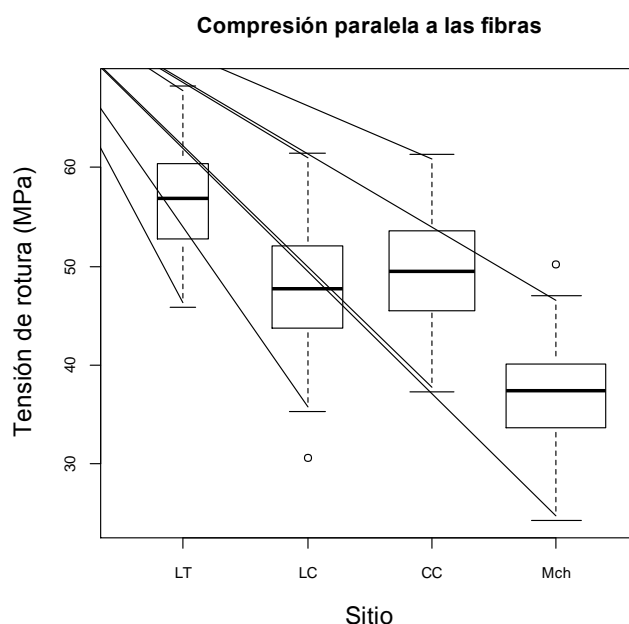
*\*\*\* :  $p < 0,001$ ; . :  $0,05 < p < 0,01$ .*

Las diferencias significativas entre sitios, implicaron el máximo valor de resistencia en el trabajo a compresión paralela para LT y el mínimo en MCh (Cuadro 4-75; Figura 4-24). LC y CC registraron valores intermedios de la propiedad y similares entre sí. Estos resultados son congruentes con las diferencias encontradas para los valores de la densidad normal de los distintos sitios, como ya se mencionó anteriormente.

Cuadro 4-75. Variación entre sitios para la tensión de rotura (TR) en compresión paralela a las fibras. Valores medios.

Sitio	TR (MPa)
LT (n=29)	56,7 (6,6) c
LC (n=58)	47,7 (6,4) b
CC (n=86)	49,2 (5,8) b
MCh (n=114)	37,1 (4,4) a

Entre paréntesis, desviación estándar. Las letras leen verticalmente. Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.



LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita  
Caja: 1er y 3er cuartil; Línea vertical: máximo y mínimo

Figura 4-24. Variación entre sitios de la tensión de rotura en compresión paralela a las fibras. Medianas.

#### 4.2.6.4. LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA EN CORTE PARALELO

La tensión de rotura (TR), varió significativamente con el sitio como se aprecia en el Cuadro 4-76, y no resultó así la variación debida a los árboles en el sitio. Frente a este esfuerzo, y en línea con lo expresado más arriba en referencia a las propiedades mecánicas de flexión y compresión paralela a las fibras, nuevamente LT y MCh resultaron con la máxima y mínima resistencia, respectivamente (Cuadro 4-77; Figura 4-25)

Cuadro 4-76. Fuentes de variación para la tensión de rotura (TR) en corte paralelo a las fibras.

Fuente de Variación	TR (MPa)
<i>SITIO</i>	***
<i>ÁRBOL(SITIO)</i>	ns

*ns: no significativa; \*\*\* :  $p < 0,001$*

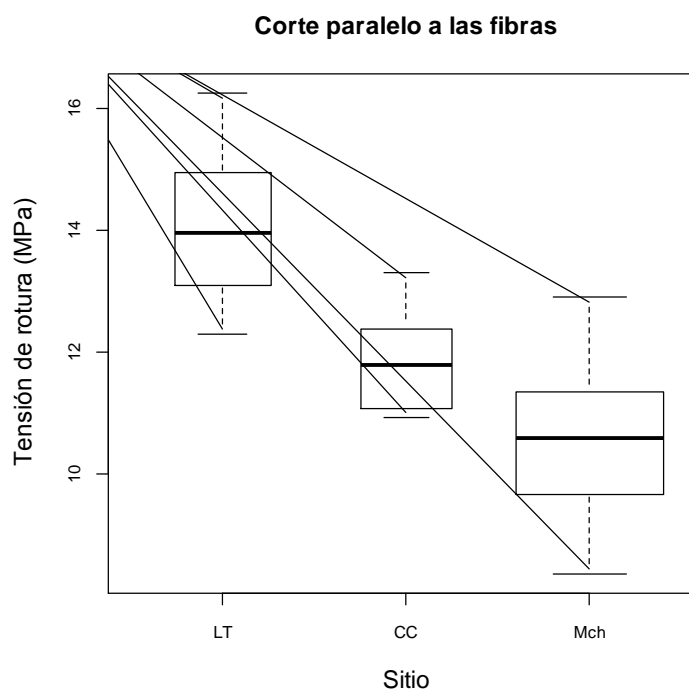
Cuadro 4-77. Variación entre sitios para la tensión de rotura (TR) en corte paralelo a las fibras. Valores medios.

Sitio	TR (MPa)
LT (n=9)	14 (1,3) c
LC (n=2)	12 (1,3) b
CC (n=8)	12 (0,8) b
MCh (n=21)	10 (1,1) a

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita. Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Las letras leen verticalmente.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*



*LT: Los Tuelches; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.  
Caja: 1er y 3er cuartil; Línea vertical: máximo y mínimo.*

Figura 4-25. Variación entre sitios para la tensión de rotura en corte paralelo a las fibras. Medianas.

Las alturas en el fuste, región AP-30% AT y región 30%-50% AT, si bien no fueron analizadas en el ANOVA como fuente de variación (Capítulo 3, apartado 3.2.8, modelo [30]), mostraron valores diferentes de tensión de rotura. La región basal mostró mayor resistencia al corte paralelo (12,3 MPa; DE: 2 MPa ) que la región superior del fuste (10,6 MPa; DE: 1 MPa ). El test-t para muestras independientes que permitió compararlas, indicó a estas medias como diferentes al nivel del 1% (valor  $p=0,00166$ ).

#### 4.2.6.5. LA VARIACIÓN EN LA PROPIEDAD DE DUREZA

La propiedad de dureza expresada como tensiones de penetración radial, tangencial, longitudinal o axial y promedio, varió entre los sitios tal como se indica en el Cuadro 4-78 y Figura 4-26. El análisis de la varianza, desarrollado con la tensión de penetración promedio, mostró como fuente significativa de variación al sitio ( $p<0,001$ ). La madera de los sitios LT y MCh resultaron, respectivamente, de la máxima y mínima dureza, en

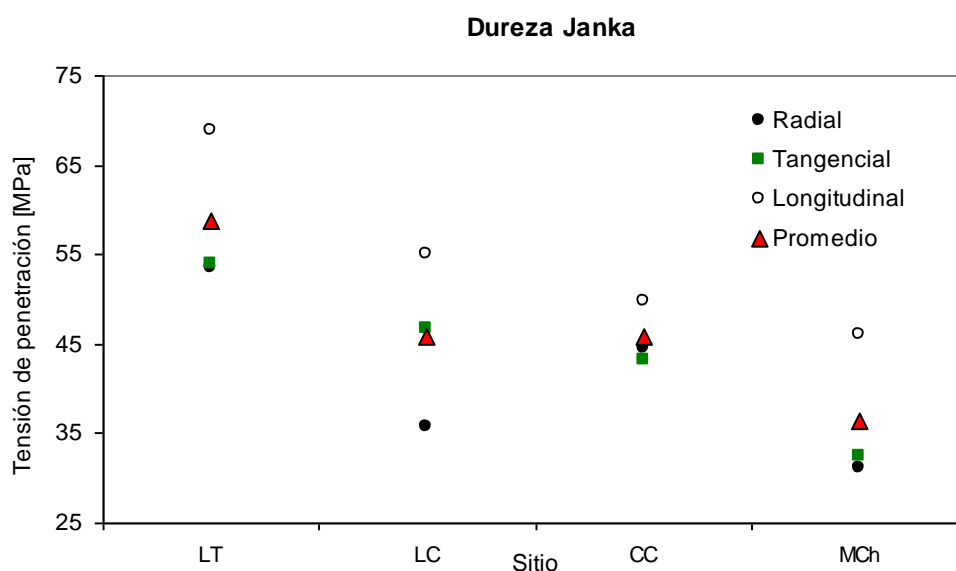
tanto en LC y CC, los valores de dureza fueron intermedios y similares entre sí. Estos resultados son congruentes con los valores de la densidad normal presentados en el apartado 4.2.3 y con la elevada relación encontrada entre la densidad y la dureza encontrada en esta investigación. En este aspecto es de señalar que el coeficiente de correlación entre ambas propiedades, considerando la dureza promedio, alcanzó el valor de 0,93 (ver el Cuadro 4-79 presentado más adelante).

Cuadro 4-78. Dureza. Variación entre sitios de las tensiones de penetración (MPa). Valores medios.

Tensión de penetración	Radial	Tangencial	Axial	Promedio
LT (n=8)	53,5 (14)	54,0 (13)	68,8 (11)	58,8 (12) c
LC (n=3)	35,7 (7)	46,8 (6)	55,0 (3)	45,9 (5) b
CC (n=7)	44,6 (12)	43,2 (11)	49,8 (6)	45,9 (9) b
MCh (n=13)	31,1 (6)	32,4 (4)	46,0 (5)	36,5 (4) a

LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.  
Entre paréntesis, desviación estándar.

Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.



LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.

Figura 4-26. Dureza. Variación entre sitios de las tensiones de penetración (MPa).



Las alturas en el fuste, región AP-30% AT y región 30% AT -50% AT, que tampoco fueron analizadas en el ANOVA referido a esta propiedad, mostraron valores diferentes en la tensión de penetración. La región más basal mostró mayor dureza (48,6 MPa; DE: 12 MPa) que la región superior del fuste (40,3 MPa; DE: 11 MPa). El test-t para muestras independientes, que permitió compararlas, indicó a estas medias como diferentes al nivel del 5% (valor  $p=0,0466$ ).

#### 4.2.5.6 LAS RELACIONES ENTRE LA DENSIDAD Y LAS PROPIEDADES RESISTENTES, Y ENTRE EL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y LA RESISTENCIA A FLEXIÓN

Entre la densidad normal y las resistencias a las diferentes sollicitaciones se registraron correlaciones positivas y significativas que pueden apreciarse en el Cuadro 4-79. Todos los coeficientes de correlación resultaron de altos valores, comprendidos en el rango 0,83 – 0,93.

Cuadro 4-79. Correlación entre la densidad normal y las propiedades de resistencia y de dureza de la madera.

Propiedades	r	IC para r
TR flexión / densidad	0,88 *	0,84 – 0,91
TR corte / densidad	0,85 *	0,74 – 0,92
TR compresión paralela / densidad	0,87 *	0,84 – 0,89
TR compresión perpendicular / densidad	0,90 *	0,76 – 0,96
Dureza Longitudinal / densidad	0,83 *	0,68 – 0,92
Dureza radial / densidad	0,87 *	0,75 – 0,94
Dureza tangencial / densidad	0,93 *	0,85 – 0,96
Dureza promedio / densidad	0,93 *	0,86 – 0,97

*r*: Coeficiente de correlación Pearson.

\*valor  $p$  del coeficiente  $r < 0,001$ .

IC: Intervalo de confianza al 95%.

TR: tensión de rotura

El valor del coeficiente de correlación entre la densidad y la resistencia a flexión (0,88) resulta muy elevado en comparación con el reportado para el *Eucalyptus grandis* de Argentina. Piter *et al.* (2004a, 2004b) informaron un valor de 0,42 para una serie de ensayos sobre 349 piezas de tamaño estructural. Estos resultados alientan la realización de nuevas investigaciones orientadas a estudiar la eficiencia de los métodos no destructivos para predecir las propiedades mecánicas de la especie estudiada.

Los respectivos ajustes de regresión lineal simple donde la densidad se consideró como variable independiente se caracterizaron por coeficientes ( $\beta_1$ ) significativos, es decir, distintos de cero, y menores que 1 como lo indican los respectivos intervalos de confianza (Cuadro 4-80). Se obtuvieron apropiados ajustes para todas las relaciones y sus expresiones analíticas y gráficas se indican en las Figuras 4-27, 4-28, 4-29 y 4-30.

Cuadro 4-80. Parámetros de los modelos de regresión que representaron las relaciones lineales de las propiedades de resistencia y de dureza, con la densidad normal.

	$\beta_1$	IC para $\beta_1$	$R^2$
TR flexión= f(densidad)	0,210 *	0,19 – 0,22	0,78
TR corte = f(densidad)	0,016*	0,013 – 0,019	0,72
TR comp. paralela= f(densidad)	0,098*	0,09 – 0,10	0,75
TR comp. perpendicular= f(densidad)	0,038*	0,029 – 0,047	0,80
Dureza longitudinal= f(densidad)	0,130*	0,10 – 0,16	0,68
Dureza radial= f(densidad)	0,155*	0,122 – 0,188	0,75
Dureza tangencial= f(densidad)	0,154*	0,130 – 0,177	0,85
Dureza promedio= f(densidad)	0,146*	0,125 – 0,168	0,86

TR: tensión de rotura.

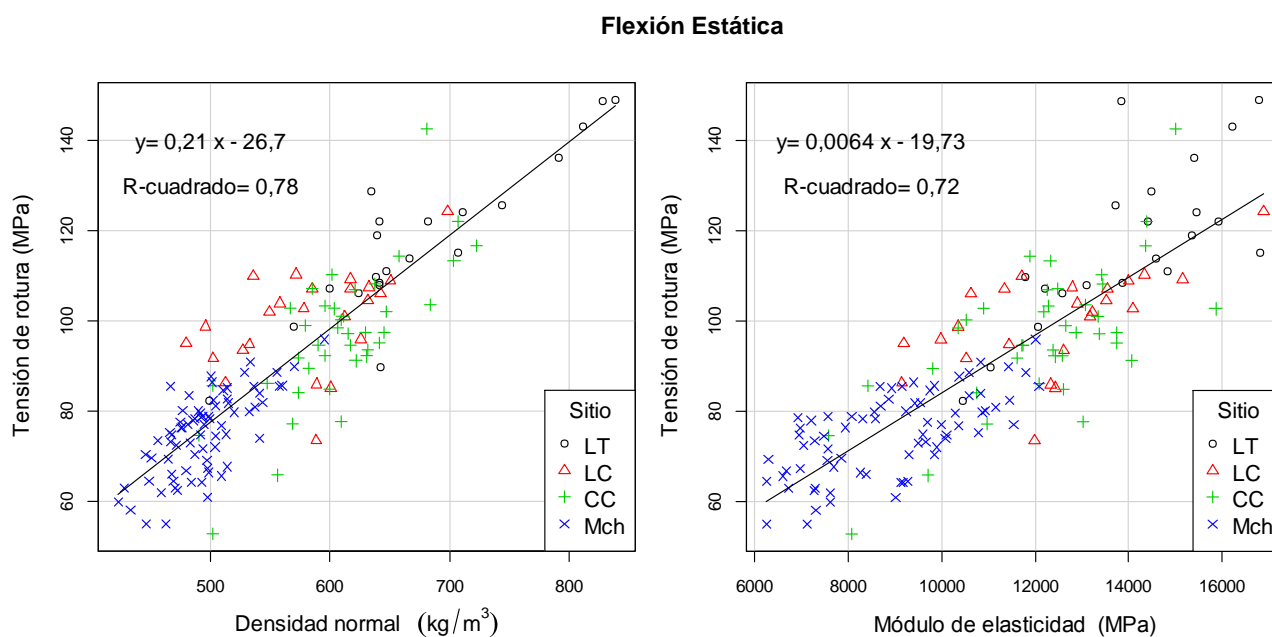
\*Coeficientes  $\beta_1$  con valores  $p < 0,001$ .

$R^2$ : Coeficiente de determinación.

IC: Intervalo de confianza al 95%.

La correlación encontrada entre el módulo de elasticidad y la resistencia, ambos en flexión estática fue destacada ( $r = 0,85$ ; IC 95% = 0,80-0,89) y significativa ( $p < 0,001$ ). El ajuste de regresión lineal que permitió analizar al módulo de elasticidad como predictor de la resistencia ante dicha sollicitación resultó con un parámetro  $\beta_1$

significativo ( $\beta_1=0,0064$ ), comprendido en el intervalo de confianza 0,006 – 0,007, y con  $R^2 = 0,72$  (Figura 4-26).



