

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestranda
Elizabeth María Weber

Caracterización física y mecánica de *pinus taeda* origen Marion en plantaciones de diferentes edades y determinación de usos potenciales, Misiones, Argentina

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de
“Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”
OTM**

Directora
Dr. Ing. Jorge Matos

Co-Director
MSc. Ing. Teresa Suirezs

Posadas, 2005



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y MECÁNICA DE PINUS
TAEDA ORIGEN MARION EN PLANTACIONES DE
DIFERENTES EDADES Y DETERMINACION DE USOS
POTENCIALES, MISIONES, ARGENTINA**

ELIZABETH MARÍA WEBER

Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales como exigencia parcial de la maestría en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel, orientación: Tecnología de la madera

Director: Dr. Ing. Jorge Matos U.F.Pr.

Co Director: MSc. Ing. Teresa Suirezs, F.C.F.

Eldorado, Misiones
-2005-

A la memoria de mis padres,
a mi esposo Ricardo,
a mis hijos Maevia e Ivan.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora MSc. Ing. Teresa Suirezs, por su apoyo incondicional, orientación durante la elaboración del trabajo.

Al profesor MSc. Ing. Jorge Matos, por su orientación durante la elaboración del trabajo.

Al laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales.

A las empresas LIPSIA y PECOM por el aporte del material para los ensayos.

Al Centro Tecnológico de la Madera de Montecarlo, por el corte y elaboración de las probetas para los ensayos.

A la profesora Silvia Martínez por su colaboración en la traducción del summary.

A Ricardo Callaba por colaborar en todas las etapas del trabajo.

A Oscar Aumer por ceder los dibujos de los esquemas de probetas y ensayos.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo el estudio de las variaciones en las propiedades físicas y mecánicas de la madera con respecto a la edad y a la altura del árbol. Fueron estudiadas dichas propiedades de *Pinus taeda* L. Marion de plantaciones de seis, nueve y dieciséis años del Alto Paraná, se compararon las medias de las distintas edades, se determinó la influencia o efecto de la posición en el árbol y la influencia del sentido del esfuerzo sobre la resistencia. Se determinaron las aptitudes de uso de la madera según sus propiedades físicas y mecánicas a diferentes edades. Para los ensayos se utilizaron seis árboles para cada edad con diámetro a la altura del pecho promedio que representara a esa población, con troncos cilíndricos, rectos, sin bifurcaciones o defectos. Luego se seccionó el tronco en toras de 1,5 m de largo, identificándose cada árbol y cada tora. Se cortaron discos desde la base y luego cada 1,50 m para hallar la densidad en altura. Cada tora se utilizó para la confección de las probetas, previamente se sacaron los listones a utilizar, de sección cuadrada de 80 mm de lado. Los ensayos físicos y mecánicos se determinaron según lo establecen las normas técnicas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), ASTM (American Society for Testing and Materials) y DIN (Deutsche Industrie Norm). Se utilizaron balanza Metler de precisión, balanza digital, calibres, estufas, desecadores y una máquina universal de ensayos SIFIC, de 10 toneladas de capacidad. Los valores de las propiedades de las probetas obtenidos fueron procesados en un programa estadístico, y analizados para cada edad y luego se compararon entre sí. La comparación de los valores medios para todas las edades y propiedades dieron resultados estadísticamente significativos, con lo cual se estableció que con el aumento de la edad aumenta la resistencia de la madera. Se determinó que las propiedades físicas y mecánicas manifiestan una variación en altura, disminuyendo de la base hacia el ápice. El sentido del esfuerzo sobre la resistencia tiene influencia estadísticamente significativa para cada propiedad. Los usos potenciales de estas maderas son de una amplia gama en la industria maderera local. Las maderas obtenidas de las plantaciones de seis años pueden ser utilizadas para pastas, MDF (tablero de fibra de media densidad), aglomerados; las de nueve años permiten los usos anteriores, tableros de partículas orientadas (OSB) y muebles; con las de dieciséis años además de los usos citadas, pueden ser aplicadas con fines estructurales.

SUMMARY

The present work had as an objective the study of the variations of the physical and mechanical properties of wood with regard to the age and the height of the tree. The physical and mechanical properties of *Pinus taeda* L. Marion of plantations of six, nine and sixteen years in the Alto Paraná were studied, the average at different ages were compared, the influence or effect of the position of the samples and the influence of the direction of the stress on the resistance were determined. The aptitudes of wood for its use according to its physical and mechanical properties at different ages were determined. Six trees were used to take samples for each age with an average diameter at breast height that represents the mean population, and cylindrical and straight, right stems, without branches or defects. Then the stems were cut in logs of 1,50 m of length, identifying each tree and each log. Disks from the base and at each 1,50 m, were cut, to find the density in height. For making the test tubes, sticks from each log with a square section of 80 mm each side were used. The physical and mechanical samples were determined according to IRAM (Argentinean Institute of Rationalization of Materials) technical norms, ASTM (American Society for Testing and Materials) and DIN (Deutsche Industrie Norm). A Metler precision digital scale, gauges, oven with temperature control and a SIFIC universal testing machine, with 10 tons of capacity, were used. The obtained values of the properties of the samples were processed by statistical software, and analyzed for each age and then compared to each other. The comparison of the average values for all the ages and properties were statistically significant, confirming that with the increase in age, wood resistance increases. It was determined that the physical and mechanical properties show a variation in height of the trees, diminishing from the base toward the apex. For each property the direction of the stress has a statistically significant influence on resistance. There is a wide range of potential uses for the studied wood in local timber industry. Wood obtained from six year-old plantations can be used for cellulose, MDF (Medium-Density Fibreboard), and timber boards; those of nine years allow the previously mentioned use, boards of oriented particles (OSB) and also for furniture; with those of sixteen years besides the mentioned uses, they can be used as structural timber.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
SUMMARY	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FOTOS.....	xiii
1 INTRODUCCION.....	1
HIPOTESIS.....	6
OBJETIVOS.....	6
2 REVISION BIBLIOGRAFICA	7
2.1 Coníferas.....	7
➤ <i>Definiciones de la madera.....</i>	<i>7</i>
➤ <i>Microestructura de las maderas de coníferas</i>	<i>7</i>
➤ <i>Pinus taeda L.....</i>	<i>9</i>
2.2 Propiedades.....	10
➤ <i>Propiedades Físicas.....</i>	<i>11</i>
<i>Densidad o Peso específico de la madera.....</i>	<i>11</i>
<i>Densidad aparente.....</i>	<i>12</i>
<i>Densidad aparente estacionada.....</i>	<i>12</i>
<i>Densidad aparente anhidra.....</i>	<i>12</i>
<i>Densidad aparente básica.....</i>	<i>13</i>
<i>Humedad de la madera.....</i>	<i>14</i>
<i>Agua libre.....</i>	<i>14</i>
<i>Agua higroscópica.....</i>	<i>14</i>
<i>Agua de constitución.....</i>	<i>15</i>
<i>Contenido de humedad.....</i>	<i>15</i>
<i>Determinación del contenido de humedad en la madera</i>	<i>15</i>
<i>Humedad de equilibrio en la madera.....</i>	<i>16</i>
<i>Hinchamiento y contracción de la madera</i>	<i>16</i>
<i>Hinchamiento</i>	<i>17</i>
<i>Contracción.....</i>	<i>17</i>
<i>Contracción total.....</i>	<i>17</i>
<i>Coefficiente de retractabilidad o retracción de la madera.....</i>	<i>18</i>
<i>Anisotropía del hinchamiento y de la contracción.....</i>	<i>18</i>
<i>Punto de saturación de las fibras (PSF)</i>	<i>19</i>
2.2.1 <i>Datos y propiedades físicas para distintas edades y autores.....</i>	<i>20</i>
➤ <i>Propiedades mecánicas de la madera.....</i>	<i>22</i>
<i>Flexión estática</i>	<i>23</i>
<i>Módulo de rotura a la flexión estática.....</i>	<i>24</i>

<i>Módulo de elasticidad a la flexión estática</i>	24
<i>Compresión paralela a las fibras</i>	25
<i>Módulo de rotura a la compresión</i>	25
<i>Módulo de elasticidad de la compresión</i>	26
<i>Tensión en el límite proporcional</i>	26
<i>Dureza Janka</i>	26
<i>Corte o cizallamiento paralelo a las fibras</i>	27
<i>Tracción perpendicular a las fibras</i>	28
<i>Clivaje o rajadura</i>	29
➤ <i>Factores que influyen en la resistencia de la madera</i>	29
2.2.2 Datos y propiedades mecánicas para distintas edades y autores.....	31
2.3 Aptitudes de uso de las maderas	34
3 MATERIALES Y METODOS	39
➤ <i>Datos de las plantaciones</i>	39
<i>Datos de árboles de 6 años</i>	39
<i>Datos de árboles de 9 años</i>	39
<i>Datos de árboles de 16 años</i>	40
➤ <i>Datos climáticos de la zona</i>	41
➤ <i>Selección del material</i>	41
3.1 Ensayos de las propiedades físicas	43
<i>Densidad Básica</i>	43
<i>Densidad anhidra y estacionada</i>	44
<i>Humedad</i>	44
<i>Contracciones</i>	45
<i>Contracción total</i>	45
<i>Coficiente de retracción</i>	45
<i>Anisotropía de contracción</i>	45
<i>Punto de saturación de las fibras (PFS)</i>	46
3.2 Ensayos de las propiedades mecánicas	46
<i>Flexión estática</i>	46
<i>Módulo de elasticidad</i>	47
<i>Módulo de rotura</i>	47
<i>Tensión en el límite proporcional</i>	47
<i>Tracción perpendicular a las fibras</i>	48
<i>Rajadura o clivaje</i>	49
<i>Dureza Janka</i>	49
<i>Corte o cizallamiento paralelo a las fibras</i>	50
<i>Compresión paralela a las fibras</i>	51
<i>Módulo de elasticidad de la compresión</i>	52
<i>Módulo de rotura a la compresión</i>	52
<i>Tensión en el límite proporcional</i>	52
3.3 Equipo y Material de Laboratorio	53
3.4 Procesamiento de datos	54
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.1 Ensayos de las propiedades físicas	56
<i>Densidad Básica</i>	56
<i>Densidad anhidra y estacionada</i>	60

<i>Humedad y Punto de saturación de las Fibras (PSF)</i>	60
<i>Contracciones</i>	61
<i>Contracción total y coeficiente de retracción</i>	61
<i>Tangencial</i>	61
<i>Radial</i>	63
<i>Contracción volumétrica (%)</i>	64
<i>Anisotropía de contracción</i>	65
4.2 <i>Ensayos de las propiedades mecánicas</i>	66
<i>Flexión estática</i>	66
<i>Tracción perpendicular a las fibras</i>	69
<i>Rajadura o clivaje</i>	71
<i>Dureza Janka</i>	73
<i>Corte o cizallamiento paralelo a las fibras</i>	76
<i>Compresión paralela a las fibras</i>	78
4.3 <i>Aptitudes de uso de las maderas</i>	83
4.4 <i>Actualidad</i>	85
4.5 <i>Resumen de las propiedades físicas y mecánicas</i>	86
5 CONCLUSIONES	87
6 BIBLIOGRAFIA	89
ANEXO I: Tablas de análisis de variancia y test de Tukey para 6 años	93
ANEXO II: Tablas de análisis de variancia y test de Tukey para 9 años.....	99
ANEXO III: Tablas de análisis de variancia y test de Tukey para 16 años.....	108
ANEXO IV: Tablas de análisis de variancia y test de Tukey para la comparación entre edades.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Ubicación de Argentina	1
Figura 1.2: Mapa forestal, señalando la provincia de Misiones	2
Figura 1.3: Imagen de mosaico satelital de forestaciones de Misiones.....	3
Figura 1.4: Estimación de la Distribución del Consumo de Madera Aserrada en Argentina 2000.....	4
Figura 1.5: Destino de las Exportaciones Argentinas de Madera Aserrada.....	5
Figura 2.1: Estructura microscópica de las coníferas.	8
Figura 2.2: Área de distribución natural del <i>Pinus taeda</i> , EE.UU.	9
Figura 2.3: Porcentaje de hinchamiento y contracción de la madera	16
Figura 2.4: Representación de la Ley de Hooke para madera.....	23
Figura 3.1: Esquema del corte de toras y discos.....	42
Figura 3.2: Esquema de secciones y cuñas dentro de un disco	43
Figura 3.3: Dimensiones de probeta de contracción en mm.	45
Figura 3.4: Esquema de dimensiones (mm) de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de flexión estática.	46
Figura 3.5: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de la tracción perpendicular a las fibras.....	48
Figura 3.6: Esquema de dimensiones de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de clivaje o rajadura.....	49
Figura 3.7: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de la dureza Janka.....	50
Figura 3.8: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas del corte o cizallamiento.	50
Figura 3.9: Dimensión de las probetas (mm) y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de compresión paralela a las fibras.	51
Figura 4.1: Valores medios de la densidad básica de las tres plantaciones según sección.....	57
Figura 4.2: Comparación de medias de la densidad básica de las tres edades.	58
Figura 4.3: Comparación de medias de la densidad básica por discos y edad.	59
Figura 4.4: Comparación de medias de la contracción total tangencial de las tres edades.....	62

Figura 4.5: Comparación de medias de la retracción total y coeficiente de retracción tangencial por tora y edad.	62
Figura 4.6: Comparación de medias por tora y edad de la contracción total y coeficiente de retracción radial.....	63
Figura 4.7: Representación de las contracciones volumétricas para cada edad	64
Figura 4.8: Variación de la contracción volumétrica, tangencial y radial con respecto a las toras de las edades 9 y 16.....	65
Figura 4.9: Variación de la anisotropía por tora y edad.....	66
Figura 4.10: Representación gráfica de la curva de elasticidad a la flexión de una probeta de 6 años.....	66
Figura 4.11: Comparación de medias del Módulo de elasticidad de las tres edades	68
Figura 4.12: Variación del Módulo de elasticidad por tora y edad.	69
Figura 4.13: Comparación de medias de la tracción perpendicular a las fibras de las tres edades en el sentido radial y tangencial.	70
Figura 4.14: Variación de la tracción perpendicular en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.....	71
Figura 4.15: Comparación de medias de rajadura o clivaje de las tres edades.	72
Figura 4.16: Variación de la rajadura o clivaje en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.....	73
Figura 4.17: Comparación de medias de la dureza Janka por superficie y edad.....	75
Figura 4.18: Variación en altura de la dureza Janka por superficie y edad.....	76
Figura 4.19: Comparación de corte o cizallamiento de las tres edades.	77
Figura 4.20: Variación del corte paralelo a las fibras en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.....	78
Figura 4.21: Curva de elasticidad a la compresión de una probeta de 16 años.....	79
Figura 4.22: Comparación de medias del Módulo de elasticidad de las tres edades	81
Figura 4.23: Variación del Módulo de elasticidad por tora y edad de la compresión paralela a las fibras.	82

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1: Resultados medios de densidad específica de discos colectados en 5 alturas a lo largo del fuste de <i>Pinus taeda</i> de 30 años. Brasil.....	20
Tabla 2.2: Medias de ensayos físicos de <i>Pinus taeda</i> de 13 y 14 años de edad.	20
Tabla 2.3: Medias de ensayos físicos de <i>Pinus taeda</i> de 14 años de edad.	20
Tabla 2.4: Medias de ensayos físicos de <i>Pinus taeda</i> de 21 años de edad.....	21
Tabla 2.5: Resultados de propiedades físicas <i>Pinus taeda</i> de 18 años de edad, Brasil	21
Tabla 2.6: Datos de densidades básicas medias de tarugos según clase de edad en el Norte de Misiones.....	21
Tabla 2.7: Medias de ensayos de flexión (kg/cm^2) de <i>Pinus taeda</i> de 30 años de edad, Brasil.....	31
Tabla 2.8: Flexión estática de <i>Pinus taeda</i> en kg/cm^2 de 18 años	32
Tabla 2.9: Medias de ensayos de compresión (kg/cm^2) de <i>Pinus taeda</i> de 30 años de edad.....	32
Tabla 2.10: Medias de ensayos mecánicos de <i>Pinus taeda</i> de 13 y 14 años de edad.	32
Tabla 2.11: Medias de ensayos mecánicos de <i>Pinus taeda</i> de 14 años de edad.....	33
Tabla 2.12: Medias de ensayos mecánicos de <i>Pinus taeda</i> de 21 años de edad.....	33
Tabla 2.13: Medias de ensayos de densidad y flexión de <i>Pinus taeda</i> de 11 y 21 años de edad en Brasil.	34
Tabla 3.1: Datos de DAP y altura de los 6 árboles de 6 años de edad.....	39
Tabla 3.2: Datos de DAP y altura de los seis árboles de 9 años de edad	40
Tabla 3.3: Datos de DAP y altura de los seis árboles de 16 años de edad	40
Tabla 3.4: Datos meteorológicos de la zona norte de Misiones	41
Tabla 3.5: Diámetros y alturas promedios de las tres plantaciones	41
Tabla 4.1: Valores medios de densidad básica de las tres plantaciones.....	56
Tabla 4.2: Valores medios, desvío y coeficiente de variación (CV) de densidad básica para las tres edades.....	57
Tabla 4.3: Valores medio de la densidad anhidra y aparente de los 6, 9 y 16 años.	60
Tabla 4.4: Valores de Humedad promedio, desvío estandar (DS) y coeficiente de variación (CV) de las tres edades.	60

Tabla 4.5: Valores de Punto de saturación de fibras, desvío estandar (DS) y coeficiente de variación (CV) de las tres edades.....	61
Tabla 4.6: Valores promedios, desvío estándar (DS), coeficiente de variación (CV) en el sentido tangencial de la contracción total y coeficiente de retracción. .	61
Tabla 4.7: Valores promedios, desvío estándar (DS), coeficiente de variación (CV) en el sentido radial.....	63
Tabla 4.8: Valores medios de anisotropía para cada edad.....	65
Tabla 4.9: Valores medios de flexión, del Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional para las tres edades.	68
Tabla 4.10: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) de la tracción perpendicular de las tres edades en kg/cm^2	70
Tabla 4.11: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) del clivaje de las tres edades en kg/cm	72
En la figura 4.15 podemos ver la comparación de medias de los valores de clivaje de las tres edades.....	72
Tabla 4.12: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) de dureza Janka de las tres edades en kg/cm^2	74
Tabla 4.13: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 9 a 16 años de la dureza Janka.	75
Tabla 4.14: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) del corte de las tres edades en kg/cm^2	77
Tabla 4.15: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 16 y 9 años de la dureza Janka.	78
Tabla 4.16: Valores medios de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional para las tres edades de la compresión paralela.	80
Tabla 4.17: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 16 y 9 años de compresión paralela.....	82

LISTA DE FOTOS

Foto 1: Madera de pino	34
Foto 2: Marcos de cuadro	34
Foto 3: Celulosa sin blanquear, blanqueada y rollo de papel.....	35
Foto 4: Cajas, tarimas, jaulas	35
Foto 5 : Tableros de OSB y pisos de OSB	35
Foto 6: Machimbre con distintos revestimientos y sin revestir	36
Foto 7: Contrapuertas de pino	36
Foto 8: Viga multilaminada curvada, vigas laminadas y maciza en techos.....	36
Foto 9: Tirantes de madera maciza, tablas con uniones finger y tablero de listones.	37
Foto 10: uso de la madera de pino para casas, pisos, terciados impregnados para paredes.....	37
Foto 11: Puertas, caja de embalajes, carretes.....	38
Foto 12: Muebles de dormitorio y de jardín.....	38
Foto13: Máquina Universal de la Facultad de Ciencias Forestales.....	53

1 INTRODUCCION

La República Argentina,(figura 1.1) tiene aproximadamente 34 millones de hectáreas de bosque de los cuales un millón corresponden a plantaciones y el resto a formaciones de bosques autóctonos.(1);(2)

Los bosques implantados en Misiones están constituidos principalmente por especies exóticas de rápido crecimiento, coníferas: *Pinus elliotti*, *P. taeda*, *P. caribaea*, *Araucaria angustifolia* (nativa), Latifoliadas: *Eucalyptus dunnii*, *E. saligna*, *E. grandis*, *Melia Azedarach*, *Pawlonia* sp., *Toona ciliata*, *Grevillea robusta* y en menor medida, especies latifoliadas nativas, Cañafistola (*Peltophorum dubium*), Guatambú (*Balphorodendron riedelianum*), Loro Blanco (*Bastardiopsis densiflora*). (3); (1)



Figura 1.1: Ubicación de Argentina

La superficie implantada se ha incrementado notablemente en el decenio 1992-2000, alcanzándose una dinámica de forestación de 7.347 hectáreas en 1992 y cerca de 50 mil hectáreas en el año 1999 y que continúa en aumento.

En Misiones la superficie de bosques implantados alcanza la cifra de 384000 hectáreas, se han cartografiado las plantaciones visibles en las imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ del año 2000, con plantaciones logradas al año 1996, en escala 1:25.000, las estimaciones del año 1997-2000, donde puede observarse la localización de las forestaciones de coníferas y eucaliptos por clase de edad, además de la volumetría, con lo que se ha conformado una base de datos en la Subsecretaría de Bosques y Forestación. (2);(3)

La economía de la Provincia de Misiones, (figura 1.2) se basa principalmente en la actividad foresto industrial y en la agricultura. La provincia cuenta actualmente con un total de 384.000 ha de plantaciones forestales, en su mayoría de coníferas (pinos y Araucaria), 165.000 ha se encuentran en la zona norte centro, principalmente en los departamentos de Eldorado, Iguazú y Montecarlo. Estas zonas tienen un alto potencial para la producción forestal. Las condiciones climáticas y edáficas son óptimas para el crecimiento de una diversidad de especies forestales con aptitud de uso industrial. Los pinos son las especies menos exigentes y pueden lograr buenos rendimientos comerciales en diferentes suelos.

Con el manejo actual de las plantaciones de *Pinus*, los turnos de corta más comunes para aserrío son de 20 a 22 años y su rendimiento por su rápido crecimiento en *Pinus taeda* se sitúa entre 27 m³/ha año y 33 m³/ha año.

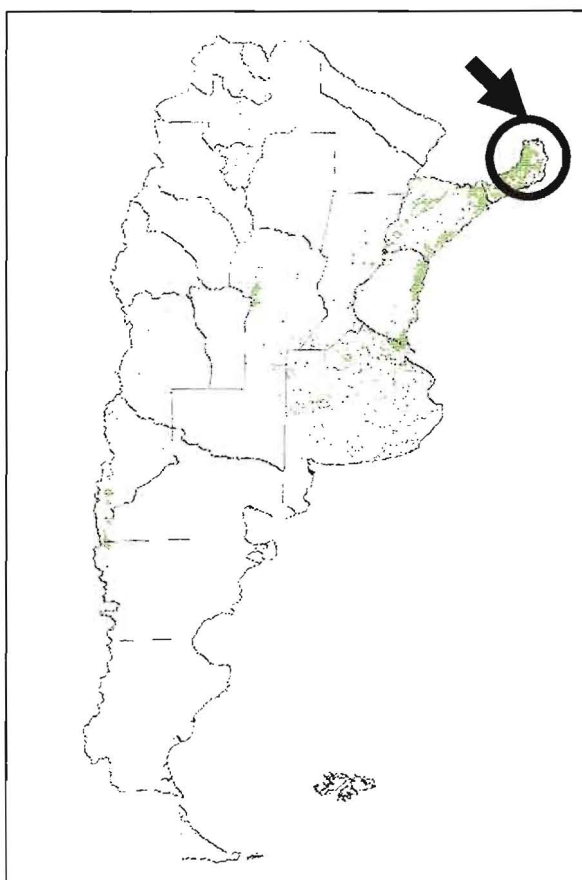


Figura 1.2: Mapa forestal, señalando la provincia de Misiones

Según estudios realizados se ha determinado que el mejor origen *del Pinus taeda* es el Marion y actualmente es el más plantado. (5)

Actualmente se están haciendo numerosos estudios sobre el *Pinus taeda* Marion, sobre densidad de plantación, intensidad de raleo, huertos semilleros, densidad básica, etc.

Es importante determinar las propiedades físico mecánicas del *Pinus taeda* Marion de forma tal de determinar su uso en la foresto industria. De esta manera se

podrá recomendar el uso más adecuado del mismo, ya sea para madera estructural o para muebles etc. (tirantes, vigas laminadas, tablas, machimbres y debobinado).

En Misiones las plantaciones forestales abarcan 384.000 ha, figura 1.3.

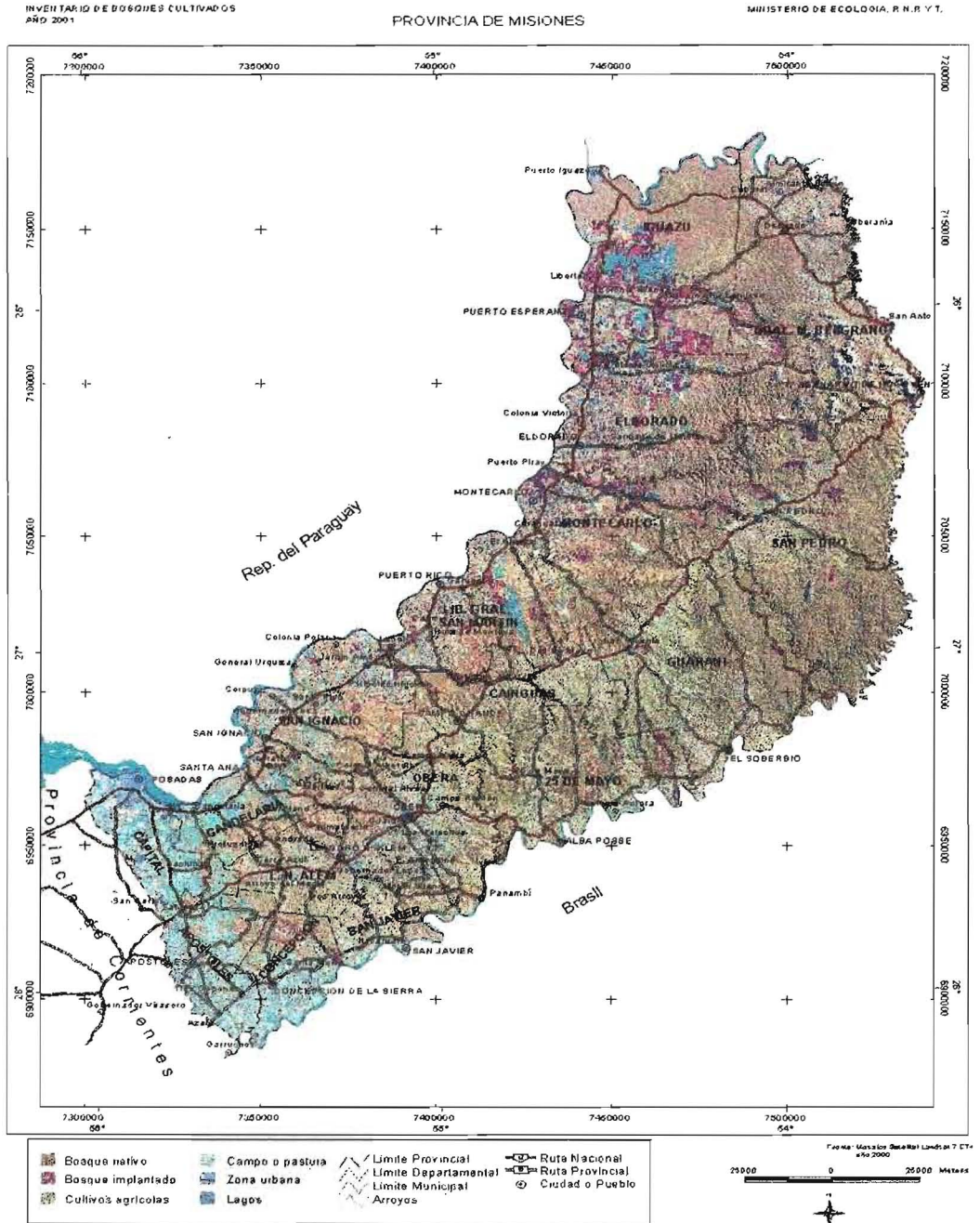


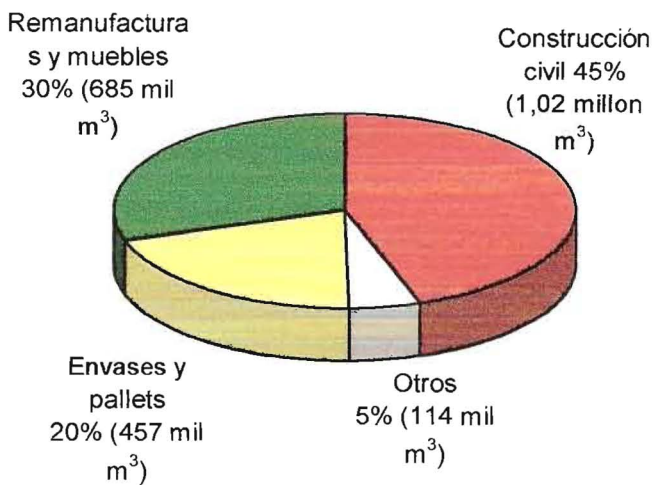
Figura 1.3: Imagen de mosaico satelital de forestaciones de Misiones

El sector forestal produce madera de calidad y que abastece a la cadena de valor agregado con grandes firmas o empresas que producen madera simplemente aserrada y seca, tableros de madera reconstituida, multilaminados, pasta y 1500 PyMEs (pequeñas y medianas empresas) que remanufacturan, producen partes de muebles, aberturas, carpintería y artesanales.

La producción de rollo en la Argentina es de 5 millones de metros cúbicos, de los cuales 3,3 millones son de Misiones, que representa el 70 % de la producción de Argentina. (6);(2)

En cuanto a la especie considerada en este trabajo, en la década del 80 se realizaron numerosas plantaciones. En estos últimos años se vienen desarrollando muchos proyectos y estudios de investigación sobre la especie; se tiene las tesis del efecto de la impregnación de la madera en las propiedades SUIREZS,T.(7) y el estudio de curvas de secado ZADERENKO, C.(8).

El principal segmento consumidor de madera aserrada de Argentina es la construcción civil. Se estima que un 45 % del consumo de madera aserrada está concentrado en el segmento de construcción civil, seguido por el segmento de remanufacturas y muebles con un 30 % y por el segmento de envases y pallets representando un 20 %, como ilustra la figura 1.4. (9)

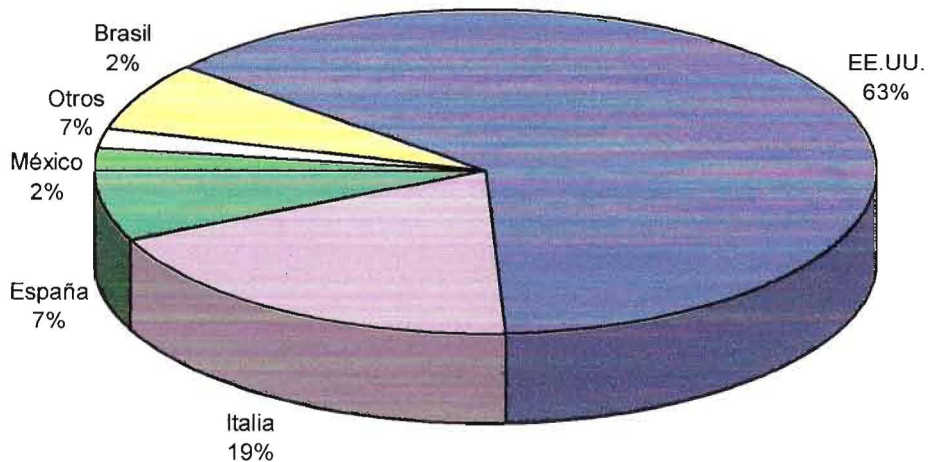


Elaboración: STCP

Figura 1.4: Estimación de la Distribución del Consumo de Madera Aserrada en Argentina 2000.

La madera aserrada de Pino es empleada principalmente en la construcción de estructuras de techos (tiranería) y encofrados, estos últimos, productos de baja calidad a reducidos precios. La madera aserrada de Pino también es consumida por el segmento de remanufactura para la producción de machimbre, molduras, tableros de listones y otros productos de alto valor agregado para exportación (9).

Los EE.UU. son los principales importadores de madera aserrada de Argentina, seguido por Italia. En el 2000 las exportaciones a EE.UU. representaron un 63 %, y a Italia un 19 %. Participaciones poco significativas son verificadas para España, Brasil y México, como se presenta en la figura 1.5.



Elaboración: STCP, basado en datos de INDEC

Figura 1.5: Destino de las Exportaciones Argentinas de Madera Aserrada

Debido al rápido crecimiento de la especie, la mayor cantidad de superficie implantada, a los nuevos productos elaborados con un elevado valor agregado y al aumento de las exportaciones de esta madera se plantearon la siguiente hipótesis y objetivos.

HIPOTESIS

Existen variaciones en las propiedades físicas y mecánicas de la madera con respecto a la edad y la altura del árbol.

OBJETIVOS

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas de *Pinus taeda* Marion de plantaciones de 6, 9 y 16 años del Alto Paraná de la provincia de Misiones Argentina..
 - Comparar las medias de las distintas edades.
 - Determinar la influencia o efecto de la posición en el árbol.
 - Determinar la influencia del sentido del esfuerzo sobre la resistencia.
- Determinar las aptitudes de uso de la madera con mayor valor agregado, según sus propiedades físicas y mecánicas a diferentes edades.

2 REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Coníferas

➤ *Definiciones de la madera*

La madera es un material de estructura compleja y de carácter anisótropo, que forma un tejido leñoso, fisiológicamente inactivo. (10)

La madera es una sustancia orgánica vegetal más o menos dura, compacta y fibrosa que se extrae de los árboles y con la cual el hombre fabrica los más variados objetos para la vivienda y el uso diario. (11)

➤ *Microestructura de las maderas de coníferas*

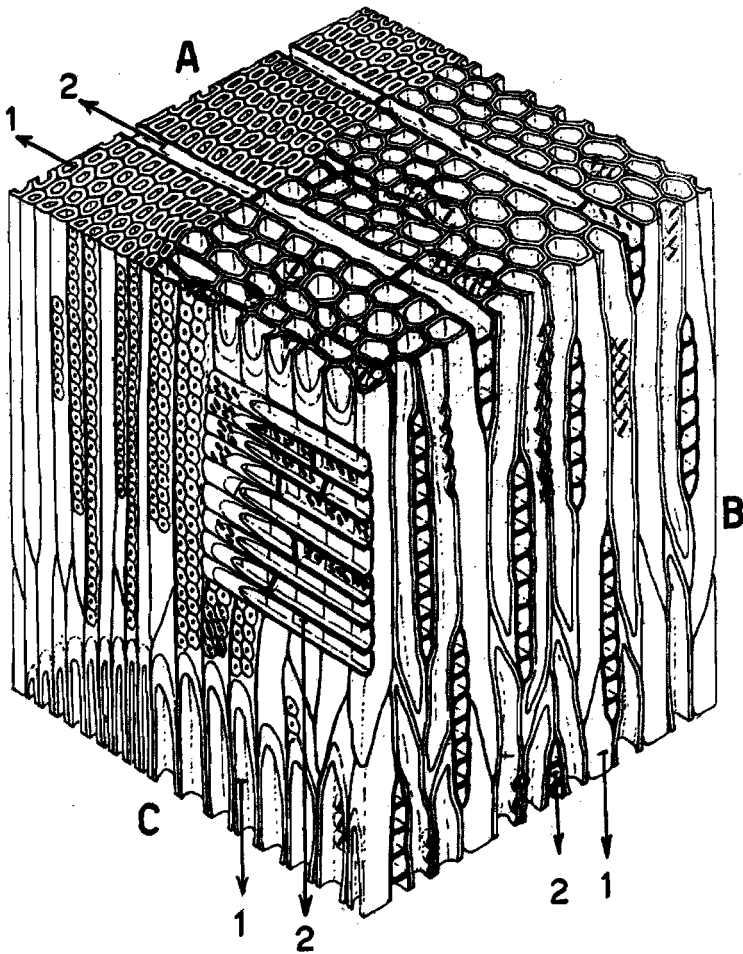
Las maderas de coníferas están constituidas principalmente por traqueidas longitudinales que ocupan un volumen de 90 a 94% de la madera. Estas células, en conjunto con un pequeño número de otras células (traqueidas en series verticales, parénquima longitudinal y células epiteliales), que pueden o no estar presente, comprenden el sistema vertical o longitudinal de la madera.

El sistema transversal consiste principalmente de radios parenquimáticos y un pequeño número de traqueidas y células epiteliales que son encontradas en algunas especies. De manera simplificada, la madera presenta dos sistemas interrelacionados, que son el sistema longitudinal compuesto de traqueidas no vivas y un sistema transversal, los radios conformados por células parenquimáticas vivas.

Las traqueidas longitudinales del leño temprano son de mayor diámetro, tienen paredes celulares más delgadas y lúmenes mayores que las del leño tardío. Las paredes de ambos están caracterizadas por la presencia de puntuaciones areoladas con torus, estructuras que permiten la circulación de los líquidos de traqueida en traqueida. La longitud, superposición de los extremos y las puntuaciones areoladas con torus de las traqueidas ofrecen un pasaje ideal para la circulación de líquidos; y sus paredes rígidas son muy efectivas para cumplir la función de conducción y sostén en el árbol vivo.

Las células parenquimáticas vivas, son considerablemente más pequeñas que las traqueidas longitudinales, cumplen la función de reserva, sus paredes delgadas poseen puntuaciones simples con membranas imperforadas. (12)

En la figura 2.1 se pueden ver las distintas caras con la disposición de los elementos constitutivos de una conífera.



Cubo de conífera. A cara transversal , B longitudinal tangencial y C longitudinal radial, los elementos constitutivos del plan leñoso numerados: 1 las traqueidas y 2 los radios leñosos. En la cara radial se notan las puntuaciones con aréola.

Figura 2.1: Estructura microscópica de las coníferas.

Fuente: Tortorelli 1956.(13)

➤ *Pinus taeda* L

Familia: Pinaceae

Nombre común: Pino taeda, Pino incienso

Distribución geográfica: Crece espontáneamente en Carolina, Florida, Texas, Virginia de EE.UU. En el norte se desarrolla especialmente sobre terrenos secos y arenosos; más al sur, de preferencia en los terrenos bajos, húmedos, y en estas condiciones su madera, por el rápido crecimiento, es de calidad inferior, muy rica en albura. Es rústico y prospera mejor en suelos arenosos, fértiles. En Virginia, donde crece lentamente, los anillos de crecimiento son estrechos y la albura menos amplia, utilizándose para algunas construcciones.

Descripción: Es un árbol que alcanza 24 a 45 metros de altura con corteza gris ceniza o amarillento, gruesa y escamosa. Hojas persistentes, aciculares, reunidas de a 3, largas de 15 a 20 cm, finamente seruladas, verde claro. Conos de 8 a 12 cm de longitud, cilíndrico-cónico o un poco aplanados arriba, castaño rosado, algo lustrosos, espinulosos, casi siempre solitarios.

En Misiones se cultivan especies de diversos orígenes como Marion, Livingston. (12).



Figura 2.2: Área de distribución natural del *Pinus taeda*, EE.UU.

Fuente: Investigación Forestal al Servicio de la Producción. Resultados y avances para la Región Noroeste Argentino pias8595 (14)

Descripción microscópica: Anillos de crecimiento con transición brusca entre leño inicial y tardío, alternando anillos estrechos y anchos. Las traqueidas axiales en el leño inicial son de sección poligonal sin meatos intercelulares, con paredes finas, y en el leño tardío las paredes son más gruesas, de sección rectangular con ancho radial menor. Puntuaciones areoladas de mayor diámetro y cantidad en el leño tardío que en el temprano. Radios uniseriados predominantes, con una a catorce células de altura. Campo de cruzamiento con una o seis puntuaciones pinoideas. Canales resiníferos axiales y radiales, de origen esquizógena, con una o más capas de células epiteliales finas. (15)

El material fue introducido en el país en 1980, y se trata de *Pinus taeda*, Florida, Marion County, que ha demostrado un excelente desarrollo, con un crecimiento de 34 m³/ha/año. (16)

BUNSE,(17), en un estudio realizado determinó que el *Pinus taeda* superó al resto de las especies y el origen Marion fue el de mayor crecimiento, a los 5 años. Al igual, FASSOLA et. al. (18) a los 6 años de edad, establecieron que el origen Marion dio un crecimiento de 35 m²/ha de área basal.

2.2 Propiedades

Las propiedades tecnológicas de la maderas, tienen por finalidad prever el comportamiento de la misma o de un elemento estructural ante el uso al que será destinado.

Las propiedades físicas, son aquellas que determinan su comportamiento, ante los factores que intervienen en el medio ambiente natural, sin que este actúe química ni mecánicamente en su estructura interna.

Las propiedades mecánicas indican el comportamiento, cuando sobre la madera actúan cargas o sollicitaciones exteriores, principalmente a las deformaciones. El estudio de estas propiedades tiene gran importancia, en las diferentes aplicaciones de la madera. (19)

➤ *Propiedades Físicas*

Tienen por objetivo el estudio de las características y leyes que rigen los fenómenos en el interior de la madera y que no modifican la estructura íntima de la misma.