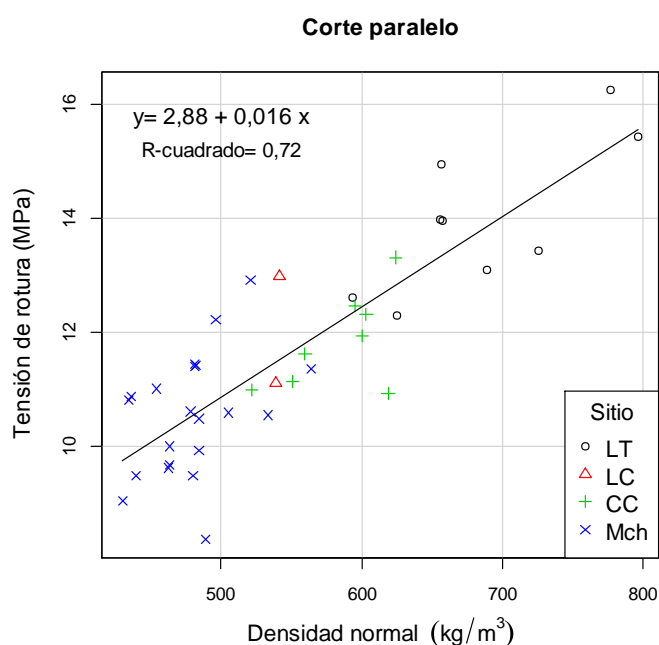
*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita*

Figura 4-27. Relaciones de la tensión de rotura en flexión estática con la densidad normal y el módulo de elasticidad.

El conocimiento de la correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia, en forma similar a lo expresado anteriormente para la correlación entre la densidad y la resistencia, adquiere importancia para el empleo de métodos no destructivos orientados a la predicción de las propiedades mecánicas de la madera tales como los basados en ultrasonidos, vibraciones flexionales y longitudinales, microondas, entre otros (Glos, 1995a). Desde este punto de vista, el elevado valor del coeficiente de correlación encontrado en esta investigación ( $r = 0,85$ ) puede considerarse ventajoso ya que el módulo de elasticidad explica un 72% de la variabilidad de la resistencia ( $R^2 = 0,72$ ). Para el *Eucalyptus grandis* cultivado en la Mesopotamia Argentina. Piter *et al.* (2004a, 2004b) reportaron un coeficiente de correlación igual a 0,77 entre el módulo de elasticidad y la resistencia en flexión, obtenido sobre una muestra de 349 piezas de tamaño estructural. Esta elevada correlación entre ambas propiedades mecánicas es común a las especies latifoliadas y coníferas. En el plano internacional, Johansson *et al.*

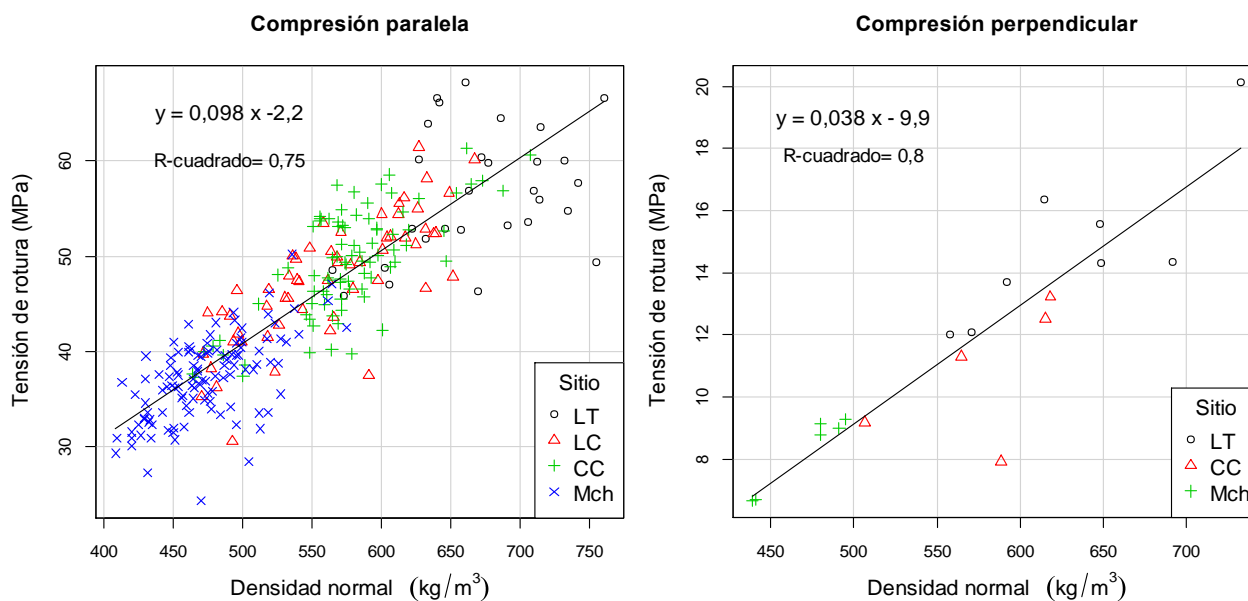
(1992) reportaron un coeficiente de correlación de 0,85 para una serie de ensayos con *Picea abies* cultivado en Alemania y en Suecia en tanto que Glos y Diebold (1987) informaron valores oscilando entre 0,71 y 0,82 para 4 series de ensayos sobre *Picea abies* y *Pinus sylvestris* europeos. En todos estos casos los ensayos se realizaron sobre piezas de tamaño estructural usual.

Las Figuras 4-28, 4-29 y 4-30, que exhiben a continuación los diagramas de dispersión obtenidos con los resultados de la densidad y el corte, la compresión y la dureza, respectivamente, permiten confirmar también para estas propiedades la estrecha relación que vincula a la densidad normal con el comportamiento mecánico de la *Acacia melanoxylon* del sudeste de la Provincia de Buenos Aires (ver también el Cuadro 4-79).



*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita*

Figura 4-28. Relación lineal de la tensión de rotura en corte paralelo con la densidad normal.

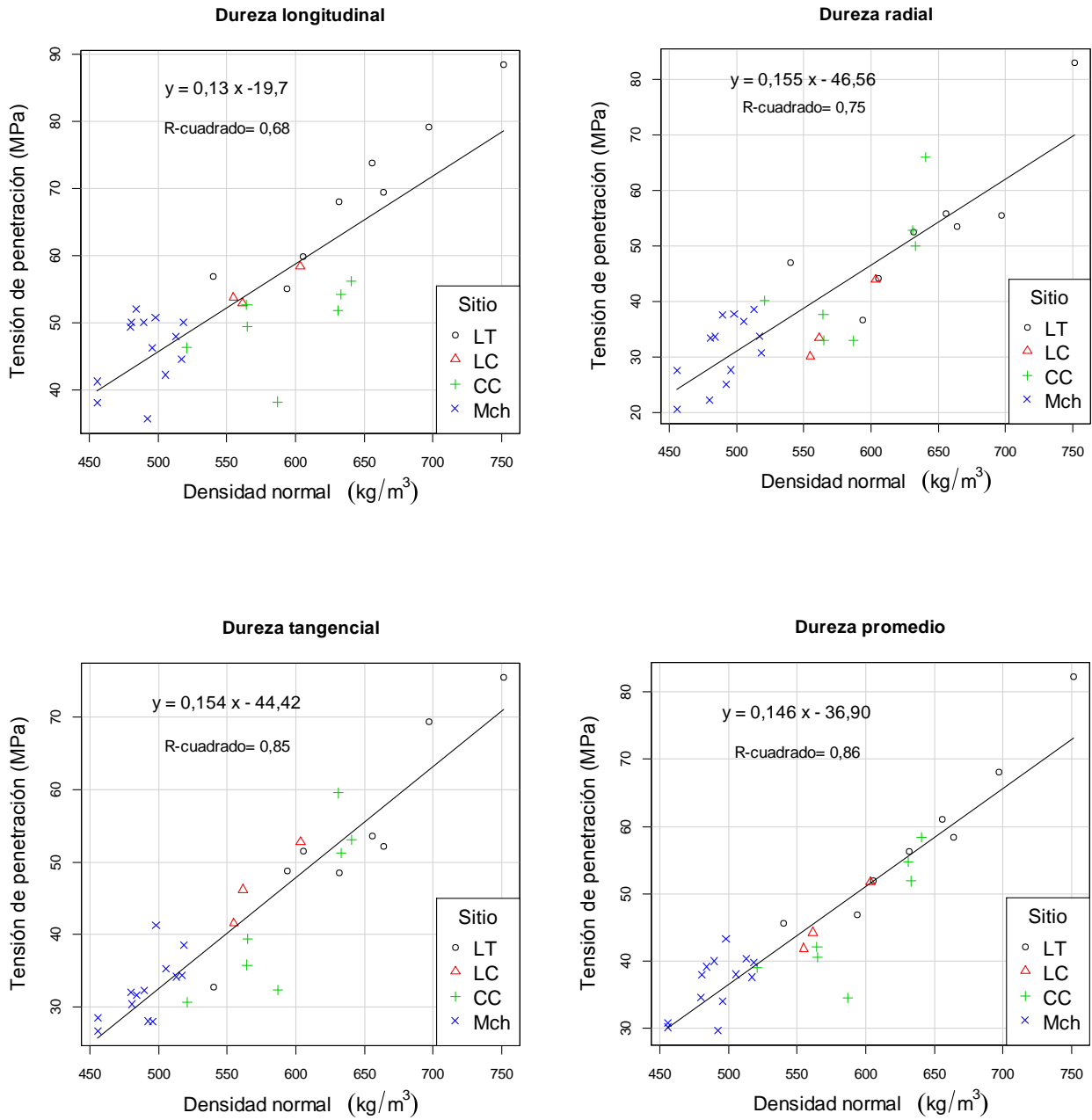


*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita*

Figura 4-29. Relación lineal de la tensión de rotura en compresión paralela y perpendicular, con la densidad normal.

Estos resultados permiten inferir que existe también una relación estrecha entre las distintas propiedades mecánicas de la especie estudiada. Los valores obtenidos para el coeficiente de correlación entre la densidad normal y las distintas propiedades mecánicas, que oscilan en un rango muy estrecho (ver el Cuadro 4-79), alientan la ejecución de nuevos proyectos orientados a determinar esas relaciones, lo cual no es un objetivo de esta tesis.

Como ya se expresó anteriormente, a nivel internacional existen antecedentes que permiten obtener la totalidad de las propiedades mecánicas a partir de tres propiedades básicas: la resistencia y el módulo de elasticidad en flexión junto a la densidad normal (EN 338, 2010; EN 384, 2010) pero habida cuenta de las diferencias existentes entre especies, suelos, climas, entre otros factores ya mencionados, su confirmación debe obtenerse a través de estudios específicos para cada caso.



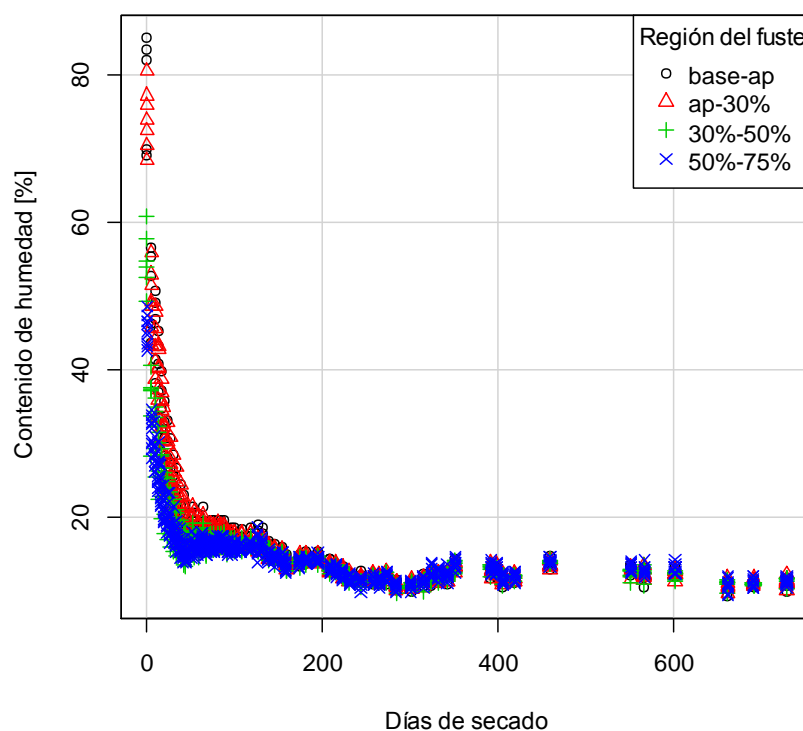
*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita*

Figura 4-30. Relación lineal entre la dureza y la densidad normal.

#### 4.2.7. VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD HASTA EL ESTADO DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO EN SECADO NATURAL

##### 4.2.7.1. COMPORTAMIENTO GENERAL

Como fue indicado en el capítulo de Materiales y Método (apartado 3.2.5.4), este ensayo se desarrolló entre marzo de 2009 y marzo de 2011, de manera que los primeros meses de secado ocurrieron durante el otoño – invierno del año 2009. En promedio, el conjunto del material (28 tablas) inició el proceso de secado natural estibado en espacio semicubierto, con un contenido de humedad (CH) de 60,4% y con una destacada variación entre tablas (Coeficiente de variación de 24,13%; valor mínimo: 42% ; valor máximo: 85%). El comportamiento general de descenso del CH de las tablas se indica en la Figura 4-31.

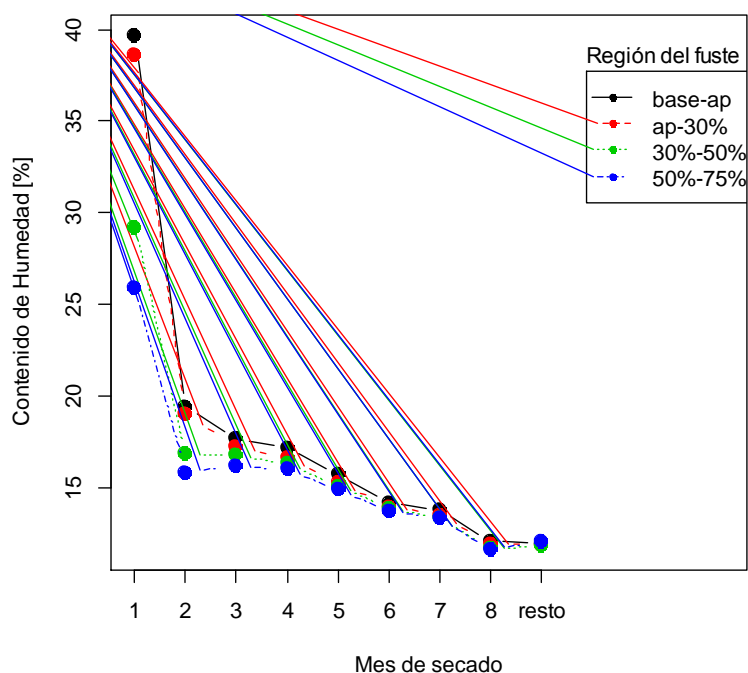


*Base: 0,3m sobre nivel del suelo; AP: 1,3 m sobre nivel del suelo;  
30% y 50%: porcentajes referidos a la altura total.*

Figura 4-31. Descenso del contenido de humedad durante la totalidad del período de ensayo: marzo de 2009 a marzo de 2011.

La Figura 4-31 permite apreciar que un descenso importante ocurrió en los primeros 50-60 días del proceso de secado natural y que aproximadamente a partir de los 250 días podría comenzar un período de estabilización en el CH. Por otra parte, las tablas provenientes de la región basal del fuste han mantenido durante los primeros meses de secado, aproximadamente 250 días también, un CH mayor que las correspondientes a las regiones superiores del fuste (30% AT hacia el ápice).

En la Figura 4-32 y el Cuadro 4-81, más detalladamente, se aprecia que durante los 8 primeros meses de secado, estas diferencias en CH entre las regiones extremas del fuste disminuyeron a medida que transcurrió el tiempo de secado. Asimismo, dentro de cada región del fuste la variación entre tablas disminuyó a medida que progresó el secado.



*Base: 0,3m sobre nivel del suelo; AP: 1,3 m sobre nivel del suelo;  
30% y 50%: porcentajes referidos a la altura total.*

Figura 4-32. Variación de CH [%] según las regiones del fuste de donde provinieron las tablas.