Dependen de los siguientes factores: la disposición y orientación de los materiales, que forman las paredes celulares; la cantidad de sustancias básicas que forma las paredes celulares; los porcentajes de sustancias estructurales o de material celulósico que contiene el leño; la composición química de las sustancias básicas, que explica muchas diferencias cuantitativas en el comportamiento de la madera; y contenido de agua que se encuentra presente. (20); (21)

Densidad o Peso específico de la madera

La densidad es una de las propiedades físicas más importantes de la madera, porque de ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas, en la práctica sirve para clasificar a las maderas. En general se puede decir que las maderas más densas son más resistentes, elásticas y duras que las maderas menos densas, pero son de más difícil trabajabilidad y pueden presentar mayor variación volumétrica. La trabajabilidad se refiere a la facilidad de lijado, moldurado y perforado de una madera.

La densidad es la relación entre la masa (m) en gr y el volumen (V) en cm^3 (gr/cm^3). Es decir que la densidad es la cantidad de material leñoso por unidad de volumen. (19); (20)

Como en los laboratorios, el peso y la masa se determinan de la misma forma, por medio de balanzas, se acepta que la masa es igual al peso, ($m = p$), obteniéndose la expresión de la Densidad:

$$D = \frac{P}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Densidad aparente

La densidad aparente de una madera es la relación entre el peso y su volumen, incluyendo el volumen de los poros que contiene la madera, medidos en las mismas condiciones de humedad.

Como la Densidad aparente de las maderas varía de 0,1 a 1,4 gr/cm³, podemos clasificarlas en:

- | | | |
|----|--------------------|------------------------------------|
| 1- | Muy livianas de | 0,100 a 0,350 gr/cm ³ . |
| 2- | Livianas de | 0,351 a 0,550 gr/cm ³ |
| 3- | Semipesadas de | 0,551 a 0,750 gr/cm ³ |
| 4- | Pesadas de | 0,751 a 1,000 gr/cm ³ |
| 5- | Muy pesadas más de | 1,000 gr/cm ³ |

Densidad aparente estacionada

Para la obtención de la densidad aparente, el peso y el volumen deben ser medidos en las mismas condiciones de humedad. El peso se obtiene en una balanza, y el volumen por mediciones con calibre o por desplazamiento de fluidos, mercurio o agua. La formula es la siguiente:

$$De = \frac{Pe}{Ve}$$

Siendo:

De = Peso específico aparente estacionado, en gr/cm³

Pe = Peso de la muestra estacionado, en gr.

Ve = Volumen de la muestra estacionada, en cm³

Densidad aparente anhidra

El peso y volumen de la madera se determinan al 0 % de humedad, las medidas de las probetas se toman después de haber estado veinticuatro horas en estufa a 103± 2 °C.

$$D_o = \frac{P_o}{V_o}$$

Siendo:

D_o = Densidad aparente anhidro, en gr/cm^3

P_o = Peso de la muestra seca, en gr.

V_o = Volumen de la muestra seca, en cm^3 .

Densidad aparente básica

La densidad básica es uno de los índices más útiles que caracterizan a las maderas desde el punto de vista tecnológico, debido a la alta correlación que posee en la producción de pulpas y con las propiedades mecánicas de las tablas. (22)

La densidad básica se determina con la fórmula:

$$D_b = \frac{P_o}{V_s}$$

donde:

D_b = Densidad básica en gr/cm^3

P_o = Peso anhidro en gr

V_s = Volumen saturado en cm^3

La densidad posee un patrón de variación con la edad y la altura, de tal manera que los primeros años el árbol produce madera con anillos de crecimiento anchos, donde hay una mayor proporción de madera temprana de baja densidad. Respecto a la altura, la densidad es mayor en la base y va disminuyendo hacia el ápice. (23)

El *Pinus taeda*, como la mayoría de las coníferas, posee un patrón uniforme de baja densidad básica en la médula, un rápido aumento de la densidad en el período juvenil, seguido por series de anillos que poseen densidades esencialmente constantes, pero fluctúan de año a año.

Una de las variabilidades a tener en cuenta, es la variación de la densidad básica con la edad del árbol. Esta, está ligada también al porcentaje de madera juvenil y madera adulta. Los árboles más viejos poseen mayor densidad debido al

mayor porcentaje de madera adulta y a la deposición de material resinoso en el cerne.

La variación de densidad básica entre árboles generalmente es significativa para el *Pinus taeda*.(23).

Según KOLLMANN,(20) las variaciones de la densidad básica pueden ser tan acentuadas en el sentido longitudinal del árbol, que se pueden sugerir diferentes clases de calidad solo en función de la posición del origen de las piezas.

Humedad de la madera

Un árbol recién cortado, contiene gran cantidad de agua, variando su contenido según la época del año, la región y la especie.

Las maderas más livianas por ser más porosas contienen mayor cantidad de agua libre, que las maderas pesadas.

El agua se encuentra en tres diferentes formas en la madera:

Agua libre

Se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares. Esta agua se pierde por evaporación ya que es retenida por fuerzas capilares muy débiles, una vez eliminada el agua libre, en ese momento la madera se encuentra en el punto de saturación de las fibras, que corresponde a un contenido de humedad entre el 21 y 32 %, en el cual, las paredes celulares están completamente saturadas.

Durante la fase de eliminación del agua libre, la madera no experimenta cambios dimensionales ni alteraciones en sus resistencias mecánicas.

Agua higroscópica

También llamada agua de imbibición o agua de impregnación, es aquella que se encuentra impregnando las paredes celulares y una vez que haya perdido toda el agua libre comienza a perder el agua de imbibición hasta llegar a un equilibrio higroscópico que está entre el 12 y 18 % de humedad, dependiendo del lugar.

En esta fase la madera sufre variaciones en sus dimensiones y resistencias mecánicas.

Agua de constitución

Es la que forma parte de la estructura química de las paredes celulares. Se puede eliminar con la destrucción de la madera.

Contenido de humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua y sustancias volátiles susceptible de estar contenida por la madera, expresada en por ciento de peso seco en estufa a 103 ± 2 °C.

Determinación del contenido de humedad en la madera

La Norma IRAM N° 9532 (23) establece el siguiente método para determinar el contenido de humedad en la madera, por secado en estufa o pesadas.

Es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera, ya que se debe evaporarla y luego calcular por diferencia de pesos.

El contenido de humedad en la madera se define como la diferencia entre el peso en estado húmedo y el peso seco obtenido en la estufa a 103 ± 2 °C relacionados con el peso seco, con probetas de 2 x 2 x 2 cm. Sin embargo, puede determinarse la humedad de la madera con trozos de cualquier dimensión. En la práctica generalmente se toman algunos trozos de la madera que se quiere conocer la humedad y se coloca en estufa hasta peso constante. Utilizándose la fórmula que establece la Norma IRAM N° 9532.

$$H\% = \frac{(Pe - Po)}{Po} \times 100$$

Donde:

H = Contenido de humedad en %

Pe = Peso húmedo en gramos

Po = Peso Anhidro o seco en gramos

Humedad de equilibrio en la madera

La madera al encontrarse en contacto con el medio ambiente absorbe o elimina humedad hasta corresponder a un estado de equilibrio con el aire, momento en que se produce el equilibrio higroscópico.

La humedad de equilibrio de una madera varía con la temperatura y la humedad relativa del aire. La madera presenta distinta humedad de equilibrio, según la zona en que se encuentre estacionada.

Hinchamiento y contracción de la madera

El hinchamiento es el aumento del volumen de la madera desde el estado seco hasta el punto de saturación de las fibras (PSF). A partir del PSF el volumen de la madera permanece estable y aumenta su contenido de humedad.

La contracción es la disminución del volumen de una pieza de madera, al perder humedad, por debajo del punto de saturación de las fibras, hasta el estado anhidro. En la figura 2.3 se presentan las curvas de hinchamiento y contracción.

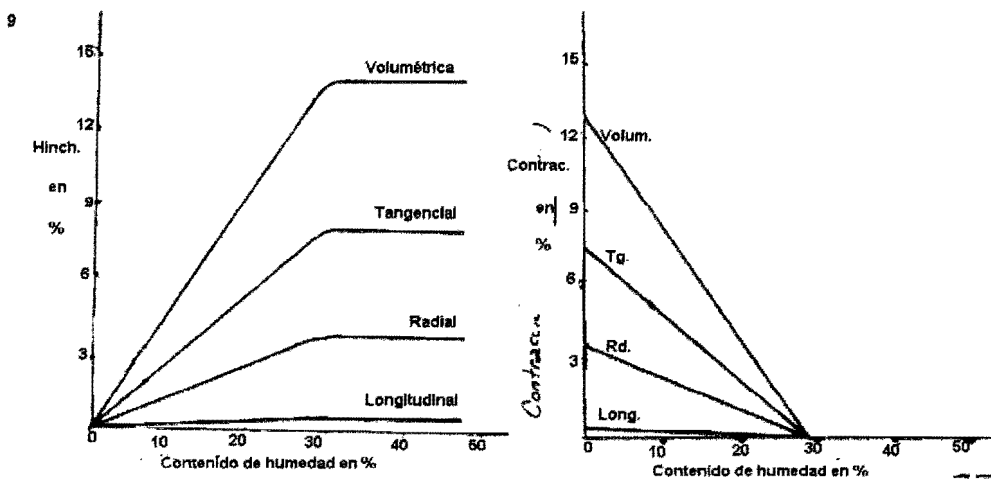


Figura 2.3: Porcentaje de hinchamiento y contracción de la madera

En las determinaciones de las contracciones e hinchamientos se utilizan probetas de 2 centímetros de sección por 5 centímetros de longitud como indica la Norma IRAM N° 9543 (25). Las probetas deben cortarse de manera que puedan ser medidas las contracciones e hinchamiento en los sentidos tangencial, radial y axial o longitudinal.

Hinchamiento

Para el cálculo se usa la siguiente fórmula:

$$H = \frac{(L_s - L_o)}{L_o} \times 100$$

Siendo:

H = Hinchamiento máximo, en porcentaje.

Ls = Longitud saturada, en cm.

Lo = Longitud anhidra, en cm.

Contracción

(del estado estacionado al anhidro)

Para el cálculo se usa la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(L_e - L_o)}{L_e} \times 100$$

Siendo:

C = Contracción, en porcentaje.

Le = Longitud en estado estacionado, en cm.

Lo = Longitud anhidra, en cm.

Contracción total

(del estado saturado al anhidro)

Para el cálculo se usa la siguiente fórmula:

$$RT = \frac{(L_s - L_o)}{L_s} \times 100$$

Siendo:

Rt = Contracción total, en porcentaje.

Ls = Longitud saturada, en cm.

Lo = Longitud anhidra, en cm.

Coefficiente de retractabilidad o retracción de la madera

El coeficiente de retracción o retractabilidad nos indica la variación dimensional que sufre la madera desde el estado anhidro (seco) hasta el punto de saturación de fibras o viceversa, por cada 1 % de variación en su contenido de humedad.

El coeficiente de retracción se determina en los tres sentidos de la madera, axial, radial y tangencial, y para ello se utiliza la siguiente formula:

$$CR = \frac{C}{H\%}$$

Siendo:

Cr = Coeficiente de retracción.

C = Contracción del estado estacionado al 12 % de humedad al 0 %.

H % = Humedad de las probetas, estacionada al 12 %.

Anisotropía del hinchamiento y de la contracción

El coeficiente de anisotropía es la relación entre los movimientos lineales tangencial y radial. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ac = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

Siendo:

Ac = Anisotropía de la contracción

β_t = Contracción tangencial

β_r = Contracción radial

Si el coeficiente de anisotropía fuera 1 sería lo ideal, esto quiere decir que, la variación tanto en el sentido tangencial como radial son iguales, pero esto no ocurre en las maderas. Cuanto mayor es la relación entre la dirección tangencial y radial, mayor es el valor de anisotropía, y mayores dificultades tendrá la madera en el secado.

Las maderas que presentan valores de anisotropía entre 1,2 a 1,5 son consideradas muy buenas, excelentes para usos donde no se permiten alabeo; cuando los valores de anisotropía son de 1,6 a 1,9 la madera es considerada como normal; muy inestable y con limitaciones en sus aplicaciones cuando el valor de anisotropía es mayor que 2.

Punto de saturación de las fibras (PSF)

El punto de saturación de fibras ocurre cuando las paredes celulares se encuentran totalmente saturadas, y se ha eliminado toda el agua libre, quedando solamente el agua higroscópica o de imbibición.

En la madera de latifoliadas con porosidad difusa el PSF se encuentra aproximadamente entre 32 y 35 % de humedad. En coníferas y latifoliadas con porosidad anular varía entre 21 y 28 %. En la práctica con el fin de facilitar los cálculos se generaliza el PSF en 28 a 30 % de humedad sin especificar la especie.

Cuando la madera se encuentra por encima del punto de saturación de fibras, no sufre variación dimensional, solo aumento de peso y porcentaje de humedad. Por debajo del punto de saturación de fibras comienza a producirse cambios en las dimensiones de la madera.

El punto de saturación de la fibra se determina con la siguiente fórmula:

$$PSF = \frac{Ct}{Cr}$$

Siendo:

PSF = Punto de saturación de las fibras.

Ct = Contracción total.

Cr = Coeficiente de retracción.

2.2.1 Datos y propiedades físicas para distintas edades y autores

En la tabla 2.1 se presentan los resultados medios de densidad específica de discos colectados en 5 alturas a lo largo del fuste de *Pinus taeda* de 30 años de edad. (15)

Tabla 2.1: Resultados medios de densidad específica de discos colectados en 5 alturas a lo largo del fuste de *Pinus taeda* de 30 años. Brasil

Altura	Densidad (gr/cm ³)	CV%	Contracciones %					Coeficiente de retractsibilidad	
			volumétrica	tangencial	radial	axial	anisotropía	tangencial	radial
DAP	0,516	5,0	12,87	7,98	4,76	0,19	1,67	0,292	0,163
25%	0,489	6,4	11,25	6,93	3,98	0,23	1,74	0,274	0,151
50%	0,475	5,5	9,95	6,19	3,46	0,25	1,79	0,256	0,149
75%	0,460	4,1	9,56	5,89	3,25	0,29	1,82	0,234	0,135
100%	0,422	5,8							
Media	0,472		10,91	6,75	3,86	0,24	1,75	0,264	0,150
Desvío			1,51	0,93	0,67	0,04	0,06	0,024	0,011
% de disminución	18,22		25,72	26,19	31,72	-52,63	-8,98	19,86	17,18

En la tabla 2.2, se presentan los resultados medios de las propiedades físicas de *Pinus taeda* en Misiones de 13 y 14 años. (26)

Tabla 2.2: Medias de ensayos físicos de *Pinus taeda* de 13 y 14 años de edad.

estacionada	Densidad (gr/cm ³)		Contracciones %			
	anhidra	básica	radial	tangencial	volumétrica	anisotropía
0,47	0,44	0,39	3,8	6,1	10,4	1,61

En la tabla 2.3, se presentan los resultados medios de las propiedades físicas de *Pinus taeda* en Misiones de 14 años. (7)

Tabla 2.3: Medias de ensayos físicos de *Pinus taeda* de 14 años de edad.

estacionada	Densidad (gr/cm ³)		Contracciones %					Coeficiente de retractsibilidad	
	anhidra	básica	radial	tangencial	axial	volumétrica	anisotropía	tangencial	radial
0,51	0,50	0,43	3,82	6,24	0,48	10,54	1,63	0,18	0,14

En la tabla 2.4, se presentan los resultados medios de las propiedades físicas de *Pinus taeda* en Misiones de 21 años. (27)

Tabla 2.4: Medias de ensayos físicos de *Pinus taeda* de 21 años de edad.

Densidad (gr/cm ³)	Contracciones %				Coeficiente de retractibilidad		
	básica	radial	tangencial	volumétrica	anisotropía	tangencial	radial	PSF
0,487	4,318	6,494	11,177	1,50	0,238	0,157	28

Usando tres árboles de 7 años SPARNOCHIA et al. (5) obtuvieron los valores de densidad básica en altura dando un promedio de disminución en un 14,94% y un valor de densidad básica media para su ensayo de 0,3487 gr/cm³.

En la tabla 2.5, se presentan los resultados de flexión de *Pinus taeda* de 18 años de edad en Brasil. (28)

Tabla 2.5: Resultados de propiedades físicas *Pinus taeda* de 18 años de edad, Brasil

altura	Densidad (gr/cm ³)		Contracciones %			
	básica	aparente	radial	tangencial	volumétrica	anisotropía
base	0,469	0,524	4,75	7,20	11,73	1,58
comercial		0,499	4,20	6,95	11,06	1,70
media		0,511	4,475	7,07	11,39	1,64

En la tabla 2.6, se muestran las densidades básicas medias de tarugos según clase de edad en el Norte de Misiones, realizadas para un proyecto PIA. (29)

Tabla 2.6: Datos de densidades básicas medias de tarugos según clase de edad en el Norte de Misiones

clase de edad	Secciones			Media general (gr/cm ³)
	Externa (gr/cm ³)	media (gr/cm ³)	interna (gr/cm ³)	
16 a 20	0,540	0,400	0,346	0,428
11 a 15	0,568	0,404	0,351	0,441
6 a 10	0,38	0,375	0,339	0,364

➤ *Propiedades mecánicas de la madera*

Conocer las propiedades mecánicas de la madera, nos ayudaría a definir su uso y establecer las dimensiones de sus piezas.

Las propiedades mecánicas de las maderas son aquellas que miden la aptitud y la capacidad de resistir de la madera a cargas externas, con diferentes efectos.

- 1- Con cargas reducidas, la deformación es proporcional al esfuerzo o carga por unidad de área (ley de Hooke), y al poseer características de un material cristalino, la relación esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal. Así, el comportamiento es elástico.
- 2- Si la carga aumenta, sobrepasando el límite de proporcionalidad o elástico, se produce un proceso de escurrimiento o deslizamiento viscoso (ley de Newton). Aquí los esfuerzos se relacionan con la velocidad de la deformación, comenzando una deformación parcialmente irreversible, donde la madera tiene un comportamiento prácticamente plástico.
- 3- Si se agrega aún mas carga, el proceso de deformación continúa con mayor velocidad, estando relacionado también con el tiempo que actúa la carga. Aquí se produce discontinuidad en la estructura celular, y se acentúa la deformación plástica, con proceso de deformación irreversible. Durante el aumento de la carga, aparece un punto en el que se produce la rotura de la pieza, denominándose a este valor resistencia máxima o módulo de rotura.

Figura 2.4

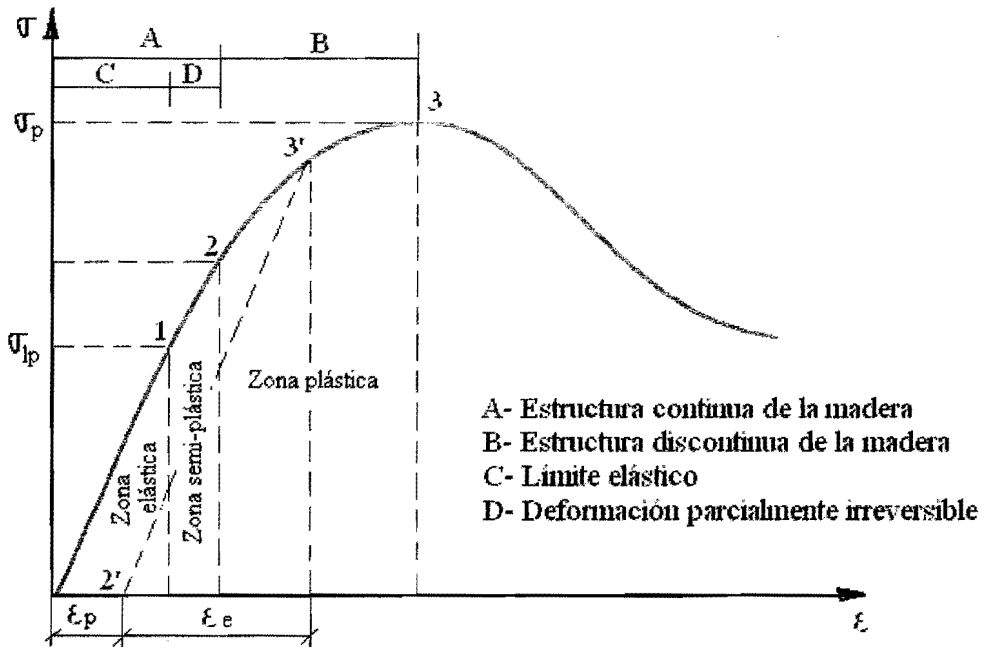


Figura 2.4: Representación de la Ley de Hooke para madera

Flexión estática

Una madera está sometida a la flexión estática cuando sobre ella, ejercen cargas en forma lenta que tienden a curvarla. Las maderas en uso, generalmente están solicitadas por cargas o fuerzas que tienden a flexionarlas.

El esfuerzo de flexión ocurre en piezas de gran longitud respecto a su sección transversal, la acción de la carga normal a su eje longitudinal provoca una curvatura. Se producen tres esfuerzos fundamentales: 1- Esfuerzo de compresión que producen un acortamiento longitudinal en la parte superior; 2- Esfuerzo de tracción que producen un alargamiento en la parte inferior; 3- Esfuerzo de corte o cizalle en el centro. La combinación de los dos primeros esfuerzos origina en la viga una concavidad en la zona de compresión y convexidad en la zona de tracción.

Los ensayos de flexión estática pueden realizarse con las siguientes Normas: Norma DIN N° 52186 (Deutsche Industrie Norm)(30) que establece las siguientes dimensiones de las probetas: sección cuadrada de 2 cm de lado; longitud total de 36 cm; distancia entre apoyos de 30 cm. La carga debe ser aplicada tangencialmente a los anillos de crecimiento, a una velocidad de 400 a 500 kg/cm² por minuto.

Norma IRAM 9542 (31) exige probetas de 2 cm de altura por 2 cm de base y 34 cm de largo y la velocidad de carga de la maquina sin la probeta debe estar regulada, de manera que, el cabezal móvil avance a 5 mm/minuto.

Norma ASTM, (32) las probetas deben tener una sección de 5 cm por 5 cm y largo de 76 cm. Como se ve, requiere una gran cantidad de material respecto a las Normas anteriores, que son las más utilizadas.

Para este ensayo es necesario un flexómetro o deflectómetro con precisión de 0,01 mm para medir las flechas. Cuando se realizan los ensayos de flexión estática se debe tomar las cargas y las deformaciones que va sufriendo la madera hasta la carga de rotura, luego se traza la curva carga-deformación para obtener la carga en el límite proporcional y la flecha o deformación en el límite elástico.

Módulo de rotura a la flexión estática

El módulo de rotura se calcula con la fórmula:

$$MR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Siendo:

MR = modulo de rotura, en kg/cm².

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

Módulo de elasticidad a la flexión estática

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de elasticidad para cada probeta ensayada.

El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$ME = \frac{P' L^3}{4bh^3 f}$$

Siendo:

ME = Modulo de elasticidad, en kg/cm^2 .

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

f = Deformación, en cm.

Compresión paralela a las fibras

Una pieza de madera está sometida a una carga de compresión cuando está bajo la acción de dos fuerzas iguales y de sentido contrario, aplicada sobre el área transversal y cuyo efecto es acortar la pieza y aumentar su sección. La rotura produce desgarramiento y separación de las fibras.

Para determinar la resistencia a la compresión axial o paralela a las fibras pueden utilizarse probetas con dimensiones según establecen las Normas IRAM, DIN, AFNOR, ASTM, COPANT, etc. Estas dos últimas utilizan probetas con sección transversal de 5 cm por 5 cm, mientras que las anteriores adoptan sección de 2 cm por 2 cm y 6 cm de largo.

La Norma DIN N° 52186 (30), utiliza probetas prismáticas de sección cuadrada de 20 mm de lado y 60 mm de longitud. La carga se aplica por medio de un cabezal móvil con rótula esférica a una velocidad 0,6 milímetros por minuto.

Se coloca un compresómetro que indica las deformaciones que se producen con las distintas cargas. Con estos datos se realiza el diagrama carga-deformación para obtener la carga y la deformación en el límite de proporcionalidad.

Módulo de rotura a la compresión

El módulo de rotura se calcula con la fórmula:

$$MR = \frac{P}{S}$$

MR= módulo de rotura en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

S= superficie en cm²

Módulo de elasticidad de la compresión

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de deformación para cada probeta ensayada.

El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$ME = \frac{P' L}{Sf}$$

ME= módulo de elasticidad en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

S= superficie en cm²

f = Deformación, en cm.

L= longitud de la probeta en cm

Tensión en el límite proporcional

La tensión en el límite proporcional se calcula con la siguiente fórmula:

$$TLP = \frac{P'}{S}$$

TLP= Tensión en el límite proporcional en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

S= superficie en cm²

Dureza Janka

La dureza de la madera es la resistencia que esta ofrece a la penetración de un cuerpo más duro.

Una madera dura indica dificultad de trabajabilidad, y generalmente son más pesadas. Las maderas duras son apropiadas para pisos, y todas aquellas piezas que requieren retener tornillos, clavos etc.

La dureza no esta exactamente considera como una propiedad mecánica de la madera, debido a los diversos métodos para su determinación y el diferente sentido físico de los valores que se obtienen.

Los ensayos de dureza se determinan según establece la Norma ASTM 143/52 (32), utilizándose probetas de sección cuadrada de 50 mm de lado y 150 mm de longitud, orientadas, de tal forma que las caras opuestas tengan dos superficies tangenciales, dos radiales y dos transversales. Se realiza un ensayo en cada superficie, obteniéndose medias para cada una de las superficies.

El ensayo consiste en la introducción de una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro, que deja una impronta de sección circular de un centímetro cuadrado de superficie.

La dureza se expresa en kg/cm^2 . La velocidad de carga del ensayo es de 6 mm/min.

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

El corte paralelo a las fibras ocurre cuando una pieza de madera está sometida a fuerzas que tienden a provocar un deslizamiento de una parte de él sobre la otra parte adyacente. Se produce separación de las fibras entre sí, la pieza se divide en dos.

Este ensayo se realiza aplicando las siguientes Normas: IRAM 9596, ASTM y COPANT. La Norma ASTM 143/52 (32), establece las siguientes dimensiones para las probetas: 62,5 mm de longitud, presentando un escalón en uno de sus extremos de 15 mm de base por 12,5 mm de altura y longitud de 50 mm, donde se aplica la carga por medio de un pistón. La Norma IRAM utiliza prácticamente las mismas dimensiones de probeta. La velocidad de ensayo según estipula la norma, es 0,6 mm/min.

La Tensión de corte se calcula de la siguiente formula:

$$Tc = \frac{P}{S}$$

Tc= Tensión de corte o cizallamiento paralelo a la fibra en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

S= sección de la probeta en cm²

Tracción perpendicular a las fibras

Un cuerpo se encuentra traccionado cuando está sometido por dos fuerzas de igual magnitud y sentido contrario provocándole un alargamiento.

La resistencia a la tracción está dada por el esfuerzo que opone la adherencia entre las fibras de la madera al estar sometida por cargas externas que tienden a separarlas. La resistencia en este sentido generalmente arroja valores bajos.

Para la determinación de este ensayo pueden emplearse las Normas ASTM D143, COPANT 30:1-016 y AFNOR B51-003.

La Norma ASTM 143/52 (32), especifica que las probetas deben ser de sección cuadrada de 50 mm de lado por 60 mm de longitud. En ambos extremos existen escotaduras de 25 mm de diámetro, donde se fijan las mordazas de tracción. Los centros se encuentran a 6 mm de las superficies transversales. La sección de tracción es de 25 mm por 50 mm que es el ancho de la probeta. Establece como velocidad de ensayo, 2,5 mm/min.

La tensión se calcula con la siguiente formula:

$$Tt = \frac{P}{S}$$

Tt= tensión de corte a la tracción en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

S= sección de la probeta en cm²

Clivaje o rajadura

Un cuerpo se encuentra sometido al esfuerzo de rajadura cuando dos fuerzas de igual magnitud y opuestas provocan la rotura de la misma, la tensión depende del ancho de la pieza.

La rajadura es el desgarramiento de las fibras que se produce por la aplicación de una carga. Este ensayo puede ser realizado utilizando las Normas ASTM, AFNOR, etc.

La Norma ASTM 143/52 (32) establece una velocidad de ensayo de 2,5 mm/min; requiere probetas prismáticas de sección cuadrada de 50 mm de lado y de 95 mm de longitud, uno de sus extremos cuenta con una escotadura de 25 mm de diámetro cuyo centro se ubica a 6 mm de la superficie transversal. Las probetas deben ser preparadas de tal forma, que permitan aplicar la tensión en el sentido radial y tangencial respecto a los anillos de crecimiento.

La tensión se calcula con la siguiente formula:

$$Tr = \frac{P}{L}$$

Tr= tensión de corte a la rajadura en kg/cm

P= carga de rotura en kg

L= Longitudinal de la escotadura en cm

➤ *Factores que influyen en la resistencia de la madera*

Los factores que afectan el comportamiento y la resistencia de la madera, pueden dividirse en dos (19):

- 1- Influencia de la naturaleza del material
- 2- Influencia de las condiciones externas.

N A T U R A L E Z A D E L M A T E R I A L	Estructura de la pared celular	La presencia de fibras y traqueidas alargadas dan rigidez a la madera. Los poros y canales secretores disminuyen la resistencia de la madera. Los radios medulares y las células parenquimáticas presentan zonas más débiles y plásticas.
	Densidad aparente	Las maderas con elevado Densidad aparente presentan altas resistencias mecánicas, porque esta es una medida de la cantidad del material sólido de la madera.
	Posición de la muestra en el tronco	La resistencia de la madera varía a distintas alturas del tronco, a mayor altura disminuyen las resistencias, se debe a que la densidad es menor. En la base del tronco la madera presenta mayor resistencia.
	Velocidad de crecimiento	Las maderas que tienen rápido crecimiento, (anillos son anchos) tienen Densidad aparente bajo, por lo tanto, sus resistencias son menores.
	Nudos	Los nudos vivos y muertos disminuyen los valores de resistencia de la madera. Se debe tener muy en cuenta este defecto en las maderas con fines estructurales.
	Inclinación de las fibras	Cuando las fibras están inclinadas, no se encuentran paralelas al eje longitudinal del tronco, ya sea por su crecimiento o por el mal aserrado, afectan considerablemente las resistencias de la madera.
	Rajaduras radiales y anulares	Estos defectos ocasionan disminución en los valores de las resistencias.
	Maderas secadas al aire y secada en cámara	En los casos en que el secado en cámara ha sido el adecuado y que el contenido de humedad sea similar al de la madera secada al aire libre no existen variaciones en los valores de sus resistencias. Cuando el secado no se realiza con un programa correcto, sí existen disminuciones en los valores de las propiedades mecánicas de la madera.
	Leño juvenil y leño adulto	En las coníferas, el leño juvenil presenta valores de resistencia bajos, y mejoran sus valores en el leño adulto.

CONDICIONES EXTERNAS	Contenido de humedad	Es muy notable la disminución de los valores de las resistencias cuando aumenta el contenido de humedad en la madera, hasta el punto de saturación de las fibras, a partir de ahí los valores se mantienen prácticamente constante.
	Velocidad con que se aplica la carga	La velocidad de aplicación de las cargas está establecida por Normas para cada ensayo. Una velocidad alta produce valores más elevados en las resistencias de las maderas, porque las fibras y moléculas de la madera presentan una corta inercia de reacción.
	Formas y dimensiones de las probetas	Las formas y dimensiones de las probetas influyen en el resultado de los valores. En el caso de probetas pequeñas sección 2 x 2 cm dan valores mayores, porque prácticamente son más fáciles de obtener piezas con los granos orientados paralelamente al eje axial y evitar otros tipos de defectos.
	Sentido de aplicación de la carga con respecto a las fibras	El comportamiento mecánico de la madera varía con la aplicación de la carga según la dirección de las fibras.
	Duración de la carga	La duración de la carga disminuye considerablemente la resistencia de la madera.
	Temperatura	A mayor temperatura la resistencia de la madera es más baja.

2.2.2 Datos y propiedades mecánicas para distintas edades y autores

En la tabla 2.7, se reflejan los resultados medios de flexión en kg/cm^2 , a cuatro alturas a lo largo del fuste de *Pinus taeda* de 30 años de edad. (15).

Tabla 2.7: Medias de ensayos de flexión (kg/cm^2) de *Pinus taeda* de 30 años de edad, Brasil.

Altura	MOE	MOR	TLP
5 %	126421	801,66	428,83
25 %	124367	797,85	405,14
50 %	123834	778,02	405,05
75 %	122901	782,63	397,9
Media	124380,75	790,04	409,23
Desvío	14789,06	71,48	43,5
% de disminución	2,78	2,37	7,21

Donde: MOE= Módulo de elasticidad a la flexión estática; MOR= Módulo de rotura a la flexión estática; TLP= Tensión en el límite proporcional a la flexión estática.

En la Tabla 2.8, se presentan los resultados de flexión de *Pinus taeda* de 18 años de edad, Brasil. (28)

Tabla 2.8: Flexión estática de *Pinus taeda* en kg/cm² de 18 años

Altura	MOE	MOR	TLP
base	107200	781	411
comercial	106800	729	405
Media	107000	755	408

Donde: MOE= Módulo de elasticidad a la flexión estática; MOR= Módulo de rotura a la flexión estática; TLP= Tensión en el límite proporcional a la flexión estática.

En la tabla 2.9, se reflejan los resultados medios de compresión paralela a las fibras kg/cm², a cuatro alturas a lo largo del fuste de *Pinus taeda* de 30 años de edad, Brasil. (15).

Tabla 2.9: Medias de ensayos de compresión (kg/cm²) de *Pinus taeda* de 30 años de edad.

Altura	MOE	MOR	TLP
5%	129522	441,38	279,39
25%	127572	437,68	265,38
50%	127245	435,99	260,32
75%	126645	429,00	256,40
Media	127746	436,01	265,37
Desvío	16244,68	34,83	16,01
% de disminución	2,22	2,80	8,23

Donde: MOE= Módulo de elasticidad a la flexión estática; MOR= Módulo de rotura a la flexión estática; TLP= Tensión en el límite proporcional a la flexión estática.

En la tabla 2.10, se presentan los resultados medios de las propiedades mecánicas de *Pinus taeda* en Misiones de 13 y 14 años. (26)

Tabla 2.10: Medias de ensayos mecánicos de *Pinus taeda* de 13 y 14 años de edad.

Flexión estática (kg/cm ²)	ME	67784
	MOR	776
Corte o cizallamiento paralelo a las fibras (kg/cm ²)	tg	106
	rd	94
Tracción perpendicular a las fibras(kg/cm ²)	tg	30,7
	rd	37,7
Clivaje o rajadura (kg/cm)	tg	37,6
	rd	41
Dureza (kg/cm ²)	tg	320
	rd	307
	tr	377

Donde: ME= Módulo de elasticidad a la flexión estática, MOR= Módulo de rotura a la flexión estática, tg= tangencial, rd= radial, tr= transversal

En la tabla 2.11, se presentan los resultados medios de las propiedades mecánicas de *Pinus taeda* en Misiones de 14 años. (7)

Tabla 2.11: Medias de ensayos mecánicos de *Pinus taeda* de 14 años de edad.

		Media	Desvío	CV %
Flexión estática (kg/cm ²)	ME	39260,54	10585,3	28
	MOR	574,06	175,68	32
Compresión paralela (kg/cm ²)	ME	31360,93	1192,86	38
	MOR	357,62	99,78	28
Corte o cizallamiento paralelo a las fibras (kg/cm ²)	tg	100,36	5,4	5
	rd	93,09	11,81	13
Tracción perpendicular a las fibras (kg/cm ²)	tg	35,86	5,46	15
	rd	41,19	5,33	13
Clivaje o rajadura (kg/cm)	tg	41,78	4,43	11
	rd	48,11	8,58	18
Dureza Janka (kg/cm ²)	tg	297,25	85,61	29
	rd	261,5	48,16	18
	tr	299,45	44,03	15

Donde: ME= Módulo de elasticidad a la flexión estática, MOR= Módulo de rotura a la flexión estática, tg= tangencial, rd= radial, tr= transversal

En la tabla 2.12, se presentan los resultados medios de las propiedades mecánicas de *Pinus taeda* en Misiones de 21 años. (27)

Tabla 2.12: Medias de ensayos mecánicos de *Pinus taeda* de 21 años de edad.

Propiedad		Media
Flexión estática (kg/cm ²)	ME	90772,2
	TLP	433,2
	MOR	712,9
Compresión paralela (kg/cm ²)	ME	129365
	TLP	2778,39
	MOR	363,9
Corte o cizalla-miento paralelo a las fibras (kg/cm)	tg	88
	rd	84,32
Dureza Janka (kg/cm ²)	tg	299,2
	rd	366,2
	tr	371

Donde: ME= Módulo de elasticidad a la flexión estática; MOR= Módulo de rotura a la flexión estática, TLP= Tensión en el límite proporcional a la flexión estática, tg= tangencial, rd= radial, tr= transversal

En la tabla 2.13, se presentan los resultados obtenidos en ensayos de densidad y flexión en plantaciones de Brasil de 11 y 21 años de *Pinus taeda* (33).

Tabla 2.13: Medias de ensayos de densidad y flexión de *Pinus taeda* de 11 y 21 años de edad en Brasil.

Años	Densidad(g/cm ³)		MOR		MOE	
	11	21	11	21	11	21
Media	0,4956	0,521	637,415	719,778	74498	103337
CV %	13,48	21,9	23,27	28,49	31,32	38,79

Donde: MOE= Módulo de elasticidad a la flexión estática (kg/cm²); MOR= Módulo de rotura a la flexión estática, TLP= Tensión en el límite proporcional a la flexión estática; CV= coeficiente de variación.

2.3 Aptitudes de uso de las maderas

La elección de una madera, con preferencia a otras, para su utilización, está basada como mínimo en una de las características de las propiedades que exija su uso. Esta elección se realizará teniendo en cuenta dos o más cualidades básica de dicha madera. (36) La mayoría de las empresas lo realizan en forma empírica.

La madera de *Pinus taeda* es blanco-amarillenta a amarillo ocre; brillo mediano, olor resinoso, textura fina y homogénea, grano derecho y vetado pronunciado.



Foto 1: Madera de pino

Por ser blanda y liviana, se trabaja con facilidad dando buena terminación en el cepillado. Toma los clavos y tornillos sin inconvenientes, aunque como los anillos de crecimientos son muy marcados, en las zonas tempranas del anillo puede resentirse por la menor dureza del leño. (37)

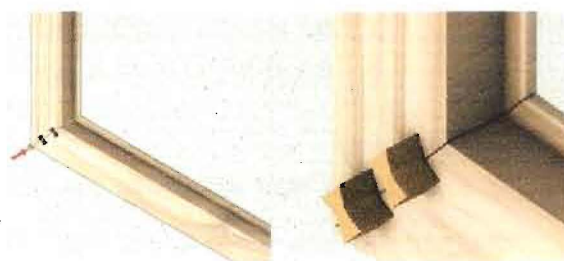


Foto 2: Marcos de cuadro

En la actualidad los árboles de diámetros pequeños, de los primeros raleos se destinan para elaborar pastas celulósicas, tableros de partículas y fibras. En algunos caso se los utiliza para muebles que no deben soportar cargas elevadas.



Foto 3: Celulosa sin blanquear, blanqueada y rollo de papel

En el segundo raleo, con mayores diámetros, una vez aserrados, se emplean en carpintería de obra, revestimientos interiores, tarimas livianas, laminado, envases, cajonería, etc. (37).



Foto 4: Cajas, tarimas, jaulas

Con toras de leño adulto pueden ser aplicado para usos estructurales como tirantes y vigas multilaminadas; además de la fabricación de marcos para ventanas, puerta placa, machimbres, tableros de listones, con los cuales se elaboran



Foto 5 : Tableros de OSB y pisos de OSB

mesas, sillasy placares. Alguno de estos productos se suelen usar enchapados o revestidos con láminas de madera o sintéticos, para una presentación decorativas. Estas maderas presentan contracciones moderadas y aptitud para recibir pinturas y barnices, fácilmente impregnable por lo que puede ser utilizada para revestimiento exterior. (39).



Foto 6: Machimbre con distintos revestimientos y sin revestir



Foto 7: Contrapuertas de pino

La clasificación de SALLENAVE, (40) nos permite determinar los usos con los siguientes datos:

- * Dureza normal es el promedio de la dureza radial y tangencial en kg/cm^2
- * Cota de dureza es la relación entre la dureza normal y la densidad aparente.
- * Cota de flexión es la relación entre el Módulo de rotura y la densidad aparente.
- * Cota de laminabilidad se refiere a la relación del clivaje promedio, radial y tangencial y la densidad aparente.

Con estos valores se mide la dureza, la aptitud para su uso en carpintería y la laminabilidad de la madera.



Foto 8: Viga multilaminada curvada, vigas laminadas y maciza en techos.