Cuadro 4-81. Promedio mensual de CH (%) según la región del fuste de donde provinieron las tablas. Entre paréntesis la desviación estándar.

Mes de secado	Base-AP	AP-30% AT	30% AT-50% AT	50% AT-75%AT
1	39,66 (16,7)	38,66 (15,4)	29,20 (11,0)	25,90 (8,4)
2	19,42 (2,5)	19,00 (2,6)	16,82 (1,9)	15,83 (1,1)
3	17,78 (1,3)	17,23 (1,1)	16,74 (0,9)	16,17 (0,7)
4	17,13 (1,0)	16,59 (0,7)	16,30 (0,6)	15,98 (0,8)
5	15,73 (1,1)	15,28 (0,9)	15,08 (0,8)	14,89 (0,9)
6	14,18 (0,6)	14,18 (0,5)	13,84 (0,6)	13,72 (0,6)
7	13,77 (0,8)	13,77 (0,7)	13,34 (0,7)	13,31 (0,8)
8	12,08 (0,6)	12,07 (0,5)	11,67 (0,6)	11,63 (0,7)

*Base: 0,3m sobre nivel del suelo; AP: altura del pecho (1,3 m sobre nivel del suelo); AT: altura total*

El primer mes de secado fue el de mayor descenso de CH (Cuadro 4-82). En términos absolutos, el material perdió 39,5 unidades de su CH en dicho mes, lo que representó, en porcentaje, el 65% de su CH inicial. Se registraron en adelante meses cuyas pérdidas no superaron el 4,5% de su CH inicial y sólo en el sexto mes se registró un leve aumento de CH (Cuadro 4-82).

Los meses 3 (mayo-junio) y 4 (julio) significaron el período de mayor humedad relativa ambiente y precipitación acumulada tanto como de menores temperaturas.

Durante el primer mes de secado se alcanzó el PSF, considerando que al día 24, el valor promedio de CH fue de 25,5% coincidente con el promedio entre PSFr y PSFt hallados en la presente investigación (Cuadro 4-39 y Cuadro 4-49).

Cuadro 4-82. Descenso promedio (n=28 tablas) del contenido de humedad (CH) según los meses de secado. Temperaturas mensuales (T) y humedad relativa (HR) medias mensuales; precipitación (P) acumulada mensual.

Mes de secado	Descenso Absoluto en el mes * (%)	Descenso en relación al inicio del secado (%) **	T. media (° C)	T máxima media (° C)	HR media (%)	P (mm)
1 [abril- mayo]	39,5 (11,7)	64,6 (4,7)	17,4	23,5	65,1	5,6
2	2,88 (1,9)	4,4 (2,2)	13,6	19,7	69,5	27,9
3	1,48 (0,7)	2,5 (1,2)	9,2	14,1	75,9	84
4	0,03 (0,8)	-0,01 (1,8)	7,7	12,3	80,3	150
5	1,57 (0,38)	2,7 (0,8)	9,8	15,7	68,5	5,9
6	-0,7 (0,4)	-1,4 (0,9)	11,9	17,8	68,5	34,8
7	1,3 (0,2)	2,3 (0,8)	11,5	17,6	66,9	47,4
8	1 (0,3)	1,8 (0,8)	17,0	24,2	57,3	44,4

\* CH inicial-CH final en el mes.

\*\*Descenso absoluto en el mes como porcentaje del CH al inicio del secado.

Entre paréntesis, desviación estándar

Se desarrollaron diferentes ajustes lineales y no lineales para modelar la pérdida de humedad en ese período [Inicio secado- PSF] tanto como entre éste último y la condición de equilibrio higroscópico [PSF-Equilibrio higroscópico], considerando que ésta ya se habría alcanzado al octavo mes (Figura 4-32). Las variaciones de CH dentro del período restante del ensayo, que comprendió desde el octavo mes hasta el final, también fueron analizadas [Equilibrio higroscópico].

#### 4.2.7.2. PERÍODO DESDE INICIO DEL SECADO NATURAL HASTA PUNTO DE SATURACIÓN DE LAS FIBRAS

En este período la mayor correlación lineal registrada fue entre CH y día (es decir, tiempo de secado transcurrido), resultando negativa (r: -0,76). Dentro de las variables climáticas, las temperaturas diarias se correlacionaron con CH (valores r entre 0,39 y 0,56) no así la humedad relativa ambiente (r: 0,1, no significativo).

Entre los ajustes evaluados, regresión lineal simple (día como variable independiente), regresión lineal múltiple (día y temperatura mínima como variables independientes) y la regresión ajustando un polinomio cuadrático (día como variable independiente), éste último resultó con el mejor ajuste y más apropiadas gráficas de diagnóstico del modelo. El modelo y su representación gráfica se indican en la Figura 4-33, sus parámetros fueron significativos, y el valor de  $R^2$  ajustado fue de 0,63.

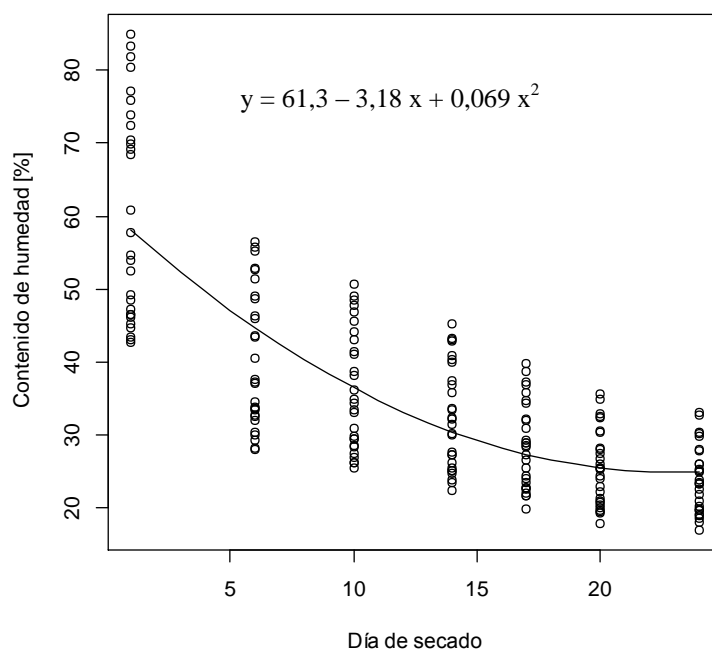


Figura 4-33. Contenido de humedad en función del tiempo de secado, hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras.

#### 4.2.7.3. PERÍODO DESDE PSF HASTA EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En este período, nuevamente la mayor correlación lineal se registró entre CH y el día ( $r: -0,76$ ). Dentro de las variables climáticas, las temperaturas diarias se correlacionaron con CH, pero ahora con sentido negativo (valores  $r$  entre  $-0,08$  y  $-0,30$ ), en tanto la humedad relativa ambiente lo hizo en sentido positivo ( $r: 0,30$ ).

Se evaluaron: un modelo de regresión lineal simple (día como variable independiente), dos modelos de regresión lineal múltiple (día y temperatura máxima; día y humedad relativa como variables independientes, respectivamente) y la regresión ajustando un polinomio cuadrático (día como variable independiente).

La incorporación de nuevas variables independientes al modelo simple, no aportó significativamente en términos de bondad de ajuste ni del mejoramiento de sus gráficas de diagnóstico. Tampoco lo hizo la incorporación del término cuadrático. Sí resultó en una mejora la aplicación de la transformación logarítmica del tipo:  $y' = \ln y$ .

Los modelos de regresión lineal simple sin y con el empleo la transformación logarítmica se indican en las Figuras 4-34 y 4-35 respectivamente. El primero de ellos resultó con  $R^2 = 0,57$  y el segundo  $R^2 = 0,65$ . Ambos mostraron una asociación indeseada entre residuales y valores ajustados, dado que a mayores valores ajustados de CH también fueron mayores los residuales. Los modelos no ajustan correctamente en el rango de mayores valores de CH (Figura 4-34, Figura 4-35).

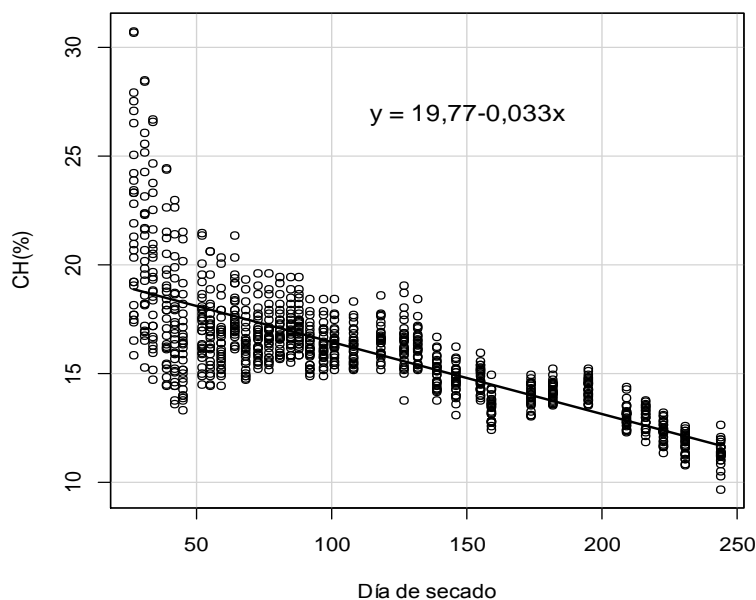


Figura 4-34. Contenido de humedad (CH %) en función del tiempo de secado, en el período entre punto de saturación de las fibras y equilibrio higroscópico.

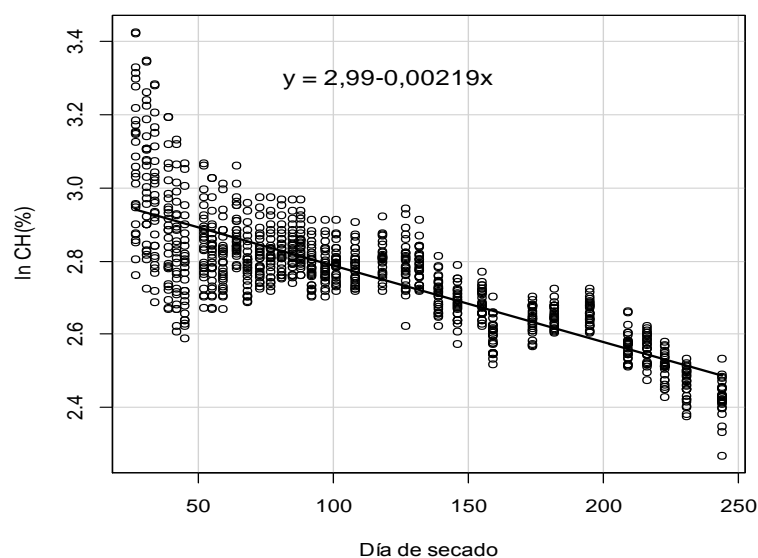


Figura 4-35. Contenido de humedad (lnCH %) en función del tiempo de secado, en el período entre punto de saturación de las fibras y equilibrio higroscópico.

#### 4.2.7.4. PERÍODO DE EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO

En este período no se registró correlación entre CH y el día ( $r: -0,02$ ; valor  $p: 0,629$ ) ni entre CH y la humedad relativa ( $r: 0,08$ ; valor  $p: 0,05$ ). Fueron las temperaturas diarias (temperaturas máxima media, media y mínima media) las que estuvieron correlacionadas con CH, con coeficientes de correlación significativos de  $-0,45$ ;  $-0,47$  y  $-0,47$  respectivamente.

El ajuste de regresión lineal en el que día de secado se consideró variable independiente para explicar CH no resultó significativo. Sus coeficientes registraron valores de ordenada al origen de  $11,978$ , y cero para  $\beta_1$  (pendiente de la recta de ajuste). La ordenada al origen estimada por el intervalo de confianza al 95% quedó comprendida entre  $11,72$  y  $12,24$ . Podría indicarse, entonces, al contenido de humedad de  $12\%$  como el correspondiente al equilibrio higroscópico de esta madera, así como que en tal estado, las variaciones en el CH estuvieron relacionadas a las temperaturas diarias.

#### 4.2.8. DEFECTOS DE LA MADERA

##### 4.2.8.1. PRESENCIA DE MÉDULA Y DE ALBURA

Se registró la presencia de tejido correspondiente a la médula en 39 de las 45 tablas que constituyeron el material sobre el que se analizaron los defectos de la madera. Todas las tablas radiales y semi radiales, más dos de las tangenciales, contuvieron médula. En relación a la presencia de albura, este tipo de tejido estuvo presente en todas las tablas, en caras y cantos, en ocasiones de manera discontinua.

##### 4.2.8.2. NUDOS

En el conjunto de material experimental y de acuerdo a la localización en la pieza en términos de cara, canto, arista y cabeza, se encontraron nudos en la siguientes proporciones: 83% (cara), 9% (canto), 7% (arista) y 1% (cabeza). Del total de nudos de cara (n: 740), el 95,2% fueron nudos individuales, por lo que, en adelante, la presentación de este apartado se referirá a *nudos individuales de cara*.

Tamaño de los nudos bajo el método general propuesto por la Norma Europea EN 1310 (1997). El 48,5% de los nudos inspeccionados (n: 740) tuvo un tamaño >5mm, el resto correspondió a nudos menores a 5mm. La distribución de los nudos (> 5 mm) por clase de tamaños se indica en el Cuadro 4-83. Se encontró que el 88,3% de los nudos estuvieron comprendidos en el rango 0-19mm. El nudo de tamaño máximo en el conjunto del material resultó de 81,5 mm.

Cuadro 4-83. Distribución (%) de nudos individuales de cara >5mm, según tamaño. Método general, Norma Europea EN 1310 (1997).

Clases de tamaño	0-9 mm	10-19 mm	20-29 mm	30-39 mm	40-49 mm	>50 mm
%	60,7	27,6	7,8	3,3	0,3	0,3

Tamaño de los nudos bajo el método alternativo propuesto por la Norma Europea EN 1310 (1997). El 43,6 % de los nudos inspeccionados (n: 740) tuvo un tamaño >5 mm. La distribución de los nudos (>5mm) por clase de tamaños se indica en el Cuadro 4-84. Se encontró que el 89,2 % de los nudos estuvieron comprendidos en el rango 5-19 mm. El nudo de tamaño máximo en el conjunto del material resultó de 54 mm.

Cuadro 4-84. Distribución (%) de nudos individuales de cara >5 mm, según tamaño. Método alternativo, Norma Europea EN 1310 (1997).

Clases de tamaño	5-9 mm	10-19 mm	20-29 mm	30-39 mm	40-49 mm	>50 mm
%	66,6	22,6	8,4	1,7	0,6	0,3

Forma de los nudos y otros atributos. La población de nudos de cara, en base a la que se analizaron estos atributos, fue la de los nudos individuales > 5mm (método general). Los nudos se distribuyeron según su forma, localización, firmeza y sanidad como se indica en el Cuadro 4-85. Podría indicarse como característico del material la presencia de nudos mayormente redondos, localizados en la región central de las tablas (½ del ancho de la tabla), firmes y sanos (Figura 4-36).

Cuando se consideró como variable de análisis al número de nudos por metro lineal de tabla (nudos/m) se registró, para el conjunto del material un valor medio de 9,2 nudos/m con una desviación estándar de 4,2 nudos/m. Esta propiedad resultó de alta variación, como queda indicado en el Cuadro 4-86, esto puede haber influido en la falta de detección de diferencias significativas entre sitios y regiones del fuste. Así, los valores medios de nudos/m no difirieron significativamente entre sitios (valor p: 0,1090) ni entre regiones en el fuste (valor p: 0,1090). Sin embargo, el material proveniente del sitio LT fue el que registró el mayor número de nudos por metro lineal de tabla (Cuadro 4-86, Figura 4-38). La interacción sitio por altura resultó no significativa (valor p: 0,7646).

Cuadro 4-85. Distribución de los nudos de cara según atributos de forma, firmeza, sanidad y localización en la tabla.

	Localización en la tabla (%)*	Forma (%)*	Firmeza (%)*	Sanidad (%)*
Borde	12,5			
Centro	87,5			
Redondo		57,7		
Ovalado		28,1		
Espigado		14,2		
Firmes			74,8	
Flojos			25,2	
Sanos				90,6
Dañados				9,4

\* en cada caso, relacionado al total de nudos

Cuadro 4-86. Número de nudos por metro lineal de tabla, según los sitios y las regiones en el fuste.