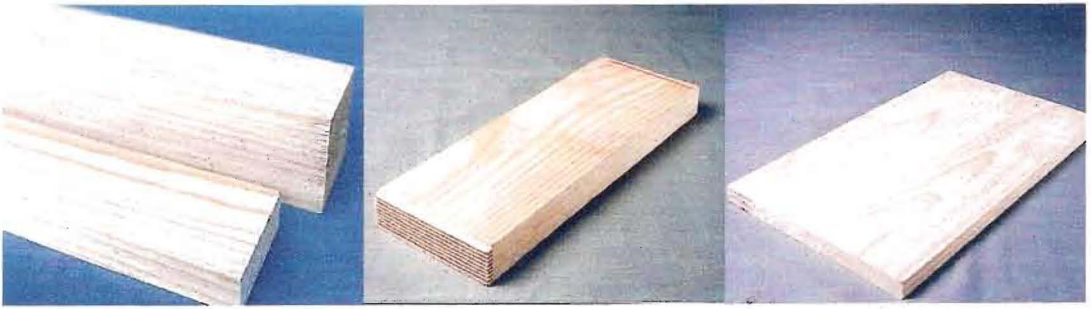


Foto 9: Tirantes de madera maciza, tablas con uniones finger y tablero de listones

Según la clasificación de García citada por CORONEL (19) de la dureza Janka, se realiza el promedio de las caras radial, tangencial y transversal. La escala propuesta según distintos valores es:

Maderas muy blandas	< 300 kg/cm ²
Maderas blandas	301 a 500 kg/cm ²
Maderas semiduras	501 a 700 kg/cm ²
Maderas duras	701 a 1000 kg/cm ²
Maderas muy duras	> 1000 kg/cm ²



Foto 10: uso de la madera de pino para casas, pisos, terciados impregnados para paredes.



Foto 11: Puertas, caja de embalajes, carretes.



Foto 12: Muebles de dormitorio y de jardín

3 MATERIALES Y METODOS

El material utilizado para los ensayos provino de 6 árboles de plantaciones de *Pinus taeda* origen Marion de 3 diferentes edades, 6, 9 y 16 años de la Zona del Alto Paraná.

➤ *Datos de las plantaciones*

Datos de árboles de 6 años

PLANTACION: 1994

EMPRESA: Pérez Companc

LUGAR: 10 km de la actual Ruta 12, sobre la Ex Ruta 12, Departamento de Iguazú

SUPERFICIE DE PARCELA: 51ha

UBCACION GEOGRAFICA: latitud sur 25° 45' y longitud Oeste 54° 27'

DENSIDAD INICIAL DE PLANTACION: 1333 pl/ha

SUELO: Pertenece taxonómicamente al Gran Grupo Kandiuult

TRATAMIENTOS REALIZADOS: Podas: 1 año 1997 altura 2 m - 2 año 1999 altura 3.5 -

FECHA DE EXTRACCION: Octubre 2000

En la tabla 3.1 se muestran los datos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura de los árboles seleccionados.

Tabla 3.1: Datos de DAP y altura de los 6 árboles de 6 años de edad

ARBOL	DAP (cm)	ALTURA (m)
1	17,4	10
2	17,4	9
3	19,0	9
4	15,5	9,1
5	15,7	7,9
6	16,8	9,3
Promedio	16,97	9,05

Datos de árboles de 9 años

PLANTACION 1992

EMPRESA: LIPSIA.SA

LUGAR: EX LOWE

SUPERFICIE: 100 ha

DENSIDAD INICIAL DE PLANTACION: 1736 pl/ha

SUELO: Pertenece taxonómicamente al Gran Grupo Kandiuult

TRATAMIENTOS REALIZADOS: dos raleos efectuados

FECHA DE EXTRACCION: 2001

En la tabla 3.2 se presentan los datos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura de los árboles seleccionados.

Tabla 3.2: Datos de DAP y altura de los seis árboles de 9 años de edad

ARBOL	DAP (cm)	ALTURA (m)
A	22,7	12,26
B	22,0	14,05
C	22,5	14,6
D	22,7	15,8
E	23,5	15,7
F	22,1	14,2
MEDIA	22,58	14,44

Datos de árboles de 16 años

PLANTACION 1985

EMPRESA: Lipsia

LUGAR: campo elena

SUPERFICIE DE PARCELA: 32 ha

DENSIDAD INICIAL DE PLANTACION: 1763 pl/ha

SUELO: Pertenece taxonómicamente al Gran Grupo Kandiudult

TRATAMIENTOS REALIZADOS: tres raleos efectuados

FECHA DE EXTRACCION: 2001

En la tabla 3.3 se presentan los datos de diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura de los árboles seleccionados.

Tabla 3.3: Datos de DAP y altura de los seis árboles de 16 años de edad

ARBOL	DAP (cm)	ALTURA (m)
A	34,2	23,7
B	33,2	23,7
C	34,3	22,6
D	33,3	22,7
E	33,5	23,3
F	34,7	22,52
MEDIA	33,87	23,09

➤ *Datos climáticos de la zona*

En la tabla 3.4, se presentan los valores meteorológicos para la zona norte de Misiones cedidos por la cátedra de climatología de la Facultad de Ciencias Forestales. (34)

Tabla 3.4: Datos meteorológicos de la zona norte de Misiones

Meses	Precipitación media mensual(mm)	Temperaturas medias mensuales (°C)		
		Máxima	Mínima	Media
ENERO	164,2	32,5	19,6	25,1
FEBRERO	133,0	32,1	19,9	24,9
MARZO	135,1	30,9	18,4	23,5
ABRIL	148,4	27,4	14,7	20,3
MAYO	155,6	24,4	12,1	17,4
JUNIO	137,9	22,1	10,3	15,4
JULIO	100,2	22,6	9,3	15,1
AGOSTO	106,5	24,9	11,1	16,9
SEPTIEMBRE	138,9	26,2	12,7	18,7
OCTUBRE	192,9	28,1	14,5	20,5
NOVIEMBRE	147,2	30,2	16,2	22,9
DICIEMBRE	135,6	32,2	18,1	24,4
ANUAL	1695,5	27,8	14,7	20,4

➤ *Selección del material*

La elección de los seis árboles fue de la siguiente manera: para cada edad se eligieron aquellos árboles con DAP (diámetro a la altura del pecho) promedio que responda a esa población, y que tengan troncos cilíndricos, rectos, sin bifurcaciones o defectos. De cada uno de estos árboles se tomaran los DAP y la altura (tabla 3.5). Los datos de DAP medio fueron cedidos por las empresas y la elección de los seis árboles fue al azar.

Tabla 3.5: Diámetros y alturas promedios de las tres plantaciones

EDAD	DAP (cm)	ALTURA (m)
6	16,97	9,05
9	22,58	14,44
16	33,87	23,09

Los árboles fueron talados a 30 cm del suelo para evitar tomar en la muestra madera con problemas de defecto y leño de compresión que se da en la base. Luego se secciono el tronco en toras de 1,5 m de largo, identificándose cada árbol con una letra (A-B-C-D-E-F) y cada tora con un número (1-2-3-4). Se extrajeron un disco en la base y luego cada 1,50 m para hallar la densidad en altura. Figura 3.1. Cada tora se

utilizó para la confección de las probetas, previamente se sacaron los listones a utilizar, de sección cuadrada de 80 mm de lado.

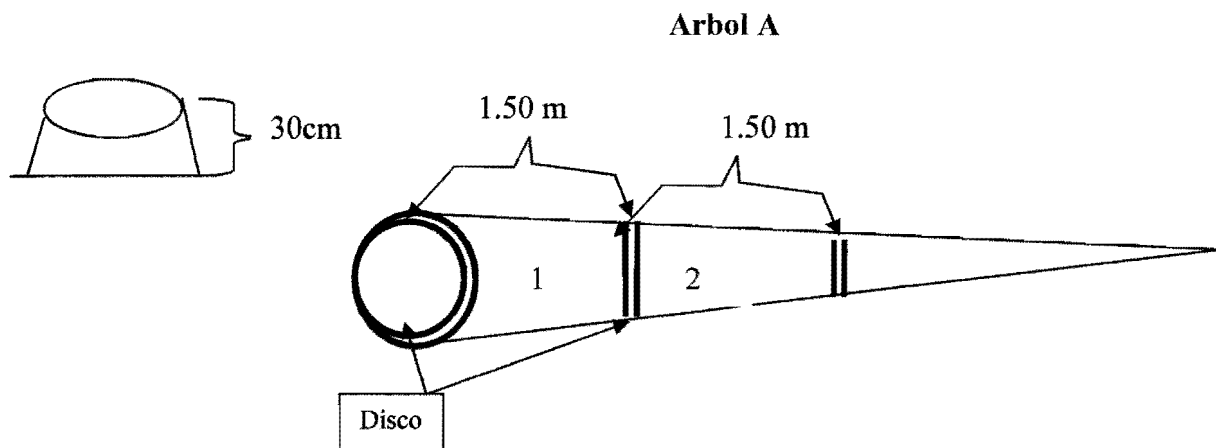


Figura 3.1: Esquema del corte de toras y discos.

Cada listón fue identificado con el número de tora y la letra del árbol correspondiente, cepillándose a 50 mm. En estos listones se marcaron e identificaron las probetas para los distintos ensayos físicos y mecánicos, según los requerimientos de las Normas ASTM, DIN e IRAM empleadas. El uso de las diferentes normas para los distintos ensayos se determinó en un acuerdo entre Centros Tecnológicos de Propiedades de la Madera de Argentina, con el fin de estandarizar las normas de los ensayos en 1987. Estos listones se llevaron bajo techo para que perdieran humedad hasta llegar aproximadamente a 15%.

Los ensayos a realizar y las Normas técnicas empleadas en el estudio se detallan a continuación.

3.1 Ensayos de las propiedades físicas

Densidad Básica

Para la densidad básica se utilizaron discos de 2,5 cm de espesor, extraídos desde la base del árbol hasta la altura comercial. En la figura 3.1, se puede observar la disposición. El material extraído del campo fue colocado en bolsas de plástico para que no perdiese humedad y llevado a depósito en el área de Tecnología de la madera, donde se realizaron las tareas de preparación del material. De cada disco se marcaron dos cuñas triangulares y a su vez se seccionaron en tres partes como se muestra en la figura 3.2.

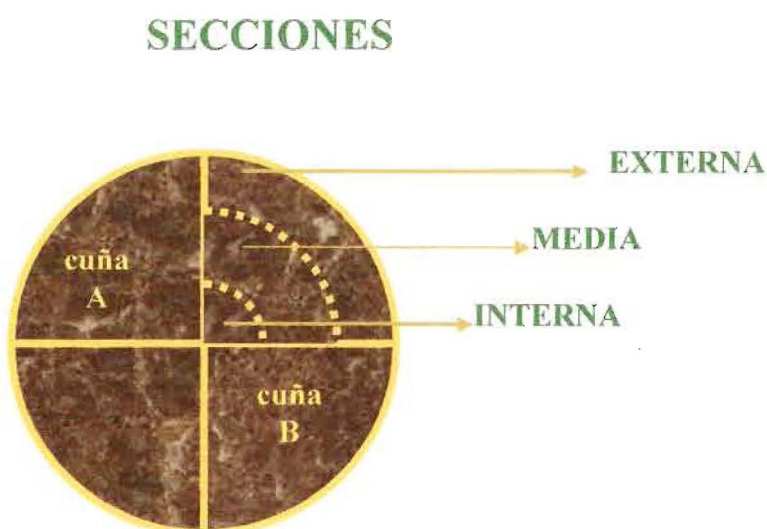


Figura 3.2: Esquema de secciones y cuñas dentro de un disco

Con cada una de las secciones fueron identificadas y llevadas al laboratorio para la determinación del peso y volumen. Para el estado verde, se sumergió todo el material durante un día, para asegurar que no hubo pérdida de humedad antes de la determinación del volumen y peso saturado. Luego cada una de las partes de la cuña se llevó a estufa hasta lograr peso constante, a una temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, para tomar el peso seco de las muestras. Con estos valores se determinó la densidad básica de todo el material de estudio, utilizándose la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{Po}{Vs}$$

donde:

Db= Densidad básica en gr/cm³

Po= Peso anhidro en gr

Vs= Volumen saturado en cm³

Densidad anhidra y estacionada

Se empleó la Norma Técnica IRAM N° 9544 (35), y se utilizaron las siguientes fórmulas

$$D_o = \frac{P_o}{V_o}$$

donde:

Do= Densidad anhidra en gr/cm³

Po= Peso anhidro en gr

Vo= Volumen anhidro en cm³

$$D_e = \frac{P_e}{V_e}$$

donde

De= Densidad estacionada

Pe= Peso estacionado gr

Ve= Volumen estacionado en cm³

Humedad

La determinación de la humedad se realizó en las probetas de los ensayos mecánicos y de contracción, según la Norma IRAM N° 9532 (24). En la cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$H\% = \frac{(P_e - P_o)}{P_o} \times 100$$

donde:

H %= Humedad de la muestra en porcentaje

Pe= Peso estacionado en gr

Po= Peso anhidro en gr

Contracciones

Se utilizaron probetas según la Norma Técnica IRAM N° 9543 (25), figura 3.3. Se determinaron las contracciones tangencial, radial y axial.

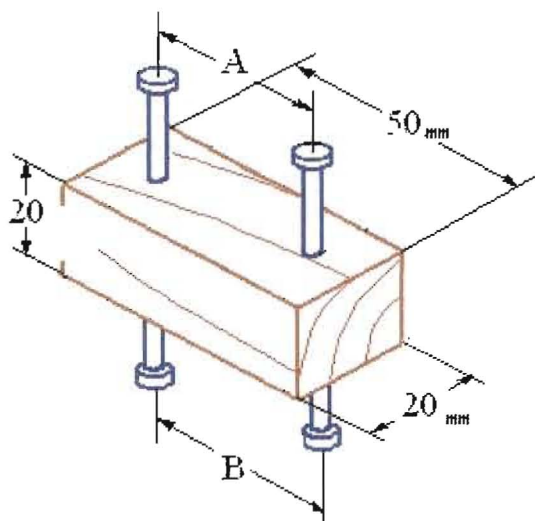


Figura 3.3: Dimensiones de probeta de contracción en mm.

Contracción total

$$RT = \frac{(L_s - L_o)}{L_s} \times 100$$

L_s = Longitud saturada

L_o = Longitud anhidra

Coefficiente de retracción

$$CR = \frac{C}{H\%}$$

C = Contracción desde el estado estacionado al anhidro

$H\%$ = Humedad de la probeta

Anisotropía de contracción

$$Ac = \frac{\beta_t}{\beta_r}$$

β_t = Contracción tangencial

β_r = Contracción radial

Punto de saturación de las fibras (PFS)

El punto de saturación de la fibra se determinó con la siguiente fórmula:

$$PSF = \frac{Ct}{Cr}$$

Siendo:

PSF = Punto de saturación de las fibras.

Ct = Contracción total.

Cr = Coeficiente de retracción.

3.2 Ensayos de las propiedades mecánicas

Flexión estática

Se utilizó la Norma DIN 52186 (30), ensayando probetas libres de defectos, de 36 cm de longitud y sección cuadrada de 2 cm de lado. La distancia entre apoyos fue de 30 cm y la carga se aplicó tangencialmente a los anillos de crecimiento a una velocidad de 300 a 400 kg/cm² por minuto. Figura 3.4.

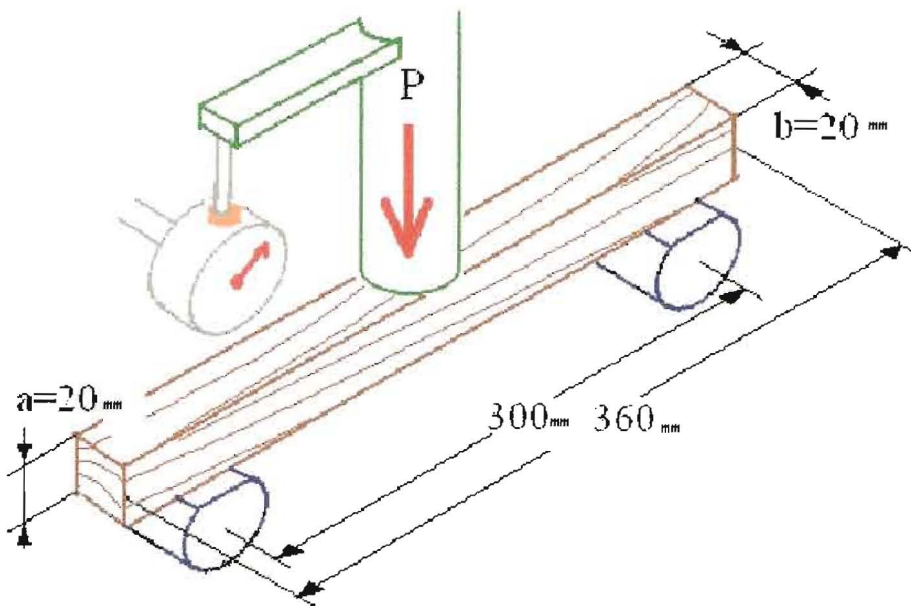


Figura 3.4: Esquema de dimensiones (mm) de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de flexión estática.

Para cada probeta se tomaron los datos de carga y deformación para representar la curva de plasticidad y determinar el límite plástico. Se usaron 2

repeticiones para la edad de 9 y 16 años y para las cuatro toras. Se realizaron los cálculos de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional.

Módulo de elasticidad

$$ME = \frac{P' L^3}{4bh^3 f}$$

ME= módulo de elasticidad en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

L= longitud entre apoyos en cm

b= base en cm

h= altura en cm

f= deformación en cm

Módulo de rotura

$$MR = \frac{3PL}{2bh^2}$$

MR= módulo de rotura en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

L= longitud entre apoyos en cm

b= base en cm

h= altura en cm

Tensión en el límite proporcional

$$TLP = \frac{3P'L}{2bh^2}$$

TLP= Tensión en el límite proporcional en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

L= longitud entre apoyos en cm

b= base en cm

h= altura en cm

Tracción perpendicular a las fibras

Se realizaron los ensayos según lo establecido en la Norma ASTM 143/52 (32). Las probetas tienen sección cuadrada de 50 mm de lado y 60 mm de longitud. En los extremos presentan escotaduras cilíndricas de 25 mm de diámetro, donde se fijarán las mordazas de tracción, cuyos centros se encuentran a 6 mm de las superficies transversales, dejando una sección útil de tracción de 25 mm, por el ancho de la probeta, 50 mm. La velocidad de aplicación de la carga es de 2,5 mm/minuto. Figura 3.5.

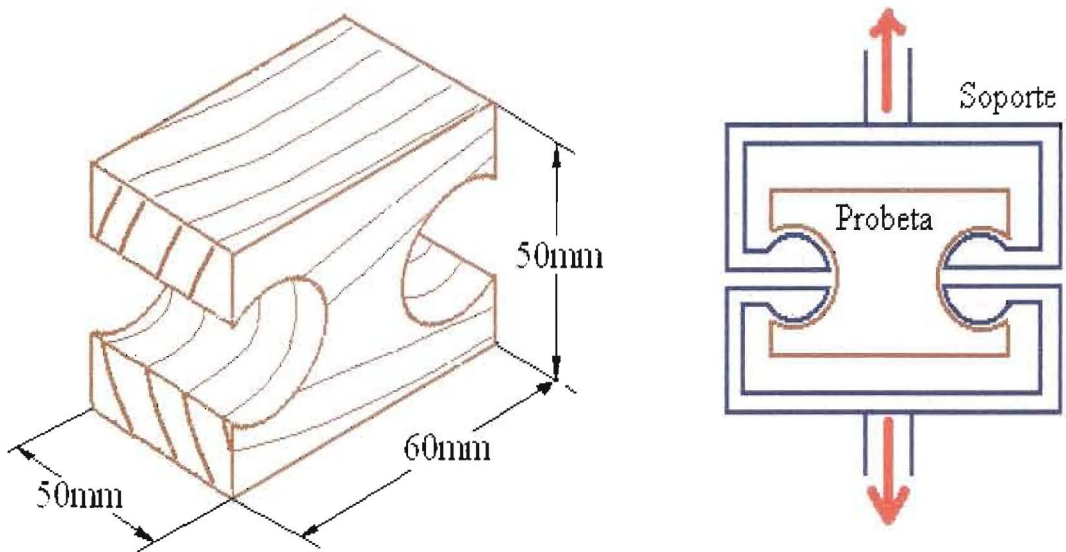


Figura 3.5: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de la tracción perpendicular a las fibras.

La tensión se calculó con la fórmula:

$$Tt = \frac{P}{S}$$

Tt= tensión de corte a la tracción en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

S= sección de la probeta en cm²

Rajadura o clivaje

Se utilizó la Norma ASTM 143/52 (32), las probetas son prismáticas, de sección cuadrada de 50 mm de lado y 95 mm de longitud. En uno de los extremos se realiza una escotadura cilíndrica a todo el ancho de la probeta, de 25 mm de diámetro, cuyo centro se encuentra a 6 mm de la superficie transversal. La carga se aplica a una velocidad de 2,5 mm/minuto. Figura 3.6.