Región en el fuste	Los Tuelches	Las Cortaderas	Cinco Cerros	Mar Chiquita
AP-30% AT	11,6 (1,6)	7,1 (3,1)	6,9 (3,2)	8,7 (4,6)
30%-50% AT	12,0 (7)	9,8 (0,8)	9,2 (3,4)	8,1 (4,2)

AP: altura de pecho (1,3m sobre nivel del suelo); AT: altura total.  
Entre paréntesis, desviación estándar.

Los nudos tienen cantidades excepcionales de polifenoles en el Género *Acacia* (Pietarinen *et al.*, 2005), la mayor cantidad de nudos en la madera de Los Tuelches podría estar causando, al menos en parte, su alto contenido de extractivos (Cuadros 4-29 y 4-30 del apartado 4.2.2.5).



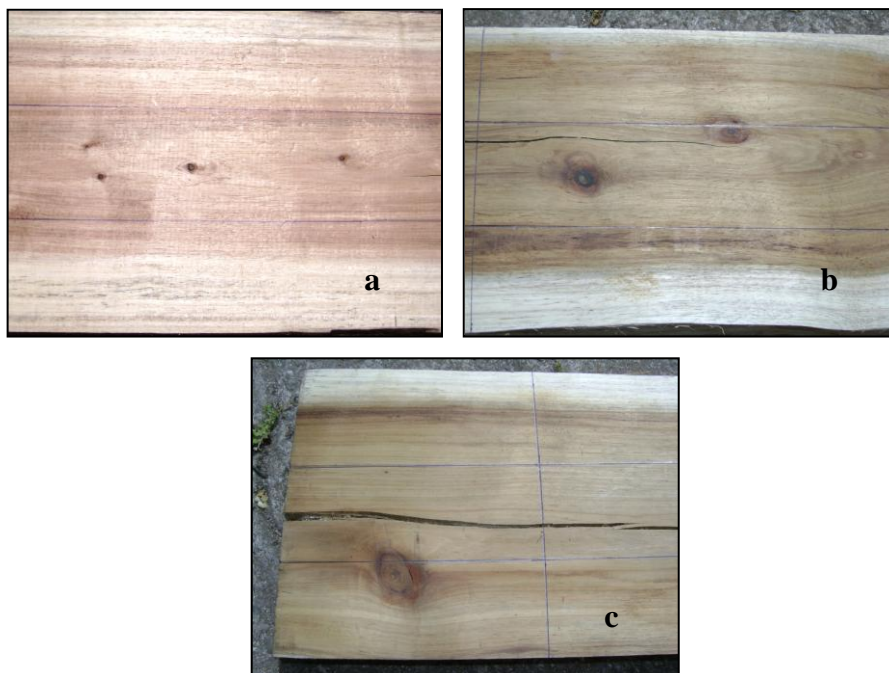


Figura 4-36. Presencia de nudos redondos. a: nudos menores a 5 mm en región central de la tabla; b y c: nudos mayores a 5 mm, en tablas con presencia de rajaduras.

#### 4.2.8.3. GRIETAS

En el conjunto de material experimental (45 tablas) se localizaron e inspeccionaron 1333 grietas de las cuales el 97,2% fueron grietas individuales en tanto el resto (2,8%) fueron grietas agrupadas. En adelante la presentación se referirá a la población de grietas individuales.

Las grietas individuales se localizaron en las caras (54,1%), en las cabezas (36%) y en los cantos de las tablas (10%).

Como fue indicado en el capítulo metodológico (Capítulo 3, apartado 3.2.7.2 ), además de la sectorización de las tablas, en el sentido del ancho de la pieza, en términos de bordes y centro, se delimitaron en ellas sendas regiones en sus extremos con la finalidad de analizar la presencia de grietas de cara y/o canto que, estando en dichas regiones

extremas, llegaron a o nacieron desde la cabeza. Las grietas extremas fueron las que se presentaron en mayor proporción, tanto en la cara de las tablas como en el canto (Cuadro 4-87).

Cuadro 4-87. Frecuencia de grietas extremas y no extremas.

	CARA (%)	CANTO (%)
Grietas Extremas*	70,5	77,5
Grietas No Extremas	29,9	22,5

\* grietas que, estando en las regiones extremas de las tablas, llegaron a la cabeza.

A su vez, en la cara de las tablas, ambos tipos de grietas fueron destacadamente más frecuentes en el sector central que en sus bordes (Cuadro 4-88)

Cuadro 4-88. Grietas de cara Extremas y No Extremas según sectores en la tabla.

	Grietas de cara Extremas* (%)	Grietas de cara No Extremas (%)
Centro de la tabla	64,6	75,4
Bordes de la tabla	35,4	24,6

\* grietas que, estando en las regiones extremas de las tablas, llegaron a la cabeza

En relación al tamaño de las grietas, el ancho máximo no superó el milímetro en las de canto, en tanto que en la cara de las tablas sólo el 1,6 % de las grietas lo hicieron. En el conjunto de grietas de cara, la longitud individual de las mismas se distribuyó en las clases indicadas en el Cuadro 4-89.

Cuadro 4-89. Distribución (%) de la longitud individual de grietas según clases.

Clases de longitud	<50 mm	50-250 mm	250-500 mm	>500 mm
%	76,9	19,8	1,98	1,32

El análisis de la varianza se desarrolló con el conjunto de grietas individuales de cara sin discriminar entre su localización en la tabla. La longitud de grietas por metro lineal de tabla promedio fue de 0,79 m con una desviación estándar de 0,5 m indicativo de una alta variación del material en respecto a esta singularidad de la madera.

Los valores de longitud de grietas por metro lineal de tabla difirieron significativamente entre sitios ( $p < 0,001$ ) aunque no entre las alturas del fuste (valor  $p$ : 0,929). El material proveniente de LT resultó significativamente mayor en la longitud acumulada de sus grietas de cara como se aprecia en el siguiente Cuadro (Cuadro 4-90) y, más adelante, en los gráficos de la Figura 4-37. La interacción sitio por altura resultó no significativa (valor  $p$ : 0,2063).

Cuadro 4-90. Longitud de grietas por metro lineal de tabla, según los sitios.

	LT	LC	CC	MCh
Longitud de grietas (m/m)	1,25 (0,60) b	0,65 (0,36) a	0,48 (0,25) a	0,77 (0,47) a

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

#### 4.2.8.4. RAJADURAS

Del conjunto de tablas inspeccionadas, el 66,7% presentaron rajaduras, todas en la cara. Las tablas con rajaduras, en su mayoría contuvieron médula (Cuadro 4-91). En todos los

casos de tablas con médula y rajaduras (28), éstas últimas estuvieron localizadas en el tejido medular (Figura 4-37).

Cuadro 4-91. Número de tablas con presencia de rajaduras y de médula.

	Con médula	Sin médula
Con rajadura	28	2
Sin rajadura	11	4

En relación al tamaño de las rajaduras, sobre el total de rajaduras inspeccionadas, el 86,7% presentó un ancho superior al milímetro. El ancho máximo registrado fue de 28mm, sin embargo, la mayoría de las rajaduras no superaron los 8 mm de ancho (Cuadro 4-92).

Cuadro 4-92. Distribución (%) del ancho de las rajaduras (mm) según clases.

Clases de ancho	1-4	>4-8	>8-12	>12
%	59,0	30,8	2,6	7,7

La longitud individual de las rajaduras tuvo un valor máximo de 880 mm, sin embargo, la mayoría de ellas no superaron los 250 mm (Cuadro 4-93).

Cuadro 4-93. Distribución (%) de la longitud individual de rajaduras (mm) según clases.

Clases de longitud	<100	100-250	>250-400	>400-500	>500
%	20,0	57,8	13,3	2,2	6,7



Figura 4-37. Tablas con presencia de médula y rajaduras en coincidencia con dicho tejido.

La longitud de rajaduras por metro lineal de tabla promedio fue de 0,404 m con una desviación estándar (0,29 m) indicativo de una alta variación del material en respecto a esta singularidad de la madera.

La longitud de rajaduras por metro lineal de tabla difirió significativamente entre sitios ( $0,001 < p < 0,05$ ) y entre las alturas del fuste ( $0,001 < p < 0,05$ ). El material proveniente de CC resultó de mayor longitud acumulada de rajaduras (Cuadro 4-94, Figura 4-37). Del mismo modo lo fue la región inferior del fuste (0,51 m/m) respecto a la superior (0,28 m/m). La interacción sitio por altura resultó no significativa (valor  $p$ : 0,9691).

Cuadro 4-94. Longitud de rajaduras por metro lineal de tabla, según los sitios.

	LT	LC	CC	MCh
Longitud de rajaduras (m/m)	0,25 (0,21) a	0,22 (0,14) a	0,60 (0,30) b	0,50 (0,30) a

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*

## 4.2.8.5. DIRECCIÓN DE LA FIBRA

La desviación de la fibra promedio en el conjunto del material inspeccionado fue de 4,64% (DE: 2,9%). La dirección de la fibra difirió significativamente entre sitios ( $p < 0,001$ ) y entre las alturas del fuste ( $0,001 < p < 0,05$ ). El material proveniente de CC resultó significativamente mayor en la desviación de la fibra (Cuadro 4-95, Figura 4-38). Del mismo modo lo fue la región inferior del fuste (3,7 %) respecto a la superior (6,2%). La interacción sitio por altura resultó no significativa (valor  $p$ : 0,9691).

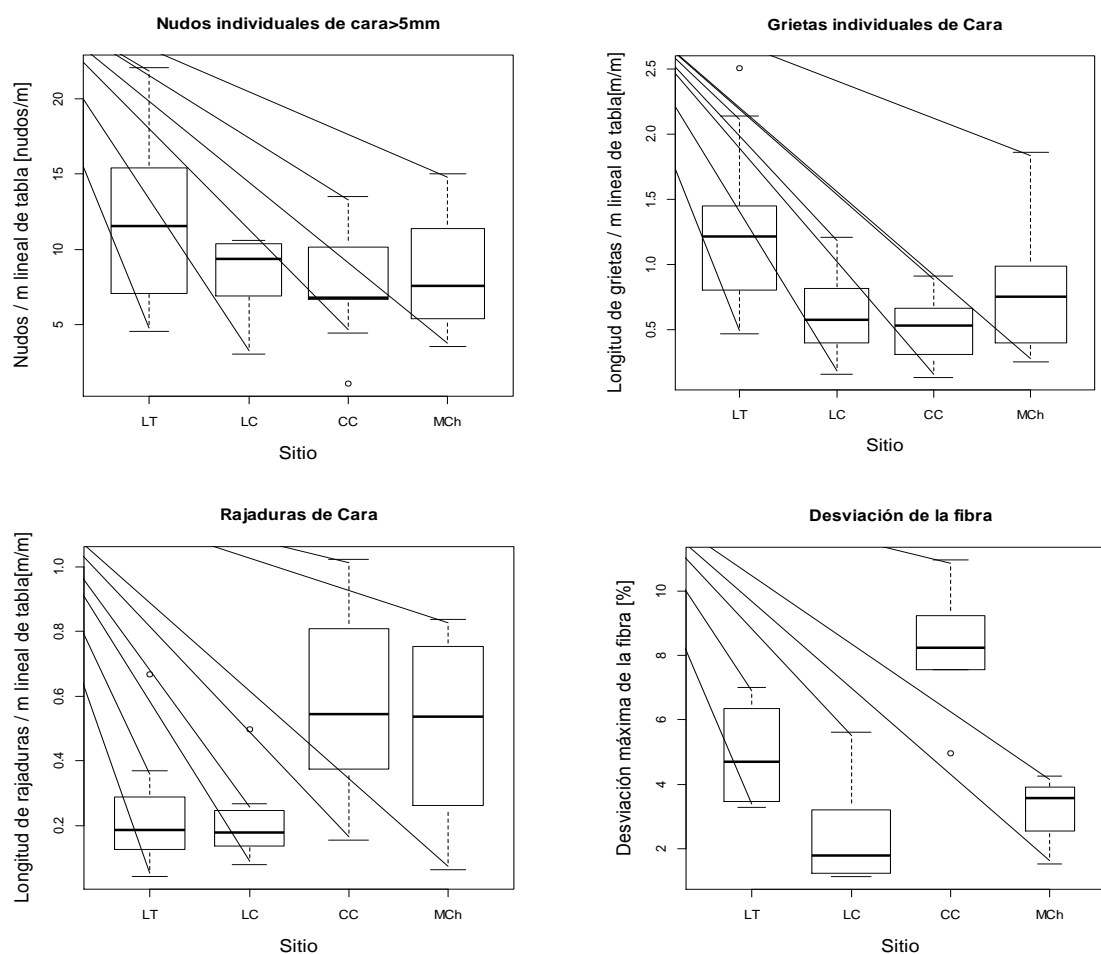
Cuadro 4-95. Dirección de la fibra según los sitios.

	LT	LC	CC	MCh
Desviación (%)	4,92 (1,7) b	2,4 (1,6) a	8,20 (2,0) c	3,13 (1,4) ab

*LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita.*

*Entre paréntesis, desviación estándar.*

*Letras iguales no difieren significativamente ( $p > 0,05$ ), Test Tukey.*



LT: Los Tuelches; LC: Las Cortaderas; CC: Cinco Cerros; MCh: Mar Chiquita  
 Caja: 1er y 3er cuartil; Línea vertical: máximo y mínimo  
 ó 1,5 veces el rango inter-cuartil si hay outliers.

Figura 4-38. Defectos de la madera según los sitios. Medianas.

En relación a los defectos presentados, podría indicarse para el recurso local de *Acacia melanoxylon*, que:

Mayormente las tablas presentaron médula (el 87%).

Los nudos se ubicaron en las caras, fueron individuales, redondos, firmes, sanos, localizados en la región central de las tablas y no mayores a 19 mm de diámetro promedio, siendo la mitad de ellos menores a 5mm. El número de nudos por metro

lineal de tabla fue en promedio de 9, con alta variación individual (entre tablas) sin diferencias significativas entre sitios ni entre alturas en el fuste. Sin embargo, Los Tuelches presentó el mayor valor.

Las grietas fueron individuales, localizadas en las caras (54%) y en las cabezas (36%). Las de cara se localizaron en las regiones extremas. No superaron el milímetro de ancho ni los 50 mm de longitud. La longitud acumulada de grietas por metro lineal de tabla fue en promedio de 0,79 m, con alta variación individual (entre tablas), diferenciándose significativamente los sitios pero no las alturas del fuste. Los Tuelches presentó el mayor valor.

Las rajaduras se presentaron en las caras, localizadas mayormente en el tejido medular. La mayoría no superó los 8 mm de ancho (máximo 28 mm), ni los 250 mm de longitud (máximo 880 mm). La longitud acumulada de rajaduras por metro lineal de tabla fue en promedio de 0,4 m, con alta variación individual (entre tablas), diferenciándose significativamente los sitios (CC el mayor) y las alturas del fuste (región basal la mayor longitud de rajaduras).

La desviación de las fibras promedio fue de 4,6%, detectándose diferencias entre sitios (CC el mayor), y entre regiones en el fuste, siendo la basal la de menor desviación de las fibras.

Estas plantaciones de *A. melanoxylon* hoy estudiadas en la presente investigación, no ordenadas forestalmente, se han poblado espontáneamente a partir de una abundante regeneración (sobre todo en los sitios serranos) y del hábito de rebrotar de cepas evolucionando hasta la densidad actual de plantas. En ese proceso han ido desarrollándose con mucha iluminación lateral durante varios años hasta que se cerró el dosel de copas. Dada la escasa dominancia apical que caracteriza a la especie ya mencionada (Siebert y Bauerle, 1995; Pinkard y Beadle, 2002; Medhurst *et al.*, 2003; Pinkard, 2003; LaSala y Jennings, 2008), las plantas jóvenes se cubren de numerosas ramas vivas que, con diferente intensidad, permanecen y van generando los rastros anatómicos de su presencia (los nudos) Esto se refleja en la caracterización del material aquí desarrollada: nudos fundamentalmente pequeños (más de la mitad, menores a 5 mm), localizados en la región central de las tablas (edades tempranas). En plantaciones



puras o mixtas, la poda de formación en *A. melanoxylon* es considerada como una intervención necesaria para lograr una buena forma del fuste, así como también lo sería la poda ascendente de ramas vivas para producir madera libre de nudos (Pinkard y Beadle, 2002; Pinkard, 2003; Beadle *et al.*, 2004).