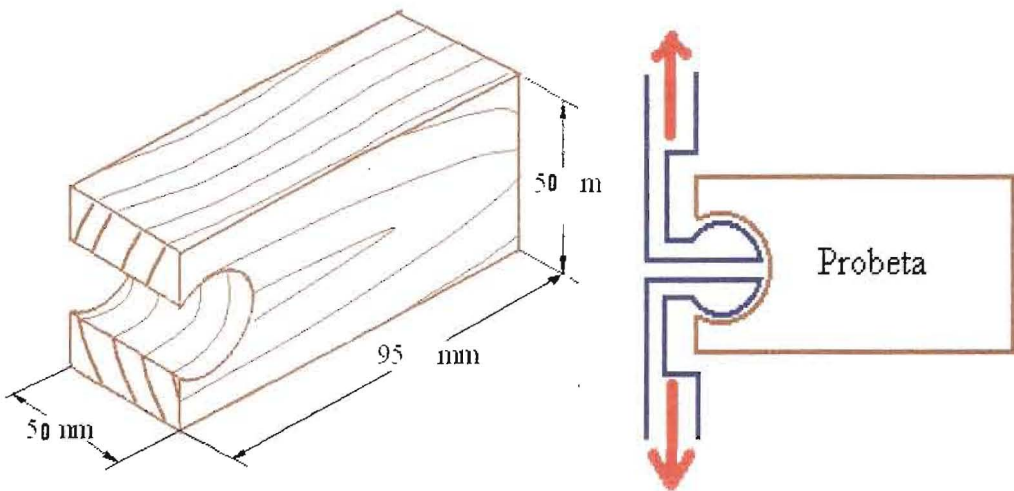


Figura 3.6: Esquema de dimensiones de probeta y aplicación de fuerzas en la determinación de clivaje o rajadura.

La tensión se calculó con la fórmula:

$$Tr = \frac{P}{L}$$

Tr= tensión de corte a la rajadura en kg/cm

P= carga de rotura en kg

L= Longitudinal en cm

Dureza Janka

Se trabajó de acuerdo a la Norma ASTM 143/52 (32). Se utilizaron probetas de sección cuadrada de 50 mm de lado y 150 mm de longitud, orientadas en forma tal que dos superficies sean tangenciales, dos radiales y dos transversales. El ensayo se realiza introduciendo una semiesfera de acero de 11,28 mm de diámetro, la que deja

una impronta de sección circular de 1 cm^2 . La velocidad de carga es de 6 mm/min . Figura 3.7.

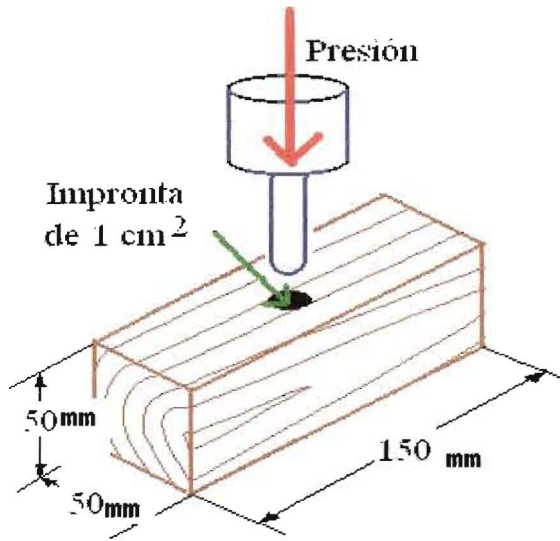


Figura 3.7: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de la dureza Janka.

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Se utilizaron probetas prismáticas de $62,5 \text{ mm}$ de longitud y sección cuadrada de 50 mm de lado, de acuerdo a la Norma ASTM 143/52. En uno de los extremos la probeta presenta un escalón de $12,5 \text{ mm}$ de altura y 15 mm de ancho, donde se aplica la carga por medio de un pistón. El conjunto probeta - pistón se encuentra encerrado en una armadura de acero. La velocidad del ensayo es de $0,6 \text{ mm/min}$. Figura 3.8.

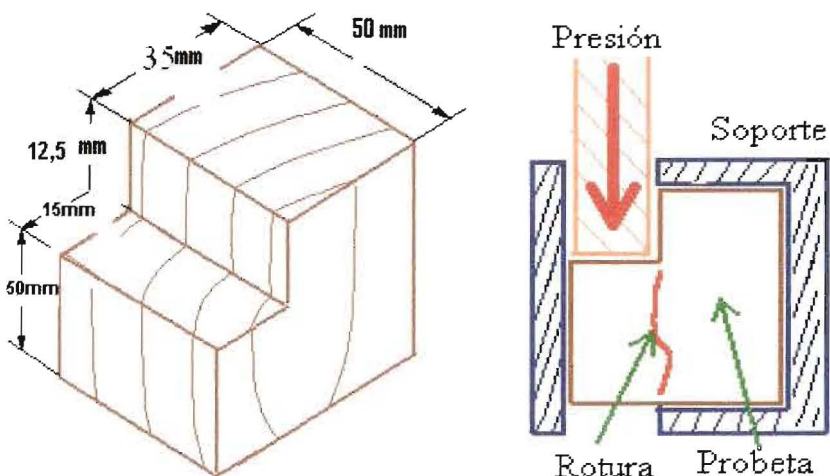


Figura 3.8: Dimensión de las probetas y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas del corte o cizallamiento.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$Tc = \frac{P}{S}$$

Tc= tensión de corte o cizallamiento paralelo en kg/cm^2

P= carga de rotura en kg

S= sección de la probeta en cm^2

Compresión paralela a las fibras

Los ensayos se realizaron de acuerdo a la Norma DIN N° 52186 (30), utilizándose probetas prismáticas de sección cuadrada de 20 mm de lado y 60 mm de longitud. La carga se aplica por medio de un cabezal móvil con rótula esférica a una velocidad de 200 a 300 kg/cm^2 y 0,6 milímetros por minuto. Figura 3.9.

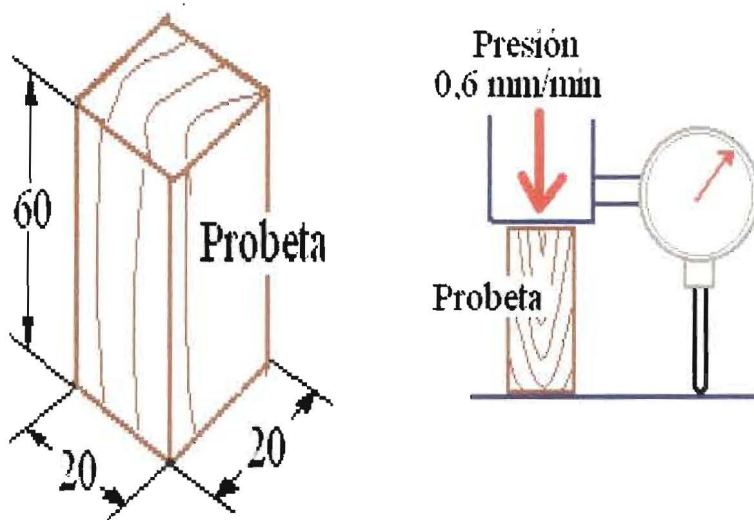


Figura 3.9: Dimensión de las probetas (mm) y representación esquemática de la aplicación de las fuerzas de compresión paralela a las fibras.

Para cada probeta se tomaron los datos de carga y deformación para representar la curva de plasticidad y determinar el límite plástico. Se usaron 2 repeticiones para la edad de 9 y 16 años y para las cuatro toras. Se realizaron los cálculos de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional.

Módulo de elasticidad de la compresión

La carga en el límite proporcional y la deformación se determina con la ayuda de las curvas de deformación para cada probeta ensayada.

El Módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula:

$$ME = \frac{P' L}{Sf}$$

ME= Módulo de elasticidad en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

S= superficie en cm²

f = deformación en cm

L= longitud en cm

Módulo de rotura a la compresión

El Módulo de rotura se calcula con la fórmula:

$$MR = \frac{P}{S}$$

MR= Módulo de rotura en kg/cm²

P= carga de rotura en kg

S= superficie en cm²

Tensión en el límite proporcional

La tensión en el límite proporcional se calcula con la fórmula:

$$TLP = \frac{P'}{S}$$

TLP= Tensión en el límite proporcional en kg/cm²

P'= carga en el límite proporcional en kg

S= superficie en cm²

3.3 Equipo y Material de Laboratorio

Para los ensayos físicos de densidad, contracción, coeficiente de contracción y humedad se utilizaron los siguientes equipos de la Facultad de Ciencias Forestales:

- 1- Se utilizó el principio de Arquímedes, para medir los volúmenes.
 - 2- Balanza eléctrica, con precisión de 0,01 gr.
 - 1- Estufa de secado con termostato, que permite regular temperaturas de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
1. Calibres de precisión Mitutoyo, origen japonés, con precisión de medidas de 0,02 mm.
 2. Desecadores y cubetas.

Para los ensayos mecánicos se utilizó una Máquina Universal de Ensayos, marca CIFIC, fabricada en Argentina, de 10 toneladas de capacidad, conectada a un gabinete de trabajo y control, de la misma fabricación, que permite apreciar cargas mínimas de 2,5 kg, en escala de 1 tonelada, pudiéndose operar también con escalas de 2, 5 y 10 toneladas. Foto 13.

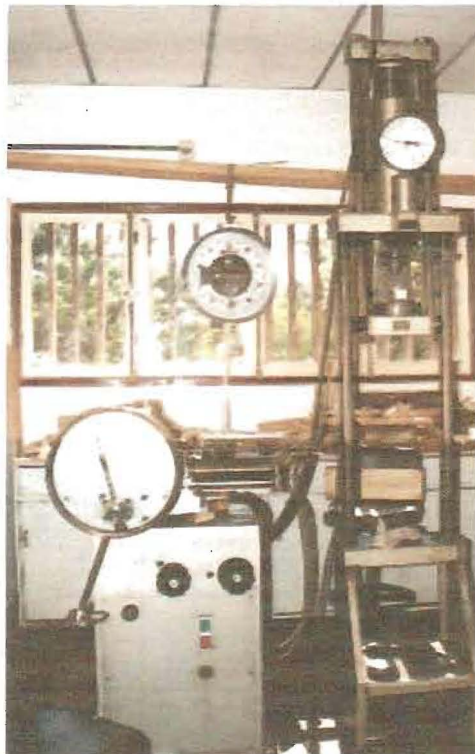


Foto 13: Máquina Universal de la Facultad de Ciencias Forestales

3.4 Procesamiento de datos

Para los árboles de 6 años de edad se realizaron los cálculos de media, desvío estándar y coeficiente de variación para las dos primeras toras y para la edad en general, de cada una de las propiedades y sentido del esfuerzo, en el caso que lo tuviera.

Para los árboles de 9 y 16 años de edad se realizaron los cálculos de media, desvío estándar y coeficiente de variación para las 4 primeras toras y para la edad en general, de cada una de las propiedades y sentido del esfuerzo, en el caso que lo tuviera.

Los cálculos de comparación de 9 y 16 años se procesaron con un programa estadístico y se consideró un diseño factorial 2 x 4, y 2 x 4 x 2 o 3 cuando hay sentido de esfuerzo. Los seis árboles para cada edad se consideran como repeticiones y 2 probetas por árbol. Con 2 probetas por árbol se obtiene un nivel de confianza de la media de 95 %. (20) Se realizó el test de comparación de medias de Tukey.

EDADES con dos niveles 9 y 16 TORAS con cuatro niveles 1, 2, 3, 4

SENTIDO DEL ESFUERZO con dos o tres niveles: radial, tangencial o radial, tangencial y transversal

EDAD	TORAS	ESFUERZO	repeticiones
9	1	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	2	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	3	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	4	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
16	1	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	2	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	3	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u
	4	tg	6 árboles y 2 probetas de c/u
		rd	6 árboles y 2 probetas de c/u

Para el análisis de las medias de las tres edades se consideraron tres niveles de edades y se consideró a las toras como parte de las repeticiones.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan de la siguiente forma:

- ✓ comparaciones de las medias de las tres edades estudiadas.
- ✓ comparación en altura de los datos de 9 años y 16 años
- ✓ resultados individuales para las edades de 6, 9 y 16 años, se presentan en los respectivos anexos I, II y II, donde se pueden observar las tablas de análisis de variancia y del test de Tukey.

4.1 Ensayos de las propiedades físicas

Densidad Básica

Los valores medios para cada sección y edad los podemos observar en la tabla 4.1 y la figura 4.1. Se debe mencionar que estos valores se obtuvieron de 4 discos para 6 años y 8 discos para las edades de 9 y de 16 años.

Tabla 4.1: Valores medios de densidad básica de las tres plantaciones.

SECCION	Densidad básica (gr/cm ³)		
	6 años	9 años	16 años
Interna	0,322 a	0,332 ab	0,399 e
Media	0,340 b	0,356 c	0,428 f
Externa	0,385 d	0,380 d	0,456 g

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

Estos valores nos muestran que de la corteza a la medula hay una disminución del 19,59 %, 14,57 % y 14,31 %, a los 6 años, 9 años y 16 años respectivamente. Si consideramos las diferencias entre edades para cada sección, se produjo un aumento del 3,03 %, 4,56 % en las secciones interna y media de la plantación 6 a 9 años, hubo una pequeña diferencia de 1,3 % en la sección externa. En cuanto a la variación de la plantación de 16 años con respecto a la de 9 años es ampliamente superior, siendo el aumento de un 20,30 %, 20,37 % y 20,20 % para las secciones interna, media y externa respectivamente.

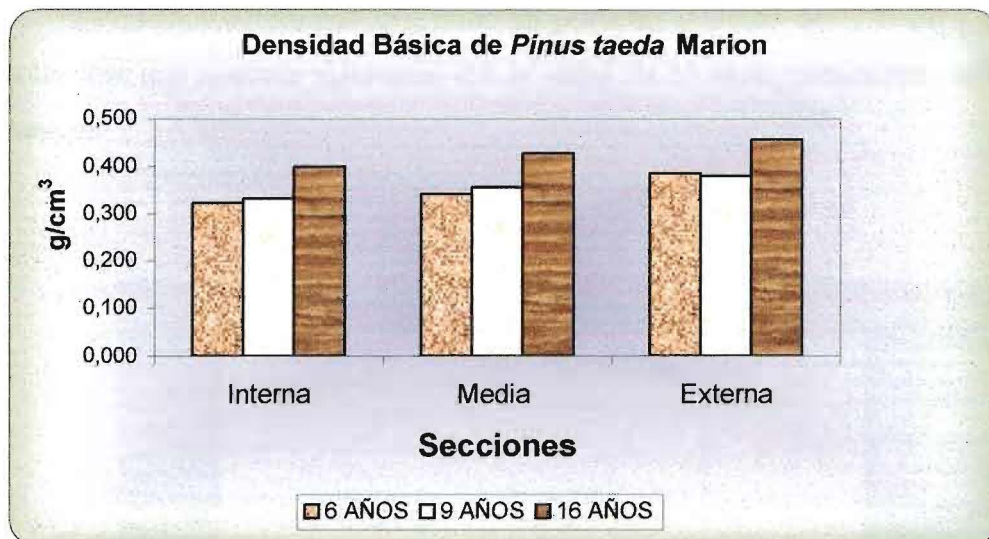


Figura 4.1: Valores medios de la densidad básica de las tres plantaciones según sección.

Los análisis de variancia y test de medias de Tukey dan diferencias significativas entre las distintas secciones y edades, en el anexo IV se muestran las tablas respectivas.

En la tabla 4.2 se encuentran los valores medios de densidad básica de las tres edades, dando diferencias significativas entre ellas. En el anexo IV se detalla el resumen estadístico de las tres edades.

Tabla 4.2: Valores medios, desvío y coeficiente de variación (CV) de densidad básica para las tres edades.

Edad	Densidad básica		
	Media (gr/cm ³)	Desvío Estándar (gr/cm ³)	CV (%)
6	0,3490 a	0,0479	13,71
9	0,3557 b	0,0369	10,36
16	0,4277 c	0,0322	7,52

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.2 vemos la comparación de medias de la densidad básica para cada plantación.

Podemos determinar que hubo un pequeño aumento del 2 % de 6 a 9 años, notándose una marcada diferencia con la edad de 16 años, presentando un 22 % de aumento.

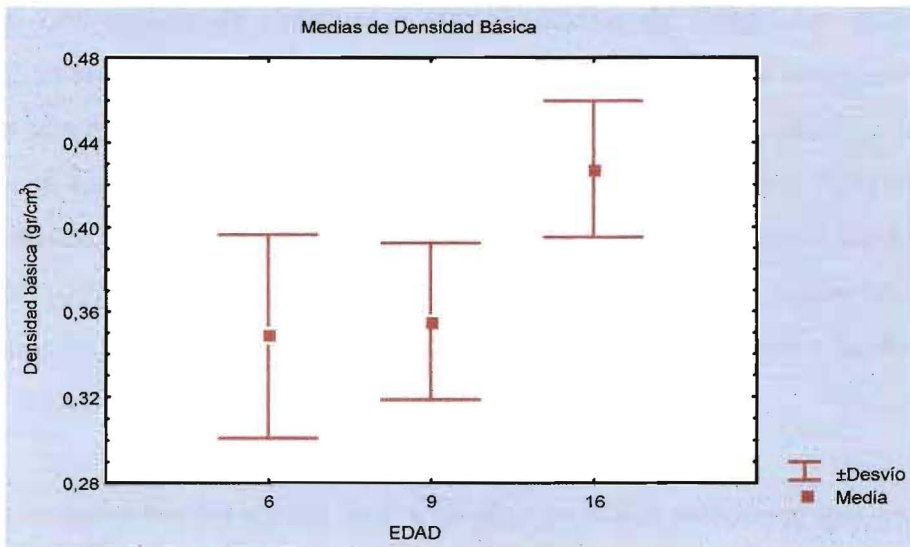


Figura 4.2: Comparación de medias de la densidad básica de las tres edades.

Se observa en los datos obtenidos la tendencia de la densidad básica a disminuir con la altura y desde el interior a la corteza, como lo citan en las bibliografías (15)(20)(23).

Los valores promedio de 6 años comparados con los de PEREYRA et al (29) con plantación de 6 a 10 años, da valores inferiores. Respecto a los datos obtenidos por SPARNOCHIA et al.(5) con árboles de 7 años, en los cuales la disminución en altura es del 15 %. Los valores obtenidos en este trabajo produjeron un 19,8 % de disminución, con una densidad promedio similar. Podemos observar una disminución de la corteza a la médula de 16,38 %. Estos valores promedio coinciden con SPARNOCHIA et al.(27). Los análisis de variancia y test de medias de Tukey dan diferencias significativas entre los distintos discos y sección, para la edad de 6 años, en el anexo I se muestran las tablas respectivas.

Los valores medios de 9 años utilizados de los ocho discos de todos los árboles se muestran en el anexo II, al igual que los análisis de variancia y test de

medias de Tukey que dan diferencias significativas entre los distintos discos y sección.

Para los 16 años, en el anexo III se encuentra la tabla de datos y los valores promedio de las densidades a lo largo de los ocho primeros discos en sus distintas secciones. Los análisis de variancia y test de medias de Tukey dan diferencias significativas entre los distintos discos y sección. Estos valores son semejantes a los obtenidos por SUIREZS,T (7) y superiores a los de GONZALEZ et al (26). Si se compara con los valores de MUÑIZ, G. (15) con *Pinus* de 30 años y TOMASELLI (28) de 18 años, los obtenidos en este trabajo son menores. En cuanto a los datos de PEREYRA (29) para la clase de edad 16 a 20 con *Pinus taeda* de origen Marion el valor promedio, es coincidente pero hay una mayor amplitud entre la densidad interna y la externa.

Si comparamos las edades de 9 y 16 años podemos determinar que en altura hubo una disminución de la densidad básica, del disco 1 al disco 8 del 18,3 % y 9,5 % respectivamente. Las diferencias entre altura dan estadísticamente significativa, en el anexo IV se encuentra la tabla de análisis de variancia y test de Tukey y en la figura 4.3 se ve la comparación de medias.