Por otra parte, se trata de árboles de dimensiones (desarrollo) bastante menores a lo que se ha descrito en países donde su desarrollo está ordenado forestalmente, con rotaciones de 40 y más años (INFOR-CONAF, 1997; Pinilla Suárez, 2000; Pinkard y Beadle, 2002; Beadle *et al.*, 2004; Nicholas y Gifford, 2004). El inventario aquí desarrollado para caracterizar la estructura de las masas permitió notar su desuniformidad de edades y que la clase diamétrica superior se encontraba en valores de DAP entre 25 cm a 33 cm (Cuadro 4-8 del presente Capítulo). Este recurso estarían ofreciendo un material que, como tablas, raramente podrá superar anchos de 25 cm, ni excluir la presencia de médula y de albura (Figura 4-39). De manera que buena parte de los defectos registrados pueden asociarse a la estructura de las masas, y a su desarrollo, inicialmente en condiciones de intensa luminosidad.



Figura 4-39. Piezas de aserrío: a y b tablas radiales y costaneras; c: cara de tabla radial con presencia de albura, nudos y médula. Sitio Cinco Cerros, árbol CC-V, 21,45 cm de diámetro a la altura del pecho.

De acuerdo con la clasificación que define la Norma argentina IRAM 9560 (1981), podría indicarse que en esta madera predominaron nudos de cara pequeños y muy pequeños. Las grietas, de acuerdo a su ancho máximo y longitud, fueron pequeñas (77% de los casos) y medianas (20% de los casos). Según la misma norma, la inclinación de la fibra determinada cuantitativamente debería calificarse mayormente como “ligera” (60% de los casos), aunque también se observaron piezas, o sectores de las mismas, con inclinaciones “medianas” y “fuertes” (24% y 16% de los casos respectivamente). Esta variación en la inclinación de la fibra no estuvo relacionada a efectos locales debidos a la presencia de los nudos, dado que metodológicamente se eligieron áreas de tejido libres de singularidades.

Parte del material estudiado en el presente trabajo contuvo tejido correspondiente a la médula y todas las rajaduras se localizaron en dicho tejido. Las rajaduras, según la Norma argentina IRAM 9560 (1981), fueron mayormente del tipo largas, es decir, con una longitud > al 5% de la longitud de la pieza. En otras especies argentinas tipificadas, como *Eucalyptus grandis*, ni las rajaduras ni la presencia de médula son admitidas (Shield, 2007). Esto ha sido mayormente el caso del material de *A. melanoxylon* estudiado (66,7% de tablas con rajaduras).

Según reglas de tipificación de madera aserrada y secada en horno de *E. grandis* en la Mesopotamia, Argentina (Shield, 2007) se consideran admisibles para esta madera proveniente de plantaciones ordenadas y sometidas a podas, entre 0, 1, 2, y 3 nudos por metro (Grados Premium, Selecto, Estándar y Utilitario, respectivamente). Con un promedio de 9 nudos/m lineal de tablas, el material de *A. melanoxylon* estudiado se aparta de estos criterios de admisión, sin embargo el tamaño de nudos coincide con los admitidos por esta tipificación nacional (de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{3}$  del ancho de la tabla).

Esta misma tipificación de *E. grandis* consideraría de grado Selecto a un material con grietas menores a 1 mm de ancho (sería el caso de nuestro material) y 250 mm de largo (el 96,7% de las grietas en nuestro material fueron menores a 250 mm de longitud, como se aprecia en el Cuadro 4-89).

En el mercado australiano se consideran tres grados para *A. melanoxylon*, Select, High Feature e Industry Grade (Tasmanian Timber Promotion Board, 2012). La admisibilidad

referida a las grietas es similar a lo expuesto para *E. grandis* en Argentina, con lo que el material local de *A. melanoxylon* no se apartaría de lo requerido en este aspecto. En Australia no se admiten rajaduras ni médula aunque si albura (Industry Grade). Respecto a los nudos, se admiten nudos fijos en los tres grados y su presencia se valora a través de la dimensión mayor de los mismos, cuyo acumulado/metro de tabla debe ser menor a 15 mm en Select e Industry Grade. En cambio, la longitud individual o acumulada /metro de tabla debe ser menor a 50 mm en High Feature Grade. Si bien la mayoría de los nudos presentes en nuestro material fueron menores a 50 mm (Cuadro 4-84), la comparación de la madera local de *A. melanoxylon* con la admisibilidad australiana de nudos no es posible dado que nuestra variable estudiada respecto a ellos fue su número por metro de tabla.

Con todo lo mencionado puede indicarse que tres atributos de la madera local de *Acacia melanoxylon* se apartarían de lo admitido en su mercado australiano tanto como de lo admitido para *E. grandis* en Argentina, estos son: la presencia de médula y rajaduras, y la cantidad de nudos por metro lineal de tabla, esto último sólo en comparación a “eucalipto grandis”. La presencia de médula en “eucalipto grandis” usualmente está acompañada de otros defectos como rajaduras. Esto es reconocido como causante de un decrecimiento importante en la calidad desde el punto de vista mecánico, en el aspecto y en la trabajabilidad. En relación a *Acacia melanoxylon* se deberían continuar las investigaciones acerca de la presencia de médula y sus consecuencias.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES

---

### *CONDICIONES PARA EL DESARROLLO DE A. melanoxylon EN LA REGIÓN SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES – ARGENTINA*

La región ofrece, en relación a su zona de origen y a otros sitios de introducción, condiciones climáticas y edáficas apropiadas para el desarrollo de la especie. Las precipitaciones superan los 600 mm, no presenta período seco definido, las temperaturas medias mínimas no descienden en ningún mes del año debajo de 0°C, la mínima absoluta no alcanza el umbral de -10°C, se asegura un período libre de heladas de por lo menos 130 días, y predominan las arcillas limosas en los suelos. Dentro de esta generalización, se reconocen localmente diferentes calidades de sitio por cuanto se presentan localmente diferentes condiciones de protección, de profundidad de suelos y de limitaciones de drenaje. En los distintos sitios varía el crecimiento de la especie, esto es, su tamaño, sus existencias en volumen y sus tasas de crecimiento.

Los mayores incrementos medios locales en altura (0,52m/año) y en diámetro normal (0,73m/año), evaluados sobre árboles individuales, resultan en el límite inferior del rango informado en plantaciones bajo ordenación tanto en su zona de origen como en los países donde se la cultiva como exótica. Las existencias en volumen comercial por unidad de superficie son superiores en los sitios serranos (167-184 m<sup>3</sup>/ha), donde resultan del orden de lo informado en algunos rodales bajo manejo forestal en Chile, e inferiores a lo observado en zona de origen y Nueva Zelanda (400-800 m<sup>3</sup>/ha).

Bajo las condiciones ecológicas que los sitios serranos de la región imponen y en base a la evaluación dasométrica desarrollada en esta investigación, Los Tuelches está representando un sitio de buena calidad para el desarrollo de la especie. Aunque lo anterior es sólo una inferencia parcial, ya que se desconocen las procedencias del material.

La estructura de edad desuniforme que caracteriza a las masas estudiadas (9-32 años) responde a un desarrollo espontáneo de la especie colonizando sus diferentes estaciones de crecimiento. Aunque con cierta variación entre sitios, los resultados muestran que el recurso forestal puede ofrecer, a través de sus clases diamétricas superiores, rollizos comerciales de entre 6,5 m y 11 m de longitud y de una alta cilindridad. Estas clases diamétricas, sin embargo, son las menos representadas en el conjunto, y los diámetros alcanzados por ellas están ofreciendo piezas de aserrío no mayores a 25- 30 cm de ancho, con alta probabilidad de contener la médula.

*LOS ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS Y LA APTITUD DE USO DE LA MADERA DE Acacia melanoxylon IMPLANTADA EN LA REGIÓN SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES – ARGENTINA*

La descripción anatómica general macro y microscópica, coincide con la hallada por otros autores para la especie en otros países, si bien en esos casos no se ha mencionado la dificultad para observar macroscópicamente los anillos de crecimiento, como sucede en el presente trabajo.

La longitud de fibras (656,5 $\mu$  en promedio) manifiesta contundentemente un aumento desde la médula hacia la corteza. Cuando las dimensiones transversales de las fibras varían en dirección radial, las fibras resultan menos anchas, de menor lumen y de pared más gruesa en los tejidos próximos a la corteza.

Las otras dimensiones celulares promedio registradas en esta investigación para la especie: espesor de pared de fibras (2,17 $\mu$ ), diámetro (69,25 $\mu$ ) y frecuencia de vasos (5/mm<sup>2</sup>) permiten inferir que esta madera logrará un buen acabado superficial por cepillado y lijado, buen brillo y lustre, caracteres fundamentales para su uso en mueblería. Los vasos pequeños y poco numerosos le proporcionan una textura fina que es apropiada para artículos torneados.

La presencia de duramen a lo largo de todo el fuste comercial y en todos los árboles que presenta el recurso local es una importante característica en relación a la potencial utilización de esta madera con destino al aserrado. El contenido de duramen (51%-53%

del volumen comercial) es similar y aún mayor que lo informado en plantaciones ordenadas de Australia y Nueva Zelanda. Dentro de los fustes, el mayor contenido de duramen corresponde a las regiones basales (hasta el 30% de la altura total), característica que se manifiesta en todos los sitios y es coincidente con los resultados de otras investigaciones en la especie.

La madera se caracteriza por una composición química típica de una angiosperma dicotiledónea de color oscuro, con una destacada variabilidad entre árboles respecto a los extractivos. Presenta mayores contenidos de extraíbles en agua caliente (compuestos fenólicos) que en alcohol-tolueno (ceras, aceites, resinas). El contenido de lignina insoluble (25,1%) resulta mayor o igual que lo informado por otros autores en la especie.

Puede considerársela una madera de densidad (normal y básica) mediana ( $600 \text{ kg/m}^3$  y  $517 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente), que se ubica en el rango indicado por otras investigaciones para la especie. La variación entre árboles encontrada para esta propiedad también es reconocida como muy importante, por su naturaleza genética y ambiental, en la literatura referida tanto para latifoliadas de porosidad difusa como para la propia especie.

Al interno de los fustes la densidad muestra variación, con ciertas diferencias entre los sitios, tal como en general se ha descrito en la literatura. A lo largo del fuste, se presentan árboles igualmente densos en todas sus alturas o con la base más densa. A lo ancho del fuste, la zona ubicada alrededor de la médula resulta menos o igualmente densa que el duramen más externo y la albura.

Ni los contenidos de duramen y extractivos, ni el tamaño de las células se muestran relacionados con la variación en la densidad de esta madera. En cambio sí se relaciona la densidad con la edad de los árboles, que estuvo comprendida en el rango 9-32 años.

La madera registra valores de contracción e hinchamiento lineales máximos en las direcciones radial (3,6%) y tangencial (6,6-7,1%) similares a lo informado para la especie. La anisotropía dimensional resultante, levemente inferior a 2 (1,9), permite

indicar que esta madera no presentará problemas relevantes en cuanto a la ocurrencia de anomalías de forma durante el secado.

La madera varía dentro del fuste en relación a los cambios dimensionales lineales máximos: contracción, hinchamiento, coeficiente de contracción y el punto de saturación de las fibras. Los cambios en dirección radial son menores en la región basal de los fustes, sin influencia de la posición médula-corteza. Contrariamente, los cambios en dirección tangencial son mayores en la base con valores mínimos en tejidos cercanos a la médula. Este patrón es contundente en cada sitio. Considerando la región basal de los fustes (hasta el 30% de la altura total) y excluyendo la región próxima a la médula, el recurso implantado en la región provee material con valores uniformes para los cambios dimensionales, al igual que lo hace, como se indicó, respecto a la densidad. Esto conduce a una homogeneidad de la troza de mayor rendimiento en aserrado, muy valorada en relación a su uso final como materia prima sólida.

De acuerdo a su comportamiento mecánico, los valores de resistencias en flexión (90 MPa), en compresión paralela (45 MPa) y perpendicular (12 MPa), en corte (12 MPa), así como del módulo de elasticidad en flexión (10926 MPa) y la dureza (45 MPa), son los esperados para una madera de densidad media y pueden considerarse adecuados para maderas de uso estructural y no estructural. En comparación con lo informado para *A. melanoxylon* en otros países, el material local resulta menos resistente y rígido que materiales portugueses más densos, y que madera chilena de igual densidad, a la que, sin embargo, supera en dureza. Asimismo, frente a otros materiales chilenos de mayor densidad resulta más resistente y dura, aunque menos rígida.

En comparación con la madera de *Eucalyptus grandis*, una importante referencia por su desarrollo actual y su potencialidad futura en el mercado nacional e internacional, se aprecia un excelente comportamiento mecánico de la especie investigada. Por su parte, el hecho de poseer un valor medio de la densidad normal superior al correspondiente a este eucalipto ( $600 \text{ kg/m}^3$  vs.  $540 \text{ kg/m}^3$ ) indica que la madera de *A. melanoxylon* del sudeste de la Provincia de Buenos Aires puede desempeñarse satisfactoriamente en aplicaciones de alto valor agregado, como la ejecución de pisos.

Considerando otra especie comercial del mercado maderero argentino, el “algarrobo negro” (*Prosopis nigra*), utilizado en mueblería con gran aceptación, la madera de *A. melanoxylon* local presenta características resistentes similares en flexión y compresión paralela, siendo mas rígida en flexión estática (10926 MPa vs. 8419 MPa), notoriamente menos dura transversalmente (53,6 MPa vs. 116,6 MPa) y densa a 12% CH (600 kg/m<sup>3</sup> vs. 820 kg/m<sup>3</sup>) y con similar comportamiento anisotrópico (1,9 en *A. melanoxylon* vs. 1,6 en *Prosopis nigra*).

La madera estudiada no varía dentro del fuste en relación al comportamiento mecánico, excluida la dureza que resulta mayor en la región basal. Con ello, la región basal de los fustes, hasta el 30% de la altura total, no sólo ofrece un comportamiento uniforme en relación a la densidad y a los cambios dimensionales sino también en cuanto al comportamiento mecánico.

En la madera investigada se manifiesta una significativa y positiva correlación de la densidad con la contracción e hinchamiento lineales máximos y con el coeficiente de contracción dimensional (coeficientes de correlación del orden de 0,6 - 0,75). Mucho más destacada resulta la relación que vincula a la densidad normal con el comportamiento mecánico. Se registra una relación positiva entre la densidad y las propiedades resistentes (tensión en el límite de proporcionalidad y tensiones de rotura frente a todas las sollicitaciones ensayadas), las de rigidez (módulo de elasticidad) y la dureza, con coeficientes de correlación ubicados en el rango 0,83-0,93.

Las propiedades morfológico-estructurales de la madera de *A. melanoxylon* del recurso local, esto es, las dimensiones celulares, el contenido de duramen y la composición química no están influenciadas por la desuniformidad de edades que caracteriza a estas masas forestales. En cambio, la edad de los árboles influencia la manifestación de su densidad. Debe considerarse que el acervo genético de estas poblaciones (se desconoce el origen del material original) puede estar influyendo en las relaciones estructura de la madera/edad tanto como densidad/edad.

El secado natural en la región, iniciado en el otoño, permite alcanzar el punto de saturación de las fibras en el término del primer mes y lograr en ocho meses la



estabilización del contenido de humedad con un valor de equilibrio higroscópico del 12%.

El proceso de secado natural de esta madera está asociado a la presencia de grietas pequeñas (de cara y de cabeza) y de rajaduras largas. La mayoría de las tablas contiene tejido correspondiente a la médula y todas las rajaduras se localizan en dicho tejido.

En relación a los defectos de origen estructural, en la madera estudiada predominan nudos de cara, pequeños y muy pequeños, firmes y sanos. Están localizados principalmente en la región central de las tablas. El material presenta una ligera desviación de las fibras (4,64%), mayor en la región superior del fuste. Todas las tablas elaboradas contienen albura. Puede indicarse que tres atributos de la madera local de *A. melanoxylon* se apartan de lo admitido en su mercado australiano tanto como de lo admitido para *E. grandis* en Argentina, estos son: la presencia de médula y de rajaduras, y la cantidad de nudos por metro lineal de tabla, esto último sólo en comparación a *E. grandis*.