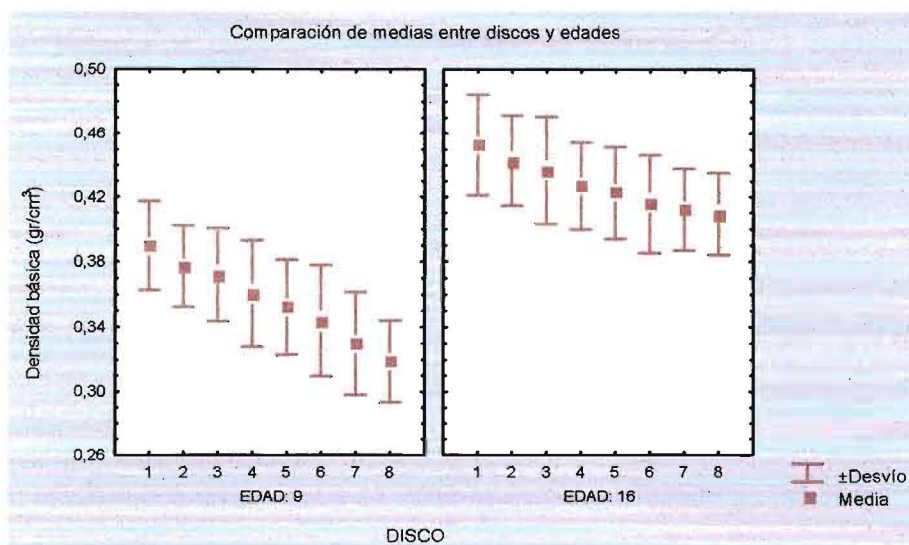


Figura 4.3: Comparación de medias de la densidad básica por discos y edad.

Densidad anhidra y estacionada

Los valores de densidad anhidra y estacionada se calcularon con probetas de los ensayos mecánicos. En la tabla 4.3 se presentan los resultados de las tres edades. Los valores obtenidos a los 9 años muestran igual tendencia que la plantación de 6 años. Los valores de 16 años presentan un pequeño aumento, estos valores de densidad anhidra y aparente son inferiores a los de TOMASELLI (28) y MUÑIZ (15).

Tabla 4.3: Valores medio de la densidad anhidra y aparente de los 6, 9 y 16 años.

Edad	Densidad Media (gr/cm³)	
	Anhidra	Aparente
6	0,410	0,440
9	0,418	0,449
16	0,430	0,462

Humedad y Punto de saturación de las Fibras (PSF)

En la tabla 4.4 se presentan los valores medios de la humedad obtenida por edad, desvío estandar y coeficiente de variación. Las tres edades dan valores similares.

Tabla 4.4: Valores de Humedad promedio, desvío estandar (DS) y coeficiente de variación (CV) de las tres edades.

Edad	Medias %	DS %	CV %
6	13,21	1,13	8,55
9	13,59	1,88	13,80
16	13,69	1,91	13,95

En la tabla 4.5 se presentan los valores medios de punto de saturación de las fibras, desviación estándar y coeficiente de variación obtenidos por edad.

En la edad de 6 años vemos un valor menor, aumentando un 4,6 % en la edad de 9 años y un 1,6 % en la de 16 años.

Tabla 4.5: Valores de Punto de saturación de fibras, desvío estandar (DS) y coeficiente de variación (CV) de las tres edades.

Edad	Medias	DS	CV
6	25,15	3,49	13,87
9	26,36	4,05	15,35
16	26,79	3,18	11,86

Este PSF de 16 años se encuentra dentro de los valores considerados como normales para las coníferas (21).

Contracciones

Contracción total y coeficiente de retracción

Tangencial

En la tabla 4.6 se prestan los valores medios, desvío estándar, coeficiente de variación en el sentido tangencial de la contracción total y coeficiente de retracción, de las tres edades. El análisis de variancia es significativo para la contracción total siendo el de 16 años superior. En el anexo IV se presenta la tabla de variancia y la comparación de medias de tukey. El coeficiente de retracción no presenta diferencias significativas para ninguna de las edades.

Tabla 4.6: Valores promedios, desvío estándar (DS), coeficiente de variación (CV) en el sentido tangencial de la contracción total y coeficiente de retracción.

Edad	Contracción Total tangencial			Coeficiente de Retracción tangencial		
	Medias	DS	CV	Medias	DS	CV
6	5,52 a	0,72	13,00	0,209 a	0,013	0,611
9	5,49 a	0,71	12,97	0,204 a	0,043	2,088
16	6,09 b	0,83	13,67	0,221 a	0,038	1,723
Promedio	5,76	0,82	14,18	0,212	0,039	1,830

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.4 se presenta la comparación de medias de la contracción total tangencial.

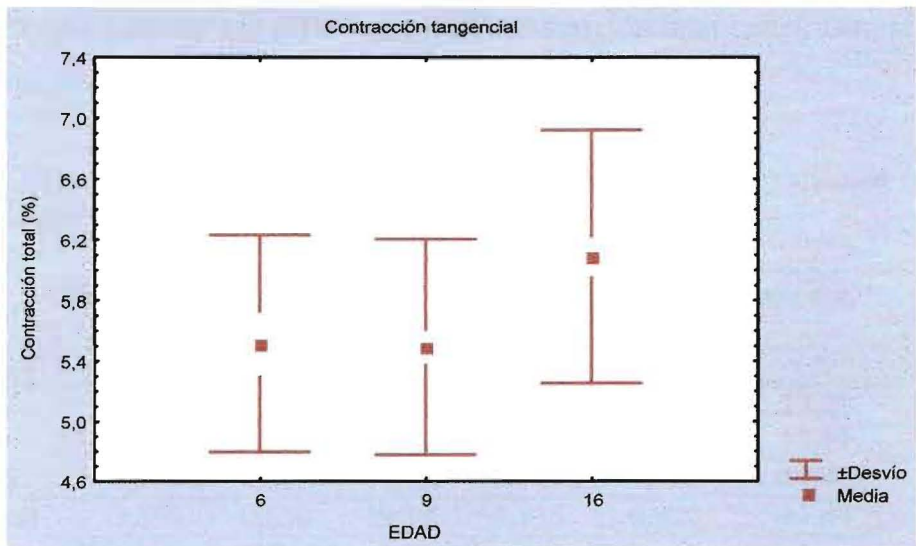


Figura 4.4: Comparación de medias de la contracción total tangencial de las tres edades.

Si consideramos las edades 9 y 16 años y las comparamos en sus cuatro primeras toras, encontramos diferencias significativas entre toras y edad (anexo IV), en la contracción total como así también en el coeficiente de retracción. En la figura 4.5 podemos observar la comparación de medias como aumenta para cada edad y disminuye en altura.

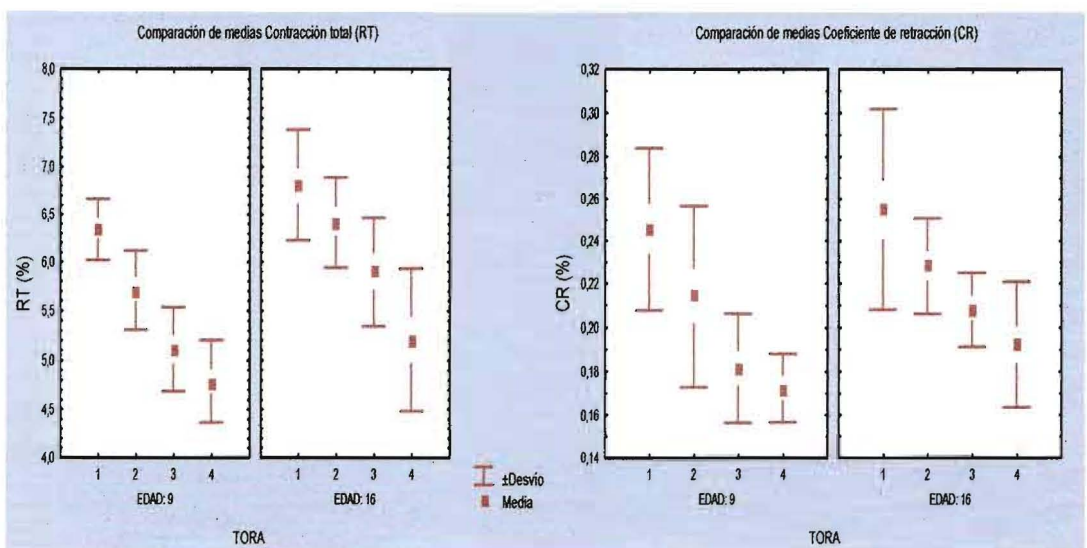


Figura 4.5: Comparación de medias de la retracción total y coeficiente de retracción tangencial por tora y edad.

Radial

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el sentido radial en la tabla 4.7. En este caso no hay diferencias en la contracción total radial, pero sí en el coeficiente de retracción radial.

Tabla 4.7: Valores promedios, desvío estándar (DS), coeficiente de variación (CV) en el sentido radial

Contracción Total radial				Coeficiente de Retracción radial		
Edad	Media	DS	CV	Media	DS	CV
6	3,306 a	0,543	16,42	0,132ab	0,017	13,21
9	3,300 a	0,649	19,67	0,129 a	0,022	17,17
16	3,524 a	0,669	18,99	0,144 a	0,025	17,47
Total	3,399	0,650	19,12	0,136	0,024	17,64

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

Si se consideran las edades 9 y 16 años y se comparan en sus cuatro primeras toras, se encuentran diferencias significativas entre toras y edad (anexo IV), en la contracción total como así también en el coeficiente de retracción. En la figura 4.6 se observa que la comparación de medias aumenta para cada edad y disminuye en altura.

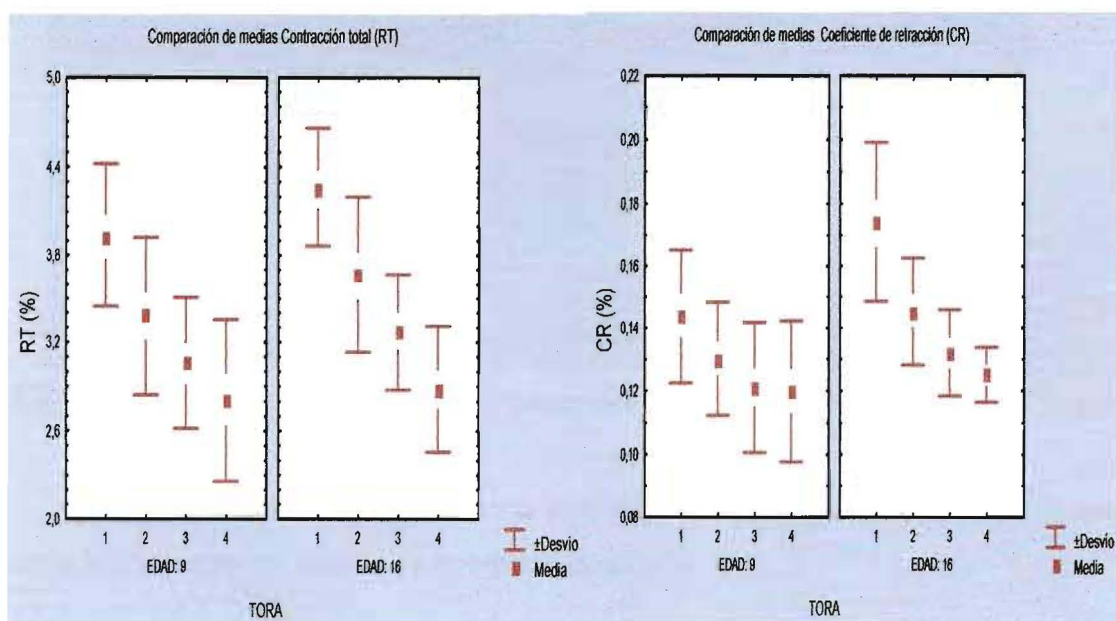


Figura 4.6: Comparación de medias por tora y edad de la contracción total y coeficiente de retracción radial.

Se observa la tendencia en ambos sentidos a disminuir con la altura la propiedad considerada, obteniéndose mayores valores en el sentido tangencial que radial. Estos valores son inferiores a los obtenidos por TOMASELLI (28), MUÑUIZ (15), SPARNOCHIA (27), con edades de 18, 30 y 21 años respectivamente. Los obtenidos por GONZALEZ (26) y SUIREZS)(7) de 14 años son coincidentes en el sentido radial y un poco inferior en el tangencial.

Contracción volumétrica (%)

Se observan los valores de la contracción volumétrica para cada edad en la figura 4.7 en forma esquemática.

Si se observan los valores de 6 años a 9 años no hubo diferencias, pero de 9 años a 16 años se manifestó un aumento del 9,32 %, en particular en el sentido tangencial con un aumento comparado con los 9 años de 10,8%.

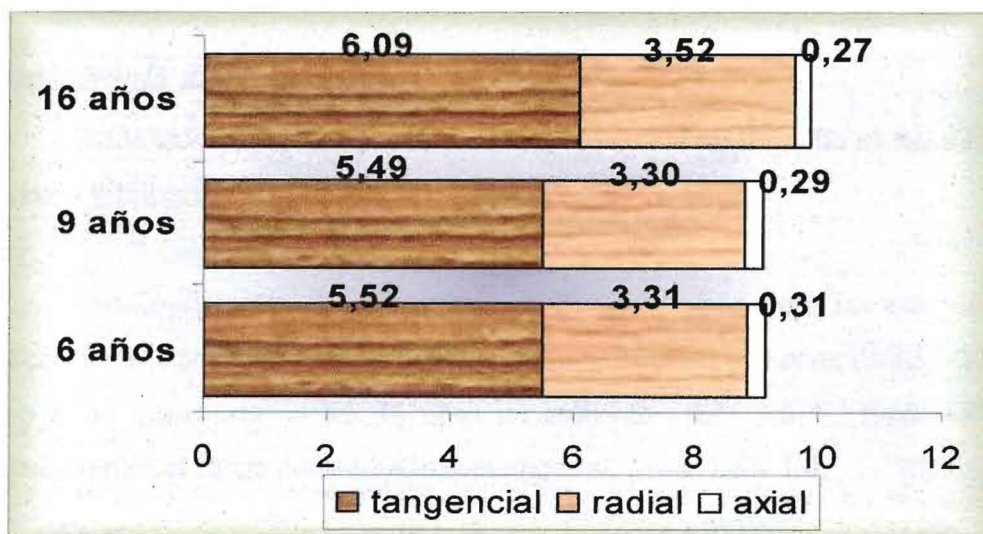


Figura 4.7: Representación de las contracciones volumétricas para cada edad

La contracción volumétrica total está dentro de los valores que encontramos en la bibliografía con respecto a la especie en estudio.

En la figura 4.8 se observa la tendencia a disminuir con la altura, en las edades de 9 y 16 años de las cuatro primeras toras de las distintas contracciones.

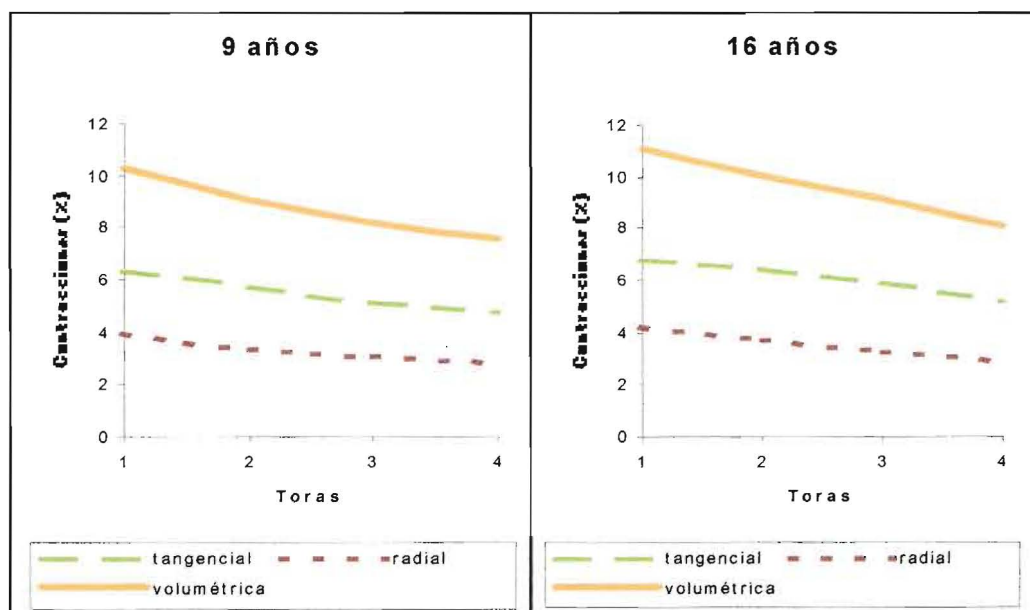


Figura 4.8: Variación de la contracción volumétrica, tangencial y radial con respecto a las toras de las edades 9 y 16.

Anisotropía de contracción

Estos valores varían poco con los hallados en la bibliografía mencionada en la revisión bibliográfica.

Los coeficientes de anisotropía de la contracción para las tres edades se observan en la tabla 4.8, notándose que entre los 6 años y 9 años no hay variación, pero sí se manifiesta a los 16 años un aumento del 3,8 %. Estos valores se encuentran en el rango considerado como normal, entre 1,6 y 1,9.

Tabla 4.8: Valores medios de anisotropía para cada edad

Contracción	6 años	9 años	16 años
tangencial	5,52	5,49	6,09
radial	3,31	3,30	3,52
Anisotropía	1,66	1,66	1,73

La anisotropía se comporta en forma inversa a la contracción volumétrica donde la misma disminuye con la altura. En la figura 4.9 se observa la contracción volumétrica de las cuatro primeras toras de los 9 y 16 años. En la edad de 16 el comportamiento es más uniforme que en la de 9.

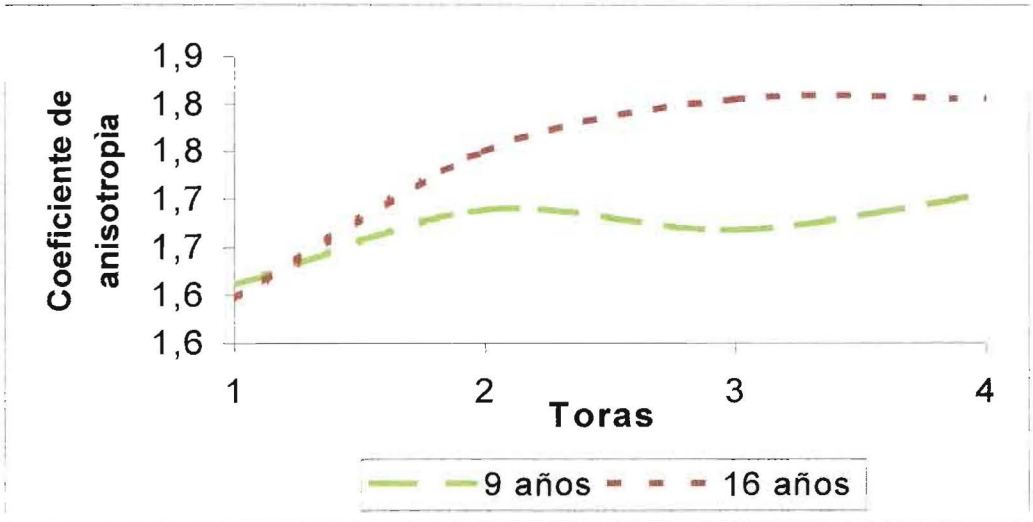


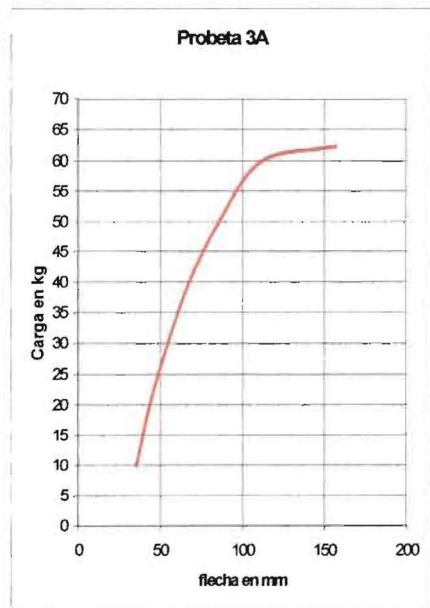
Figura 4.9: Variación de la anisotropía por tora y edad.

4.2 Ensayos de las propiedades mecánicas

Flexión estática

Para la determinación de la flexión estática y el cálculo del Módulo de rotura, Módulo de elasticidad y Tensión en el límite proporcional, en cada probeta se tomaron los datos de carga y deformación para representar la curva de elasticidad (figura 4.10) y determinar el límite elástico, para luego procesar los datos.

Figura 4.10: Representación gráfica de la curva de elasticidad a la flexión de una probeta de 6 años.



En el anexo I se presentan los análisis de variancia para los árboles de 6 años. En dicha tabla también se encuentran los resultados del test de comparación de medias de Tukey, el cual no dio significativo.