#### *LAS CONDICIONES QUE LA REGIÓN OFRECE PARA EL CRECIMIENTO DE Acacia melanoxylon Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES DE SU MADERA*

La desuniformidad de edades y el desconocimiento del acervo genético de las poblaciones limitan el análisis de las diferencias de la madera entre los sitios.

Las cuatro poblaciones estudiadas se diferencian en todas las dimensiones celulares estudiadas aunque no en sus tendencias de variación que coinciden con lo informado por la literatura para latifoliadas de porosidad difusa. Estas diferencias otorgan al material regional cierta heterogeneidad, que puede resultar de alguna relevancia en términos tecnológicos. La longitud y el espesor de las fibras se correlacionan negativamente con la tasa de crecimiento que manifiestan los árboles.

Los sitios pueden estar condicionando el contenido de duramen de los árboles. La relación positiva duramen/tamaño y duramen/tasas de crecimiento reconocida en la literatura sobre la especie, se registra también en el recurso local. Los sitios valorados

dasométricamente como los de mayor calidad para el desarrollo de la especie entregan los mayores contenidos de duramen.

Los sitios, con la limitación de análisis inicialmente indicada, también están condicionando a la composición química de la madera de acuerdo a las evidencias aquí encontradas. Los árboles de mayor volumen comercial, o de mayor diámetro o de mayor área/proporción de duramen contienen mayor proporción de lignina y de extractivos en agua caliente. La relación tamaño/duramen y tamaño/composición química aquí descrita explica el mayor contenido de duramen, de lignina y de extractivos en agua caliente de los árboles en los sitios indicados como los de mayor calidad para el desarrollo de la especie, tal el caso de los Tuelches.

Se encontraron diferencias significativas respecto a la densidad de la madera entre los sitios, tanto como respecto a los cambios dimensionales y a las propiedades mecánicas. La variabilidad en densidad no se relacionó con los crecimientos registrados en cada uno de sitios.

#### *PERSPECTIVAS SOBRE LA MADERA DE *Acacia melanoxylon* EN EL SUDESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES.*

La caracterización de las propiedades xilotecnológicas que resulta de la presente investigación permite recomendar el uso de la madera del recurso regional de *A. melanoxylon* para muebles, carpintería de obra (aberturas, pisos aptos para tránsito de mediana intensidad, revestimientos), chapas y láminas para paneles, molduras, productos de madera corta (mangos de herramientas), entre otros. Se la puede considerar como un material de buena trabajabilidad que logrará un adecuado acabado superficial.

Sin embargo, el recurso regional actual está ofreciendo piezas de aserrío de anchos menores, con alta población de nudos (si bien pequeños, sanos y firmes) y alta probabilidad de contener la médula, las cuales son limitantes a superar con el análisis, planificación y ejecución de pautas de ordenación forestal para el recurso.

Los planteos de ordenación forestal en otros países, donde la especie es manejada para producir madera de calidad, se caracterizan por rotaciones (edades de aprovechamiento forestal) más largas que las máximas edades (32 años) que presenta el recurso local investigado. Es usual la práctica de raleos para lograr un control poblacional que conduce a densidades finales no mayores de 400 árboles por hectárea, mucho menor densidad de plantas que la que actualmente corresponde al recurso local (1656 árboles/ha – 2013 árboles/ha). Con ello se entiende la pertinencia del estudio de pautas de ordenación forestal para el recurso, en vista de la producción de madera de calidad para usos sólidos.

Cabe entonces esperar que una Ordenación forestal orientada a lograr una estructura de masa más regular (es decir de edades uniformes), con rotaciones mayores e intervenciones sobre la densidad de plantas, conduzca a mayores y más uniformes desarrollos de los árboles. De acuerdo a los resultados de esta investigación, esos mayores desarrollos estarán asociados a mayores contenidos de duramen, de extractivos y de lignina, éstos últimos mejorando la durabilidad y resistencia de la madera.

Los resultados también indican que la densidad de la madera de *A. melanoxyton* local cobra valor predictivo acerca de su comportamiento físico-mecánico. Esto alienta la realización de nuevas investigaciones orientadas a estudiar la eficiencia de los métodos no destructivos (ultrasonidos, vibraciones flexionales y longitudinales, microondas, entre otros) para predecir las propiedades mecánicas de la especie estudiada. También resulta relevante la relación lineal positiva entre el módulo de elasticidad y la resistencia en flexión estática ( $r: 0,82$ ), que permite ajustar modelos donde dicho módulo explica el 72% de la variabilidad de la resistencia en flexión. Esta asociación resulta mayor que las informadas para *E. grandis* en Argentina y para especies de los géneros *Pinus* y *Picea* en Alemania y Suecia.

Finalmente, las líneas oscuras observadas macroscópicamente dentro del duramen, que no se corresponden con el límite de los anillos, podrían estar asociadas a la presencia de madera de tensión, lo cual ha sido también informado por otros autores en la especie. Tecnológicamente este tipo de leño se considera un defecto, por lo tanto la confirmación de su presencia y su cuantificación sería recomendable en estudios futuros.

La calidad de los sitios, esto es, las condiciones que la región ofrece para el desarrollo de la especie, ha sido investigada dasométricamente en el presente trabajo. Sin embargo, dada la desuniformidad en edades y el desconocimiento de las procedencias geográficas del material original de estos poblamientos, la evaluación del condicionamiento que los sitios están ejerciendo en la manifestación de los atributos tecnológicos puede estar limitada en alguna medida, lo que será necesario investigar en adelante.

En síntesis, la presente investigación, de naturaleza descriptiva inicial sobre el recurso forestal regional de *Acacia melanoxylon*, no agota los aspectos a estudiar en el campo de la xilotecología de la especie. Asimismo, esta Tesis abre nuevos interrogantes de investigación, en el propio campo xilotecnológico tanto como en el de su Ordenación Forestal y Silvicultura. En este sentido será necesario avanzar en una caracterización química completa, caracterizar el material en términos de color, de durabilidad, del comportamiento en el secado, y de la presencia y características de madera de tensión. La puesta a punto de métodos no destructivos para la evaluación de su comportamiento físico-mecánico, aumentando la base empírica para el ajuste de los modelos aquí presentados, así como de otros, tal vez no lineales. Finalmente, en el campo de la Silvicultura de *Acacia melanoxylon* deberán analizarse pautas diversas, entre ellas seguramente las podas y los raleos.

## CAPÍTULO 6 – REFERENCIAS

---

Abreu, D.S.H.; Nascimento, A. M. 1999. Lignin structure and wood properties. *Wood and fiber Science* 31(4): 427-433.

Ananías, A. 1989. Variabilidad de la densidad básica y la contracción en madera de aroma australiano (*Acacia melanoxylon* R.Br). *Revista Ciencia e Investigación Forestal* 3 (6): 118-130.

ASTM D 143. 2007. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. ASTM International, West Conshohocken, USA.

ASTM D 245. 2006. Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM D 3737. 2007. Standard Practice for Establishing Stresses for Structural Glued Laminated Timber (Glulam). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

Bárceñas Pazos, G.M.; Ortega Escalona, F.; Ángeles Álvarez, G.; Ronzón Pérez, P. 2005. Relación estructura-propiedades de la madera de angiospermas mexicanas. *Universidad y Ciencia* 21 (42): 45-55.

Bardi, J.F.; Villacampa, Y.; Losardo, O., Borzone, H.; Cortés, M. 2001. *Acacia melanoxylon* R. Brown: a study of the relationship height-diameter. *Ecosystems and sustainable development III. Advances in Ecological Sciences*.

Barnett, JR.; Bonham, VA. 2004. Cellulose microfibril angle in the cell wall of wood fibres. *Biol. Rev.* 79: 461–472.

Barnett, JR ; Jeronimidis, G. 2003. Wood Quality and its biological basis. CRC Press and Blackwell Publishing. 226pp.

Barrett, W.H; Salvioni, R., 1991. Determinación del porcentaje de corteza en plantas del género *Eucalyptus* en Ramallo Pcia. de Buenos Aires. Jornadas sobre eucaliptos de alta productividad –Buenos Aires. Actas CIEF, Tomo II: 340-344.

Barry, K.M.; Davis, N.W.; Mohammed, C.L.; Beadle, C.L. 2003. Post-harvest chemical staining in Blackwood (*Acacia melanoxylon* R.Br.). *Holzforschung* 57: 230-236.

Beadle, C.; Pinkard, L.; Medhurst, J.; Sands, P. 2004. Silvicultural management of Blackwood: Growth, form and quality. RIRDC Publication N° 04/046. 55 p.

Belvisi, D.; Blanc, P.; Calvo, C.; Cotrina, A.; Cuffré, A.; Larocca, F.; Piter, J.C.; Torrán, E.; Villalba, D. 1998. Utilización de nuestras maderas con fines estructurales – Análisis y propuesta. XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural de la Asociación de Ingenieros Estructurales (AIE), Buenos Aires, 22/09 al 25/09 de 1998. Publicado completo en CD ROM páginas 293-317. Resumen en anales, página 41.

Berthier, S; Kokutse, A.D; Stokes, A; Fourcaud, T. 2001. Irregular Heartwood Formation in Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait): Consequences for Biomechanical and Hydraulic Tree Functioning. *Annals of Botany* 87: 19-25.

Bessa, F; Cosme, M; Quilhó, T; Tavares, F; Pereira, H. 2005. Variação biométrica das fibras de *Acacia melanoxylon* R. Br. para potenciais utilizações. V Congresso Florestal 16-19 Maio. Viseu. Portugal. 2005. Disponible en:  
<http://www.esac.pt/cernas/cfn5/docs/T4-43.pdf>. (Consultada en mayo de 2009).

Bhat, K.M.; Bhat, K.V.; Dhamoradan, T.K. 1990. Wood density and fibre length of *Eucalyptus grandis* grown in Kerala, India. *Wood Fiber Sci.* 22 (1), 54-61.

Bradbury, G.J. 2005. A comparison of timber quality of blackwood grown in young swamp forest, fenced regeneration, and a plantation. *Tasforest* 16: 95-109.

Bureau of Meteorology, Australian Government. 2008. Disponible en <http://www.bom.gov.au/climate/averages/index.shtml>. (consultada en abril 2008).

Cailliez, F. 1980. Estimación del Volumen Forestal y predicción del rendimiento. Vol 1. Estudio FAO: Montes 22/1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. 89p.

Calvo, C.F.; Piter, J.C.; Sosa Zitto, M.A.; Villalva, D. I. 2005. Análisis de la relación entre la dureza y el color en muestras de *Eucalyptus grandis* de Argentina. XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, organizadas por el INTA Concordia y la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Nordeste de Entre Ríos (AIANER). Concordia, 27/10 y 28/10 de 2005. Publicado completo en CD ROM ISSN 1667-9253 con el código 269.

Calvo, C.F.; Cotrina, A.D.; Cuffré, A.G.; Piter, J. C.; Stefani P. M.; Torrán, E.A. 2006. Variación radial y axial del hinchamiento, del factor anisotrópico y de la densidad, en el *Eucalyptus grandis* de Argentina. Revista Maderas Ciencia y Tecnología 8 (3): 159-168.

Campos, A.; Cubillos, G.; Morales, F.; Pastene, A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Instituto Forestal de Chile y Corporación de Fomento de la Producción. Informe Técnico N° 122. 115p.

Castiglioni, J. 1957. El diseño de las maderas. Revista de Investigaciones Forestales Ministerio de Agricultura de la Nación - Argentina. Tomo1 (3): 21-44.

Chowdhury, Q.; Shams, I.; Alam, M. 2005. Effects of age and height variation on physical properties of mangium (*Acacia mangium* Willd.) wood. Australian Forestry 68 (1): 17–19.

Clair, B.; Thibaut, B.; Sugiyama, J. 2005. On the detachment of the gelatinous layer in tension wood fiber. J Wood Sci 51: 218–221.

Clark, N. 2001. Longitudinal density variation in irrigated hardwoods. Appita Journal 54 (1): 49-52.

Coronel, E. O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. Primera Parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Instituto de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina. Serie de publicaciones 9.404. Editorial El Liberal Santiago del Estero-Argentina. 187p.

Coronel, E. O. 1995. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades y sus aplicaciones. 2ª parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas. Instituto de Tecnología de la Madera, Serie de publicaciones 9508. Editorial El Liberal Santiago del Estero- Argentina. 334p.

Crawley, M.J. 2007. The R Book. John Wiley & Sons Ltd Editors, England. 942 p.

Culot, J.Ph. 2000. Caracterización edafo-climática de la región sudeste de la provincia de Buenos Aires para *Eucalyptus globulus*. Primer seminario Internacional de *Eucalyptus globulus* en la Argentina. Mar del Plata, Argentina. Diciembre de 2000. Trabajo completo en Actas: 2-9.

Daniel, P.W.; Helms, U.E.; Baker, F.S. 1982. Principios de Silvicultura. Libros MacGRAW-HILL De México, S.A. 492p.

Dejardin, A.; Laurans, F.; Arnaud, D.; Breton, C.; Pilate, G.; Leple, J.C. 2010. Wood formation in Angiosperms. C. R. Biologies 333: 325–334.

De Zwaan, J.G. 1982. The silviculture of blackwood (*Acacia melanoxylon*). South African Forestry J. 121: 38-43.

DIN 4074-1 (2008) Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 1: Nadelschnittholz. Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4074-5 (2008) Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit – Teil 5: Laubschnittholz. Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag, Berlin.



Downes G. M., Hudson I., Raymond C., Dean A., Micheli A., Schimlek L., Evans R., Muneri A. 1997. Sampling *Eucalyptus* for wood and fibre properties. CSIRO Publishing, Australia. 132 p.

DPE. 2001. Dirección Provincial de Estadística. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. Población total, superficie y densidad de población por Municipio. Disponible en <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/Ftp/Bs.As2001-2005/pobla.htm>. (Consultada en mayo de 2010).

DPE. 2003. Dirección Provincial de Estadística. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. Producto Bruto Geográfico. Desagregación municipal. 103p. disponible en <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/ftp/pbgdesagrmuni.pdf>. (Consultada en abril de 2010).

DPE. 2005a. Dirección Provincial de Estadística. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. Índice Provincial de Actividad de la Construcción por zonas. Disponible en: <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/Ftp/Bs.As2001-2005/cuadros/Construccion/construccion1.xls>. (Consultada en abril de 2010).

DPE. 2005b. Dirección Provincial de Estadística. Ministerio de Economía de la provincia de Buenos Aires. Permisos de edificación por Municipio. Disponible en <http://www.ec.gba.gov.ar/Estadistica/Ftp/Bs.As2001-2005/cuadros/Construccion/permisos03.xls>. (Consultada en mayo de 2010).

Du, S; Yamamoto, F. (2007). An overview of the biology of reaction wood formation. J. Integr. Plant Biol. 49(2): 131–143.

EEA-INTA Balcarce. 2008. Argentina. Instituto de Tecnología Agropecuaria- Información agrometeorológica [Bases en línea] disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/meteor.htm>. (consultada en abril de 2008).

EEA-INTA Balcarce. 2010. Argentina. Instituto de Tecnología Agropecuaria- Información agrometeorológica [Bases en línea] disponible en <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/meteor.htm>. (consultada en mayo de 2010).

EEA INTA Castelar. 2008. Argentina. Instituto de Tecnología Agropecuaria- Información agrometeorológica [Bases en línea]. Disponible en <http://www.inta.gov.ar/castelar/info/meteor.htm>. (consultada en abril de 2008).

EN 338. 2010. Structural timber – Strength classes. European Committee for Standardisation, Brussels.

EN 384. 2010. Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density. European Committee for Standardisation, Brussels.

EN 408. 2010. Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. European Committee for Standardisation, Brussels.

EN 1310. 1997. Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las singularidades. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Madrid, España.

EN 1995-1-1. 2005. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau. Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag, Berlin.

EN 14081-1. 2006. Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements. European Committee for standardization, Brussels.

Espinosa U, M. A. 1997. Estudio de alguna propiedades de la Madera de *Acacia melanoxylon* R.Br. creciendo en la IX región de Chile. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 129p.

Esterhuyse, C.J. 1985. "Site requirements of the most important commercial trees planted in South Africa". South African Forestry Journal 133: 61-66.

Fairweather, J.R.; McNeil, D. 1997. Early growth responses to *A. melanoxylon* to superphosphate, lime and boron. *Australian Forestry* 60 (3): 202-206.

Fangqiu, Z.; Searle, C; Zuxu, C. 2004. Provenance and family variation in survival, height and stem number at 14 months in Guangdong Province China. In: Brown, A.G. (ed) 2004. *Blackwood management: Learning from New Zealand*. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 22 noviembre 2002. p: 63-70.

Fengel, D.; Wegener, G. 1984. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter. Berlín. New York. 613p.

Freire, J.; Tavares, M.; Campos, J. 2003. Ritmos de Crescimento das Especies *Pinus pinaster*, *Acacia melanoxylon* e *Acacia dealbata* nas Dunas do Litoral Norte e Centro. EFN, Lisboa Portugal. *Silva Lusitana* 11(1): 67-76.

Funada, R.; Miura, T.; Shimizu, Y.; Kinase, T.; Nakaba, S.; Kubo, T.; Sano, Y. 2008. Gibberellin-induced formation of tension wood in angiosperm trees. *Planta* 227: 1409–1414.

Geldenhuis, C.J. 1996. The Blackwood Group System: its relevance for sustainable forest management in the southern Cape. *South African Forestry Journal* 177: 7-21.

Geldenhuis, C. J. 2004. *Acacia melanoxylon* in South Africa: commercial and conservation issues in resource management. In: Brown, A.G. (ed) 2004. *Blackwood management: Learning from New Zealand*. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 22 noviembre 2002. p. 30-38.

Gleason, C. D. 1986. Tasmanian blackwood; its potencial as a timber species. NZ. Forestry Service. Annual Report 6-12.

Glos, P.; Diebold, R. 1987. Einfluss verschiedener Sortierbedingungen auf die Biegefestigkeit von Bauholz (Kantholz). Abschlussbericht 84510, Holzforschung Muenchen, Technische Universitaet Muenchen.

Glos, P.; Diebold, R. 1994. Verfahrensentwicklung und Erprobung zur maschinellen Schnittholzsortierung. Abschlußbericht 89505, Institut für Holzforschung der Universität München.

Glos, P. 1995a. Strength grading. In Timber Engineering STEP 1, pp. A6/1-A6/8. Centrum Hout, The Netherlands.

Glos, P. 1995b. Solid timber – Strength classes. In Timber Engineering STEP 1, pp. A7/1-A7/8. Centrum Hout, The Netherlands.

Glos, P.; Lederer, B. 2000. Sortierung von Buchen- und Eichenschnittholz nach der Tragfähigkeit und Bestimmung der zugehörigen Festigkeits- und Steifigkeitskennwerte. Bericht Nr. 98508, Institut für Holzforschung, München.

Golfari, L. 1975. Zonificación ecológica para la forestación en América Latina. 1er. Reunión Nacional sobre Proyectos de Plantaciones Forestales, mayo de 1975. Cuzco (Perú). Actas: C2-4-1 a C2-4-6.

Gominho, J.; Pereira, H. 2000. Variability of heartwood content in plantation-grown *Eucalyptus globulus* Labill. Wood and Fiber Science 32(2): 189-195.

Gominho J.; Pereira, H. 2005. The influence of tree spacing in heartwood content in *Eucalyptus globulus* Labill. Wood and Fiber Science 37(4): 382-390.

González, R.; Pereyra, O.; Suirez, T. 1993. Propiedades físicas y mecánicas del Pino taeda reforestado en la provincia de Misiones, Argentina. Yvyrareta, El Dorado (4): 4-8.

Haslett, A.N. 1986. Properties and utilization of exotic speciality timbers grown in New Zealand, Part II, Australian blackwood *Acacia melanoxylon* R.Br. New Zealand Forest, Forest Research Institute. FRI Bulletin N° 119 (2).

Harris, J.M.; Young, G.D. 1988. Wood properties of Eucalypts and Blackwood grown in New Zealand. The International Forestry Conference for the Australian Bicentenary. Albury, NSW and Wodan. Proceedings, Volume III. 8 pp.

Harrison, C. M. 1974. Heartwood content patterns in *Acacia melanoxylon* in the Southern Cape. *Forestry in South Africa*. 15:31-34.

Harrison, C. M. 1975. Heartwood colour patterns in South Africa *Acacia melanoxylon*. *Forestry in South Africa* 17: 49-56.

Hillis W E. 1980. Some basic characteristics affecting wood quality. *Appita* Vol 33 (5): 339-344.

Hillis, W.E. 1987. Heartwood and tree exudates. Springer Verlag, Berlín, 268pp.

Hillis, W.E., Evans, R.; Russell, W. 2004. An unusual formation of tension wood in a natural forest *Acacia* sp. *Holzforschung* 58: 241-245.

Hoffmeyer, P. 1995. Wood as a building material. In *Timber Engineering STEP 1*, pp. A4/1-A4/21. Centrum Hout, The Netherlands.

IAWA Committee. 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* 10 (3): 219-332.

IERIC. 2005. Instituto de Estadística y Registro de la Industria de la Construcción. Situación actual y evolución reciente del sector de la construcción. 122p. Disponible en: <http://www.ieric.org.ar/descargas/descargas.asp?file=Situacion.pdf&carpeta=estadistica/publicaciones/> . (consultada en junio de 2010).

Igartúa, D.V.; Rivera, S.M.; Monterubbianesi, M.G.; Monteoliva, S.M.; Villegas, M.S., Carranza, S.; Farina, S. 2000. Calidad del leño en *E. globulus* ssp. *globulus*. I-Variación de la densidad básica y la longitud de fibras en una estación del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. UNaM.- Univ. Sao Paulo. Octubre de 2000, Misiones.- Argentina. Trabajo en actas (formato electrónico).

Igartúa, D.V.; Monteoliva, S.; Monterubbianesi, M.G.; Villegas, M.S. 2002. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*: II. Variaciones en la densidad básica y la

longitud de fibras en Lobería, provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata 105(1): 29-39.

Igartúa, D.V.; Monteoliva, S.; Monterubbianesi, M.G.; Villegas, M.S. 2003. Sampling at breast height (bh) level of basic density and fibre length for *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* for parameter prediction of the whole-tree. IAWA Journal 24 (2): 173-184.

Igartúa, D.V.; Monteoliva, S.E.; Núñez, C. 2004. Densidad básica, longitud de fibras y composición química de la madera de *Eucalyptus globulus* en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, argentina. III Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel, Córdoba, España. Trabajo en actas (formato electrónico).

Igartúa, D.; Piter, J.C. 2007. Propiedades físicas de la madera de *Acacia melanoxylon* R.Br. en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires-Argentina. III Congreso Iberoamericano de productos forestales (madereros y no madereros) IBEROMADERA. Ritim – INTA- Inti- Inia- Uca- Buenos Aires, julio de 2007. Trabajo A 43, en actas (CD) formato electrónico.

Igartúa, D.V.; Monteoliva, S.; Piter, J. C. 2009. Estudio de algunas propiedades físicas de la madera de *Acacia melanoxylon* en Argentina. Revista Madera, Ciencia y Tecnología 11 (1): 3-18.

Igartúa, D.V.; Monteoliva, S. 2009. Densidad básica de la madera de *Acacia melanoxylon* R. Br en relación con la altura de muestreo, el árbol y el sitio. Revista Investigación Agraria: Sistema y Recursos Forestales 18 (1): 101-110.

Igartúa, D; Monteoliva, S. 2010. Densidad básica, longitud de fibras y crecimiento en dos procedencias de *Eucalyptus globulus* en Argentina. Bosque 31 (2):150-156.

Infante Gil, S. 1990. Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. 2da. Ed. Editorial Trillas. México. 635p.

INFOR-CONAF. 1997. Instituto Forestal de Chile - Corporación Nacional Forestal, Ministerios de Agricultura de Chile. Monografía de Aromo australiano *Acacia melanoxylon*. Santiago de Chile. 101p.

INTA. 1995. Manual para Productores de Eucaliptos de la Mesopotamia Argentina. Grupo Forestal, EEA INTA Concordia, Argentina.

INTA-CIRN.1979. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales. Carta de suelos de la República Argentina.

IRAM 9502. 1977. Maderas. Definiciones. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 28p.

IRAM 9532. 1963. Maderas. Método de determinación de la humedad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 13p.

IRAM 9541. 1965. Maderas – Métodos de ensayo de compresión axil de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5g/cm<sup>3</sup>. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 8p.

IRAM 9542. 1965. Maderas – Método de ensayo de flexión estática de maderas con peso específico aparente mayor de 0,5g/cm<sup>3</sup>. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 10p.

IRAM 9543. 1996. Método de determinación de las contracciones totales, axil, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina. 6p.

IRAM 9544. 1973. Maderas. Método de determinación de la densidad aparente. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 10p.

IRAM 9545. 1985. Maderas – Método de ensayo de flexión estática. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 11p.

IRAM 9547. 1977. Maderas – Método de determinación de la compresión perpendicular al grano. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 5p.

IRAM 9560. 1981. Piezas de madera. Criterios de evaluación de defectos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 35p.

IRAM 9570. 1971. Maderas – Método de ensayo de la dureza Janka. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 6p.

IRAM 9596. 1990. Maderas – Método para la determinación de la resistencia de las maderas a esfuerzos de corte paralelo a las fibras. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 10p.

IRAM 9662. 2006. Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. 45p.

IRAM 9663-1 (en trámite final de aprobación) Estructuras de madera – madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural – Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

IRAM 9664 (en trámite final de aprobación) Madera estructural – Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires.

Jane F.W. 1956. “The structure of wood”. Adam and Charlesd Black (eds.) London. 478p.

Jennings, S. M. 1998. Managing native forest for Blackwood (*Acacia melanoxylon*) production in north western Tasmania. Australian Forestry 61(2): 141-146.

Jennings, S.; Dawson, J. 1998. Fencing eucalypt coupes for blackwood regeneration. Tasforests 10: 103-113.



Jennings, S.M.; Hickey, J.E.; Candy, S.G. 2000. Comparison of regeneration success of alternative silvicultural treatments in blackwood swamps. *Tasforests* 12: 55-68.

Jennings, S.M. 2003. Alternative fencing materials for blackwood swamp coupes. *Tasforests* 14: 31-40.

Jennings, S. M. 2004. Managing Blackwood in Native Forest in Tasmania. In: Brown, A.G. (ed) 2004. *Blackwood management: Learning from New Zealand*. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 22 noviembre 2002. p. 11- 17.

Jett, J. B.; Zobel, B. J. 1975. Wood and pulping properties of young hardwoods. *Tappi* 58 (1): 92-96.

Johansson, C.J.; Brundin, J.; Gruber, R. 1992. Stress grading of Swedish and German Timber, a comparison of machine stress grading and three visual grading systems. SP Report 1992:23, Swedish National Testing and Research Institute, Sweden.

Joseleau, J.P.; Imai, T.; Kuroda, K.; Ruel, K. 2004. Detection *in situ* and characterization of lignin in the G-layer of tension wood fibres of *Populus deltoides*. *Planta* 219: 338–345.

Kannegiesser U. 1989. Antecedentes generales sobre *Acacia melanoxylon* (aromo australiano). *Ciencia e Investigación Forestal* 7: 90-97.

Klingebiel, A. A, Montgomery, P.H., 1961. Land capability classification. Soil Conservation Service V.S. Gov print office Washington. *Agricultural Handbook* 210. 21p.

Knapić, S.; Tavares, F.; Pereira, H. 2006. Heartwood and sapwood variation in *Acacia melanoxylon* R. Br. trees in Portugal. *Forestry* 79 (4): 371-380.

Knapić, S; Pereira, H. 2005. Within-tree variation of heartwood and ring width in maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management* 210 (1-3): 81-89.

Kojima, M.; Yamamoto, H.; Yoshida, M.; Ojio, Y.; Okumura, K. 2009. Maturation property of fast-growing hardwood plantation species: a view of fiber length. *Forest Ecology and Management* 257: 15-22.

Kuehl RO. 2001. Diseño de experimentos. Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación. 2da Edición. México DF, México. Thomson-Learning. 666 p.

LaSala, A.; Jennings, S. 2008 .Pre-commercial thinning of fenced *Eucalyptus oblicua* regeneration enhances growth of both *Acacia melanoxylon* and *Eucalyptus oblicua*. *Tasforests* 17: 15-27.

Lourenço, A.; Baptista, I.; Gomino, J. 2008. The influence of heartwood on the pulping properties of *Acacia melanoxylon*. *J. Wood Sci.* 54: 464-469.

Mansilla, H.; R. García.; J. Tapia; H. Durán; S. Urzúa. 1991. Chemical characterization of chilean hardwoods. *Wood Sci. Technol.* 25(1): 145-149.

Martínez Crovetto, R. 1947. La naturalización de "*Acacia melanoxylon*" en Balcarce (Provincia de Buenos Aires). *Revista de Investigaciones Agrícolas* 2 (1): 101-102.

Maslin, B. R.; MC Donald, M. W. 2004. *Acacia* Search-Evaluation of *Acacia* as a woody crop option for Southern Australia. Research and Development Corporation. Publication No. 03-017. 260 pp.

Maslin, B. R., Pedley, L. 1982a. The distribution of *Acacia* (*Leguminosae: Mimosoideae*) in Australia. Part 1. Species distribution maps. *Western Aust Herbarium Res Notes* N° 6: 1-128.

Maslin B. R., Pedley, L. 1982b. The distribution of *Acacia* (*Leguminosae: Mimosoideae*) in Australia. Part 2. Lists of species occurring in 1° x 1.5° grid cells. *Western Aust Herbarium Res Notes* N° 6: 129-171.

Maslin, B.R.; Miller, J.; Seigler, D.S. 2003. Overview of the generic status of *Acacia* (*Leguminosae: Mimosoideae*). *Australian Systematic Botany* 16 (1): 1-18.

Matyas C., Peszlen I. 1997. Effect of age on selected wood quality traits of Poplars clones. *Silvae Genetica* 46 (2-3): 64-72.

Medhurst, J.L.; Pinkard, E.A.; Beadle, C.L.; Worledge, D. 2003. Growth and stem form responses of plantation-grown *Acacia melanoxylon* (R. Br.) to form pruning and nurse-crop thinning. *Forest Ecol. and Manag.* 179 (1-3): 183-193.

Monteoliva S; Núñez, C.E; Igartúa: D.V. 2002a. Densidad básica, Longitud de fibras y composición química de la madera de una plantación de *Eucalyptus globulus*. Buenos Aires-Argentina. Congreso Iberoamericano de investigadores en celulosa y papel CIADICYP 2002- 9-12 octubre de 2002, San Pablo Brasil. 13p. Trabajo en Actas formato electrónico.

Monteoliva, S; Senisterra, MG; Marquina, J; Marlats, R; Villegas, MS. 2002b. Estudio de la variación de la densidad básica en siete clones de *Salix*. *Revista Facultad Agronomía La Plata* 105 (1): 29-34.

Monteoliva, S; Marlats, R. 2007. Efecto del sitio, clon y edad sobre el crecimiento y la calidad de madera en sauces de corta rotación. *Revista Investigación Agraria, Sistema y Recursos Forestales* 16 (1): 15-24.

Monteoliva, S. 2007. Salicáceas: variación de la calidad de madera para papel de diario. III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales Madereros (IBEROMADERA). Buenos Aires, Argentina. 3 al 5 de Julio de 2007. Trabajo en actas (formato electrónico).

Monteoliva, S; Igartúa, D.V. 2008. Morfología fibrosa, composición química y densidad de *Acacia melanoxylon*. Estudios preliminares sobre el recurso en Argentina. V Congreso Iberoamericano de Celulosa y Papel (CIADICYP), México, Octubre 2008. Trabajo en actas (formato electrónico).

Monteoliva, S.; Igartúa, D.V.; Matta, E.J. 2009. Color de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en Buenos Aires, Argentina. *Bosque* 30 (3): 192-197.

Monteoliva, S.; Igartúa, D.V. 2010. Variación anatómica de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Rev. Fac. Agr. La Plata 109 (1): 1-7.

Monteoliva, S.; Ciganda, V.; Igartúa, D.V. 2012. Contenido de duramen y de albura en *Eucalyptus globulus* y *Acacia melanoxylon* implantadas en Argentina. Maderas. Ciencia y Tecnología 14 (1): 53-63.

Montgomery, D.C; Peck, E.A; Vining, G.G. 2006. Introducción al análisis de Regresión Lineal. Compañía Editorial Continental. México. 588p.

MRECIyC. 2006. Ministerio de Relaciones Exteriores Comercio Internacional y Culto. Informe sectorial sector maderas. Disponible en [http://www.argentinatradenet.gov.ar/sitio/estrategias/Informe\\_Sectorial\\_Madera.pdf](http://www.argentinatradenet.gov.ar/sitio/estrategias/Informe_Sectorial_Madera.pdf) (Consultada en mayo de 2010).

Muller, U.; Sretenovic, A.; Gindl, W.; Grabner, A; Wimmer, R.; Teischinger, A. 2004. Effects of macro- and micro-structural variability on the shear behavior of softwood. IAWA Journal 25 (2) :231-243.

Mutarelli, E.J. 1963. La Ordenación de bosques. Su aplicación en Argentina. Revista Forestal Argentina. 7(3):75-82.

Nájera Angulo, F.; López Fraile, V. 1969. Estudio de las principales maderas comerciales de frondosas peninsulares. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Madrid. 279pp.

Nicholas, I.; Brown, I. 2002. BLACKWOOD- A Handbook for Growers and Users. Forest Research Bulletin No. 225. New Zealand Forest Research, Rotorua. 100p.

Nicholas, I.D; Young, G.D; Gifford, H.H. 1994. Wood properties of *Acacia melanoxylon*: Variation within and between four seedlots. In: Faces of Farm Forestry, pp.105-110. Proceedings of the Australian Forest Growers Conference, 1994, Launceston, Tasmania.

Nicholas, I. 2007. Understanding blackwood (*Acacia melanoxylon*) markets: an opportunity for improving blackwood plantation returns. Disponible en <http://www.forestry.org.au/pdf/pdf-public/conference2007/papers/nicholas%20draft.pdf> (Consultada en diciembre de 2011).

Nicholas, I.; Gifford, H. 2004. Blackwood growth model and final crop stocking. In: Brown, A.G. ed. Blackwood management: Learning from New Zealand. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 2004. pp. 98-100.

NDS. 2005. National Design Specification for Wood Construction. American Forest & Paper Association, Washington.

Panshin, A; de Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company. 722pp.

Pardé, J. 1961. Dendrometrie. Editions de l'École Nationale des Eaux et Forêts- Nancy. France. 352p.

Parsons, S.; Statham, M.; Brown, D.; Neiseln, W.A. 1997. Studies of animal browning problems in the establishment of eucalypt and blackwood plantations. *Tasforests* 9:163-165.

Pelen, P.; Poblete, H.; Inzunza, L. 1998. Duramen y albura de *Acacia melanoxylon* como materia prima para tableros de partículas. *Bosque* 19 (2): 29-36.

Pérez del Castillo, A. 2001. Propiedades Mecánicas y Calidad de Madera de *Eucalyptus Grandis* del Norte de Uruguay. Informe de Investigación N° 4, LATU, Montevideo.

Perpiñan, E.; Pietrarello, L. 1992. Variabilidad de la densidad y contracción volumétrica de la madera de *Prosopis*. *Invest. Agrar. Sist. Recur. For.* 1 (2): 223-231.

Pettersen, R.C. 1984. The Chemical composition of wood. In: Rowell, R.(ed). 1984. The chemistry of solid wood. Advances in chemistry series 207. American Chemical Society. Washington, DC. Chapter 2, p. 57-126.

Pietarinen, S.P; Willfor, S.M; Sjöholm, R.E; Holmbom, B.R. 2005. Bioactive phenolic substances in important tree species. Part 3: Knots and stemwood of *Acacia crassicarpa* and *A. mangium*. *Holzforschung* 59: 94–101.

Pinilla Suárez, J.C. 2000. Descripción y antecedentes básicos sobre *A. dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*. Revisión Bibliográfica. INFOR. Chile. Informe Técnico 147. 49p.

Pinilla Suárez, J.C.; Gutiérrez Caro, B.; Molina Brand, M. P. 2004. "*Acacia melanoxylon*: Its potential in Chilean Forestry ". In: Brown, A.G. (ed) 2004. Blackwood management: Learning from New Zealand. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 22 noviembre 2002. p. 21-29.

Pinilla Suárez, J.C.; Molina Brand, M.P.; Briones, R.; Hernández Carriaga, G. 2006. Opciones de productos a partir de madera de acacia, y su promoción. Antecedentes de una experiencia con acacias en Chile. *Boletín del CIDEAU* 2:73-92. 20p.

Pinkard, E.A.; Beadle, C.L. 2002. Blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.) plantation silviculture: a review. *Australian Forestry* 65 (1): 7-13.

Pinkard, E.A. 2003. Growth and physiological responses of Blackwood (*Acacia melanoxylon*) growing with a *Pinus radiata* nurse crop following applications of nitrogen and phosphorus. *Trees - Structure and Function*, 17 (4): 325-335.

Pinkard, L.; Medhurst, J.; Beadle, C.; Worledge, D. 2004. Mixed-species plantings with blackwood. In: Brown, A.G. (ed) 2004. Blackwood management: Learning from New Zealand. International Workshop, Rotorua, NZ, 22 noviembre 2002. p. 71-74.

Pinkard, L.; Neilsen, B. 2004. Forest-scale blackwood plantations: The Tasmania experience. In: Brown, A.G. (ed) 2004. Blackwood management: Learning from New Zealand. International Workshop, Rotorua, NZ, 22 noviembre 2002. p. 18-20.

Pita Carpenter, P.A. 1971. Apuntes de Ordenación y Valoración de montes. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid. 149p.

Piter, J.C.; Zerbino, R.L.; Blaß, H.J. 2004a. Visual strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. Strength, stiffness and density profiles and corresponding limits for the main grading parameters. Holz als Roh- und Werkstoff 62: 1-8.

Piter, J.C.; Zerbino, R.L.; Blaß, H.J. 2004b. Machine strength grading of Argentinean *Eucalyptus grandis*. Main grading parameters and analysis of strength profiles according to European standards. Holz als Roh- und Werkstoff 62: 9-15.

Playford, J.; Bell, J.C.; Moran, G.F. 1993: A major disjunction in genetic diversity over the geographic range of *Acacia melanoxylon* R.Br. Australian Journal of Botany 41: 355–368.

Pliura, A.; Yu, Q.; Zhang, Y.; Mackay, J.; Perinet, P.; Bousquet, J. 2005. Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected young poplar hybrid crosses. Forest Science 51 (5): 472-482.

Plomion, C.; Leprovost, G.; Stokes, A. 2001. Wood Formation in Trees. Plant Physiology 127: 1513–1523.

Prodan M, Peters, R; Cox, F.; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, Costa Rica. IICA. 586 p.

Pryor, R.J.; Davidson, N.J.; Close, D.C. 2006. Waterlogging duration: Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R. Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus obliqua* (L'Herit). Austral Ecology 31: 408–416.

Quilhó, T.; Pereira, H. 2001. Within and between-tree variation of bark content and Wood density of *Eucalyptus globulus* in commercial plantations. IAWA Journal 22 (3): 255-265.

Ramírez, J.C.; Schlatter, J. 1998. Análisis de variables de sitio para estimar el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon* R.Br. Bosque 19 (2): 37-51.

Raymond, C.A.; Muneri, A. 2001. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. I. Basic density. Wood Sci. Tech. 35: 27-39.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Rodríguez, S.; Poblete, H. 1990. Aptitud para pulpa y papel de las especies madereras aroma australiano, Sequoia y renoval de raulí. En: Campos, A.; Cubillos, G.; Morales, F.; Pastene, A. 1990. Propiedades y usos de especies madereras de corta rotación. Instituto Forestal de Chile y Corporación de Fomento de la Producción. Informe Técnico N° 122 Segunda Parte. 115p.

Rotelo Agneli, S. 2008. Crecimiento de *Acacia melanoxylon* R. Br. En el sudeste de la provincia de Buenos Aires-Argentina. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Mar del Plata. 97 p.

SAGPyA. 1998. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación, Inventario Forestal de plantaciones forestales. Disponible en: [http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/inventario/inv\\_pag\\_ppal.htm](http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/inventario/inv_pag_ppal.htm). (Consultada en mayo de 2010).

SAGPyA. 2005. Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación. Industrias Forestales. Disponible en <http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/econo/a%F1o2005b.htm> . (Consultada en mayo de 2010).

Sánchez Acosta, M.; Rodríguez, J.; Marco, M. 1985. Physical and Mechanical Properties of Wood of *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden in Concordia, Argentina, CITEMA, Convenio Forestal INTA-IFONA- Provincia de Entre Ríos.

Sands, P. 2004. Modelling response to pruning and nurse crop competition: A work in progress. In: Brown, A.G. ed. Blackwood management: Learning from New Zealand. International Workshop, Rotorua, New Zealand, 22 noviembre 2002. pp. 89-97.



Santos, A.; Anjos, O.; Simões, R. 2005. Avaliação da Qualidade do Papel Produzido com Fibra de *Acacia* spp. *Silva Lusitana* 13 (2): 249 – 266.

Santos, A.; Anjos, O.; Simões, R. 2006. Papermaking potential of *Acacia dealbata* and *Acacia melanoxylon*. *Appita Journal*, 59 (1): 58-64.

Santos, A.; Teixeira, A.; Anjos, O.; Simões, R.; Nunes, L.; Machado, J.S.; Tavares, M. 2007. Utilização Potencial do Lenho de *Acacia melanoxylon* - a Crescer em Povoamentos Puros ou Mistos com *Pinus pinaster* - pela Indústria Florestal Portuguesa. *Silva Lusitana* 15 (1): 57 – 77.

Savidge, R.A. 2003. Tree growth and wood quality. In: Barnett, J.R.; Jeronimidis, G. 2003. *Wood quality and its biological basis*, Blackwell Publ. Ltd., U.K., Cap. 1: 1-29.

SAyDS. 2010. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Comercio Exterior de productos forestales. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=304> . (Consultada en mayo de 2010).

Schlegel, F. 1989. Otra forma de diversificar. *Chile Forestal* N° 159: 26-28. Citado en: INFOR-CONAF, 1997. Instituto Forestal de Chile - Corporación Nacional Forestal, Ministerios de Agricultura de Chile. Monografía de Aromo australiano *Acacia melanoxylon*. Santiago de Chile. 101p.

Scott, D. H. (1902). The old wood and the new. *New Phytologist* 1: 25–30.

Searle, S. 2000. *Acacia melanoxylon* - A review of variation among planted trees. *Aust Forestry* 63 (2): 79-85.

Searle, S.D.; Owen, J.V. 2005. Variation in basis wood density and percentage heartwood in temperate Australian *Acacia* species. *Australia Forestry* 68: 126-136.

Seigler, D.S. 2003. Phytochemistry of *Acacia*- *sensu lato*. *Biochem Syst Ecol* 31: 845-873.

Seydack, A.H.W. 2002. Management options for Australian Blackwood (*Acacia melanoxylon*) in Southern Cape Forests, South Africa. *Southern African Forestry Journal* 196: 55-66.

Shield, E. 2007. Reglas de tipificación de Madera aserrada y secada en horno de *Eucalyptus grandis* en la Mesopotamia Argentina. Estación Experimental Agropecuaria Concordia. Mayo 2007.

Shukla, S.R.; Rao R.V.; Sharma, S.K.; Kumar P.; Sudheendra, R.; Shashikala, S. 2007. Physical and mechanical properties of plantation-grown *Acacia auriculiformis* of three different ages. *Australian Forestry* 70 (2): 86-92.

Siebert, H.; Cerda, J. P. 1994. Aspectos prácticos en la Silvicultura de aromo australiano. En: Actas del tercer taller silvícola de Fundación Chile. Diversificación y Silvicultura, nuevas experiencias. Concepción. Chile. p: 6-16.

Siebert, H.; Bauerle, P. 1995. Aromo australiano (*Acacia melanoxylon*) en plantaciones mixtas. *Revista Ciencias Forestales* 10: 25-36.

Siebert, H. W.; Von Einsiedel, S.; Frejin Truchsess, A. 2003. Mejoramiento de la calidad fustal en plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* al crecer en asociación con *Acacia melanoxylon*. *Bosque* 24 (3): 75-83.

SMN. 2008. Servicio Meteorológico Nacional. Argentina. Disponible en [www.smn.gov.ar](http://www.smn.gov.ar) (consultada en abril de 2008).

Soil Survey Saff. 2006. Soil Taxonomy. Second Edition U.S. Dept. of Agric. Natural Resources Conservation Service. U.S. Government Printing Office, Washington. D.C.

Sosa Zitto, M.A.; Torrán, E. A.; Cuffré, A. G.; Piter, J.C. 2009. Relationship between timber quality and the influence of moisture content above fibre saturation on mechanical properties in beams of fast-growing Argentinean *Eucalyptus grandis*. *European Journal of Wood and Wood Products* 67(1): 47-53.

Steer, P.J. 1995. Timber in construction. In Timber Engineering STEP 1, pp. A5/1-A5/6. Centrum Hout, The Netherlands.

Stokes, A.; Berthier, S. 2000. Irregular heartwood formation in *Pinus pinaster* Ait. is related to eccentric, radial, stem growth. Forest Ecology and Management 135 (1-3): 115-121.

Tasmanian Timber Promotion Board. 2012. Timber Research Unit, University of Tasmania. Disponible en <http://www.tastimber.tas.gov.au>, (Consultada en octubre 2012).

Tavares, F; Quilhó, T; Miranda, I; Bessa, F; Santos, C; Pereira, H. 2009. Caracterização biométrica das fibras da madeira e casca da *Acacia melanoxylon* e *Eucalyptus globulus*. 6to. Congresso Florestal Nacional. Ponta Delgada. Portugal. Outubro 2009. Actas: 554-562. Disponible en [www.esac.pt/cernas/cfn6/ACTAS\\_Congresso.pdf](http://www.esac.pt/cernas/cfn6/ACTAS_Congresso.pdf). (Consultada en agosto de 2009).

TAPPI T204cm- 97. 1997. Solvent extractives of wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos. 4p.

TAPPI T207cm. 1999. Water solubility of wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos. 3p.

TAPPI T222 cm. 1998. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos. 5p.

TAPPI T258om. 1994. Basic density and moisture content of pulpwood. Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, Estados Unidos. 8 p.

Taylor, A.M; Gartner, B.; Morrel, J.J. 2002. Heartwood formation and natural durability – A review. Wood and fiber Science 34 (4): 587-611.

Tinto, J.C. 1997. Tecnología de las maderas argentinas y del mundo. Editorial Agrovot. Buenos Aires. 565 pp.

Tortorelli, L. A. 1956. Maderas y Bosques argentinos. ACME, Bs. As. 910 pp.

Tzu-Cheng Chang, Hui-Ting Chang, Chi-Lin Wu, Shang-Tzen Chang. 2010. Influences of extractives on the photodegradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 95: 516-521.

Unwin, G.L.; Jennings, S.M.; Hunt, M.A. 2006. Light environment and tree development of young *Acacia melanoxylon* in mixed-species regrowth forest, Tasmania, Australia. *Forest Ecology and Management* 233 (2-3): 240-249.

Walker, J.C.F. 2006. "Primary wood processing. Principles and practice". Springer, The Netherlands. Second Edition, 596pp. Disponible en <http://www.springerlink.com/content/u364lp/>. (Consultada en mayo de 2009).

Wilkes, J. 1988. Variation in wood anatomy within species of *Eucalyptus*. *IAWA Bull.* n.s. 9 (1) :13-23.

Wilkins, A.P.; Papassotiriou, S. 1989. Wood anatomical variation of *Acacia melanoxylon* in relation to latitude. *IAWA Bull.* n.s. 10 (2): 201-207.

Yamamoto, H. 2004. Role of the gelatinous layer on the origin of the physical properties of the tension wood . *J Wood Sci* 50:197–208.

Yamamoto, H.; Abe, K.; Arakawa, Y.; Okuyama, T.; Gril, J. 2005. Role of the gelatinous layer (G-layer) on the origin of the physical properties of the tension wood of *Acer sieboldianum*. *Wood Sci* 51: 222–233.

Yanchuk, A.D.; Dancik, B.P.; Micko, M.M. 1983. Intraclonal variation in wood density of trembling aspen in Alberta. *Wood and Fiber Science* 15 (4): 387- 394.

Yang, K.C.; Chen, Y.S.; Chiu, C. 1994. Formation and vertical distribution of juvenile and mature wood in a single stem of *Criptomeria japonica*. *J. For. Res.* 24: 969-975.