En anexo II se presentan los valores promedios de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional por tora para 9 años, se presentan los análisis de variancia y comparación de medias, los cuales no dieron significativo para todas las propiedades en ninguna de las toras. Los valores medios para cada tora muestran una disminución en altura pero no llega a ser significativo. Si comparamos estos valores de 9 años con los obtenidos por GONZALEZ et al (26), con plantaciones de 14 años dan valores menores, al igual que los datos de 11 años (33). Los valores de SUIREZS (7) con *Pinus taeda* origen Marion presenta un Módulo de elasticidad menor y un Módulo de rotura superior a los encontrados.

En el anexo III se representan los valores promedios de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional por tora de 16 años. Se encuentran los resultados del test de comparación de medias de Tukey, el cual no resulto significativo para ninguna de las toras en el Módulo de rotura y en la Tensión en el límite proporcional, pero sí en el Módulo de elasticidad. Estos valores disminuyen desde la base a la cuarta tora (hacia el ápice) en un 30 %, 13 % y 20 % en el Módulo de elasticidad, de rotura y en el límite proporcional, respectivamente. El valor del Módulo de elasticidad, rotura y Tensión en el límite proporcional es inferior a los obtenidos por TOMASELLI (28), MUÑUIZ (15) con edades de 18 y 30, y similar al de SPARNOCHIA (27) de 21 años y superior a los encontrados por GONZALEZ (26) y SUIREZS(7) de 14 años.

En la tabla 4.9 se presentan los valores medios de las tres edades del Módulo de elasticidad, de rotura y Tensión en el límite proporcional a la flexión estática. En los resultados del análisis de variancia como así también en el test de comparación de medias de Tukey (anexo IV) dan diferencias significativas entre edades, tanto en el Módulo de elasticidad, de rotura y Tensión en el límite proporcional. El Módulo de elasticidad a los 6 años es muy bajo, aumentando un 266 % a los 9 años de edad y un 95 % a los 16 años respecto de los 9 años. El Módulo de rotura (MR) y la Tensión en

el límite proporcional (TLP) han aumentado en menor porcentaje, siendo 60 % y 47 % para MR y 35 % y 52 % para TLP con respecto a las dos edades.

Tabla 4.9: Valores medios de flexión, del Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional para las tres edades.

	Edad	Módulo de elasticidad	Módulo de rotura	Tensión en el límite proporcional
Media (kg/cm ²)	6	12560,70 a	261,45 a	178,37 a
	9	46070,30 b	417,74 b	241,60 b
	16	89907,82 c	613,60 c	367,80 c
	Total	56536,92	463,14	278,60
Desvío (kg/cm ²)	6	3097,78	52,22	63,24
	9	21172,45	106,70	66,18
	16	27531,82	104,00	85,05
	Total	36966,75	166,12	105,70
CV %	6	24,66	19,98	35,45
	9	45,96	25,54	27,39
	16	30,62	16,95	23,13
	Total	65,39	35,87	37,94

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.11 podemos ver la comparación de medias del Módulo de elasticidad a la flexión estática para las tres edades.

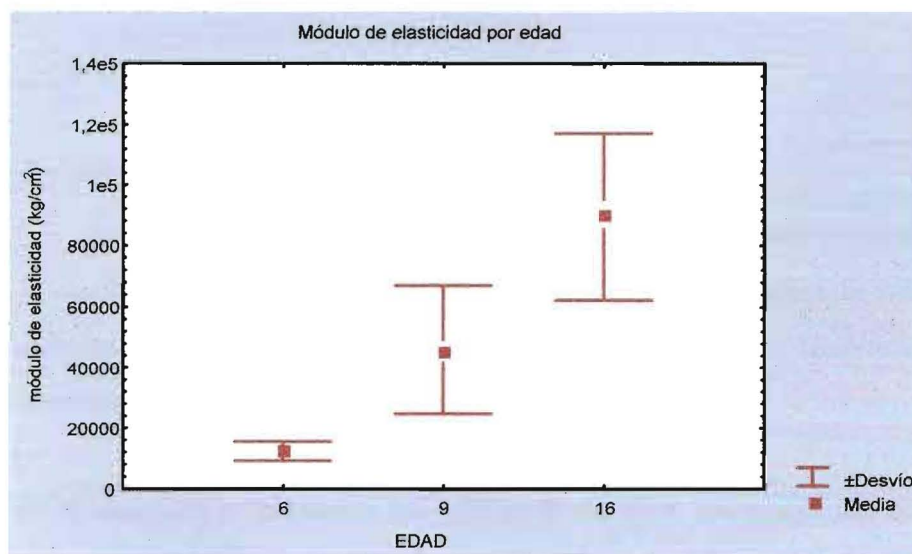


Figura 4.11: Comparación de medias del Módulo de elasticidad de las tres edades

Si se comparan las cuatro primeras toras de las edades 9 y 16 años se obtienen diferencias significativas entre tora y edad en el Módulo de elasticidad, no siendo significativa la interacción entre las mismas. El Módulo de rotura no mostró diferencias significativas entre toras ni en la interacción. La Tensión en el límite proporcional, se comportó de igual forma que el Módulo de elasticidad. (Anexo IV)

En la figura 4.12 se muestran la variación del Módulo de elasticidad por tora y edad. Esta variación manifiesta una disminución de la base a la cuarta tora de 30 % en el Módulo de elasticidad.

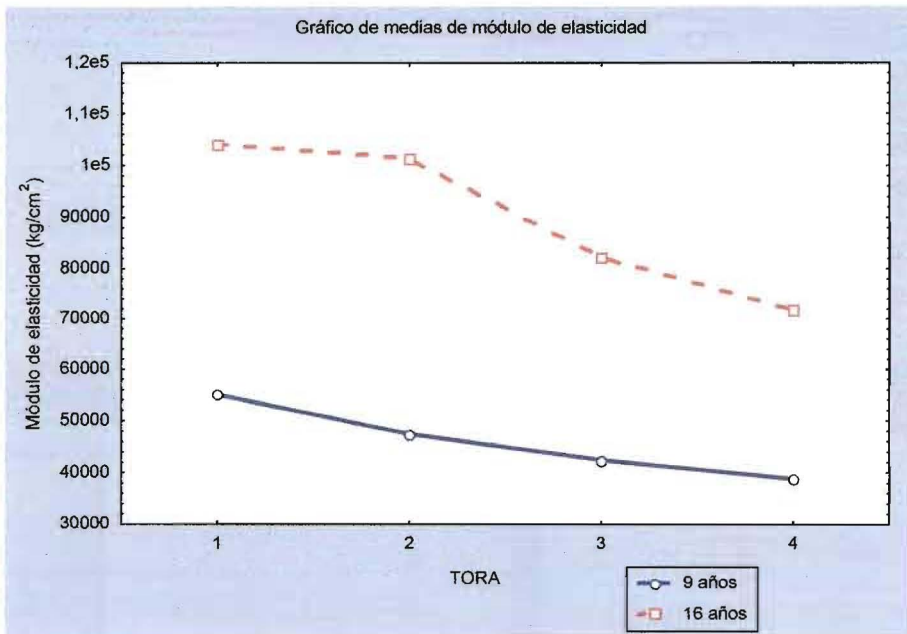


Figura 4.12: Variación del Módulo de elasticidad por tora y edad.

Tracción perpendicular a las fibras

Los resultados para la plantación de 9 años según esfuerzos se presentan en Anexo II, dando diferencias significativas al 5 %. No se considera la interacción entre tora y sección. El valor de la media radial es superior a la tangencial. Estos valores son menores que los obtenidos para 14 años (26) (7).

En el anexo III se presentan los valores de 16 años, los cuales son mayores a los obtenidos para 14 años por GONZALEZ et (26) y similares a los de SUIREZS (7).

En la tabla 4.10 se presentan los valores medios para la tracción perpendicular a las fibras de las tres edades. En el análisis de variancia y de las medias dan diferencias significativas entre edades y esfuerzos (anexo IV). Se manifiesta un aumento de la tracción tangencial y radial de 45 % y 40 % respectivamente cuando comparamos de 6 y 16 años.

Tabla 4.10: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) de la tracción perpendicular de las tres edades en kg/cm^2 .

Edad	Esfuerzo	Media	Desvío	CV
6	tg	25,38 a	2,88	11,36
	rd	29,80 ab	1,92	6,44
9	tg	27,60 a	4,45	16,12
	rd	33,80 b	5,21	15,42
16	tg	36,86 c	3,85	10,46
	rd	41,88 d	4,21	10,04
		34,53	6,89	19,96

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.13 se observa la comparación de medias de las tres edades.

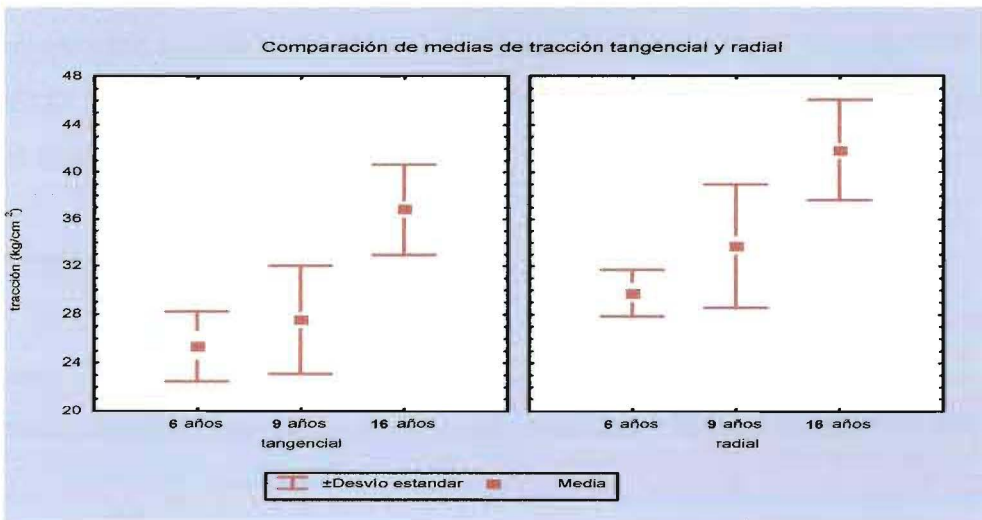


Figura 4.13: Comparación de medias de la tracción perpendicular a las fibras de las tres edades en el sentido radial y tangencial.

Si se comparan las edades 9 y 16 años en altura se obtienen los siguientes datos que se reflejan en el gráfico para una mejor observación, figura 4.14. Se realizaron los análisis de variancia, donde no se consideró la interacción por tora y sentido del esfuerzo, dando significativo para las dos edades y las toras, (anexo IV).

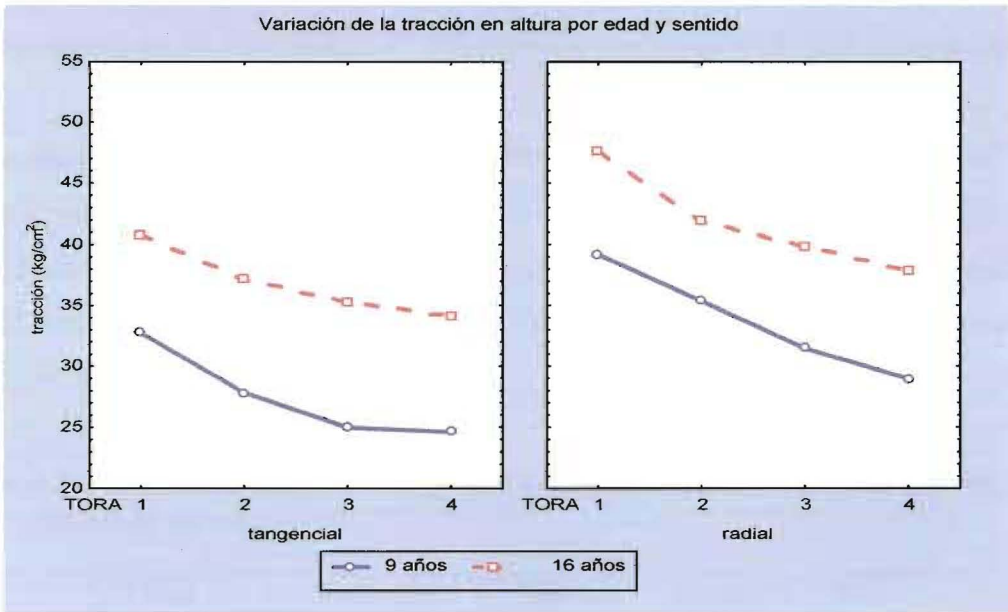


Figura 4.14: Variación de la tracción perpendicular en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.

Se produjo un aumento en la fuerza de tracción de los 9 años de edad a los 16 años de cada tora de 24,54 % y 21,58 % para la 1ª tora, 33,43 % y 18,54 % para la 2ª, 40,86 % y 26,46 % para 3ª, 38,31 % y 30,83 % en la 4ª, en el sentido tangencial y radial respectivamente.

Rajadura o clivaje

Se presentan los valores medios de los resultados de 6 años de los ensayos para cada tora y esfuerzo radial y tangencial de rajadura o clivaje. Los cuales dan diferencias significativas con un nivel significancia del 5 % en el Anexo I.

En Anexo II se presentan los valores medios de los 9 años de los resultados de los ensayos de rajadura o clivaje para cada tora y esfuerzo radial y tangencial. Los cuales dan diferencias significativas. Podemos observar que el sentido del esfuerzo radial da valores superiores a los del sentido tangencial y se repite la tendencia a disminuir con la altura. Estos valores son menores que los obtenidos para 14 años (26)(7).

En el anexo III se presentan los valores de 16 años, en los cuales se puede observar la tendencia disminuir los valores desde la base a la cuarta tora, y se

mantiene la mayor fuerza en el sentido radial. Estos valores son un poco menores que los obtenidos para 14 años SUIREZS (7) y similares a los de GONZALEZ et al (26).

En la tabla 4.11 se presentan los valores medios para la rajadura o clivaje de las tres edades. En el análisis de variancia y de las medias dan diferencias significativas entre edades y esfuerzos (anexo IV). Se manifiesta un aumento del clivaje tangencial y radial de 47,8 % y 32,8 % respectivamente cuando comparamos de 6 y 16 años.

Tabla 4.11: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) del clivaje de las tres edades en kg/cm.

Edad	Esfuerzo	Media	Desvío	CV
6	tg	25,50 a	2,72	10,68
	rd	32,36 bc	3,12	9,64
9	tg	29,67 ab	3,25	10,95
	rd	33,80 c	4,34	12,85
16	tg	37,69 d	3,60	9,55
	rd	42,99 e	4,15	9,66
		35,54	6,38	17,95

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.15 podemos ver la comparación de medias de los valores de clivaje de las tres edades.

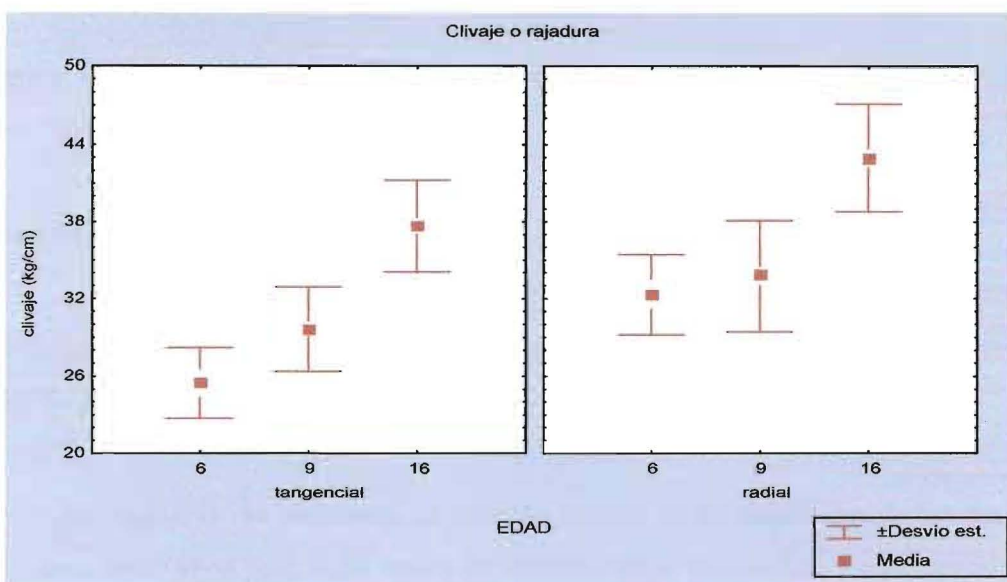


Figura 4.15: Comparación de medias de rajadura o clivaje de las tres edades.

Si se comparan las edades 9 y 16 años en altura, se obtienen los datos que se reflejan en la figura 4.16. Se realizaron los análisis de variancia, donde no se consideró la interacción por tora y sentido del esfuerzo, dando significativo para las dos edades y las toras, (anexo IV).

Se produjo un aumento de los valores de clivaje de una edad a la siguiente de cada tora de 25,43 % y 21,86 % para la 1ª tora, 25,44 % y 29,05 % para la 2ª, 26,90 % y 30,84 % para 3ª, 30,82 % y 27,78 % en la 4ª, en el sentido tangencial y radial respectivamente.

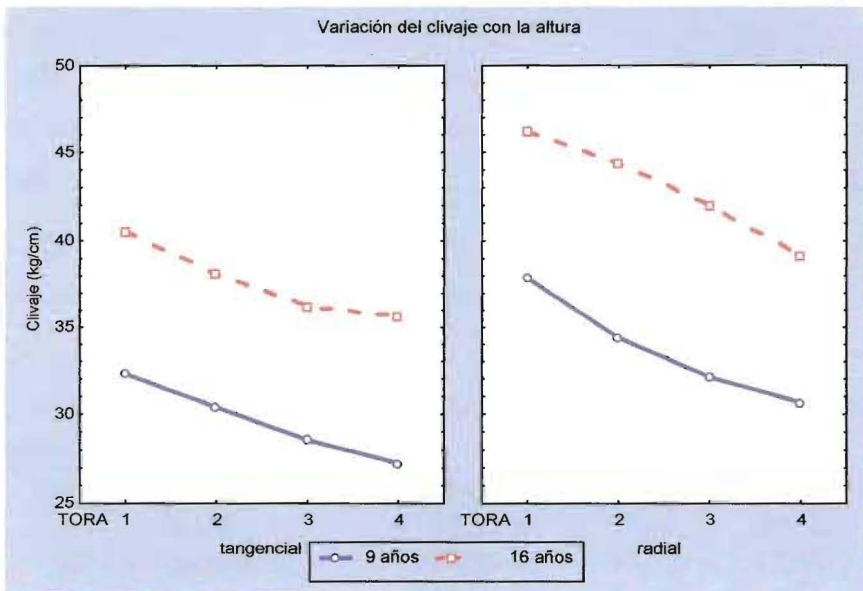


Figura 4.16: Variación de la rajadura o clivaje en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.

Dureza Janka

Los valores medios de 6 años de dureza Janka para cada tora en la superficie radial, tangencial y transversal, no dan diferencias significativas entre toras pero sí entre las distintas superficies o caras. Anexo I.

En Anexo II se presentan los valores medios de los resultados de los ensayos de dureza de 9 años para cada tora y superficie radial, tangencial y transversal. Los cuales dan diferencias significativas, entre toras y en sentidos de la superficie. Para esta propiedad la madera se comporta con una mayor dureza en la superficie

transversal, luego la tangencial y por último la radial. Estos valores son menores que los obtenidos para 14 años (26)(7).

Los valores para los 16 años dan superiores en la superficie transversal, luego tangencial y menor resistencia en la radial, lo cual se mantiene para las cuatro toras y también disminuyen con la altura. No se considera la interacción entre tora y sección para el análisis de varianza que se encuentra en el anexo III, los cuales dan diferencias significativas. Estos valores se presentan similares a los de GONZALEZ (27), SPARNOCHIA (28) y SUIREZS (7).

En la tabla 4.12 se presentan los valores medios para la dureza Janka de las tres edades. En el análisis de variancia y de las medias dan diferencias significativas entre edades y esfuerzos (anexo IV). Se manifiesta un aumento de la dureza Janka en las superficies radial, tangencial y transversal de 59,1 %, 38 % y 54,4 % respectivamente cuando se comparan las edades 6 y 16 años.

Tabla 4.12: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) de dureza Janka de las tres edades en kg/cm^2 .

Edad	Superficie	Media	Desvío	CV
6	radial	165,50 a	38,69	23,38
	tangencial	210,50 ab	37,52	17,83
	transversal	230,00 bc	50,72	22,05
9	radial	235,16 bc	47,30	20,11
	tangencial	251,77 bc	44,38	17,63
	transversal	289,74 a	58,72	20,27
16	radial	263,39 c	33,08	12,56
	tangencial	290,57 d	35,44	12,20
	transversal	355,05 e	47,45	13,36
		277,04	61,25	22,11

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.17 se observa la comparación de medias de los valores de dureza Janka de las tres edades.

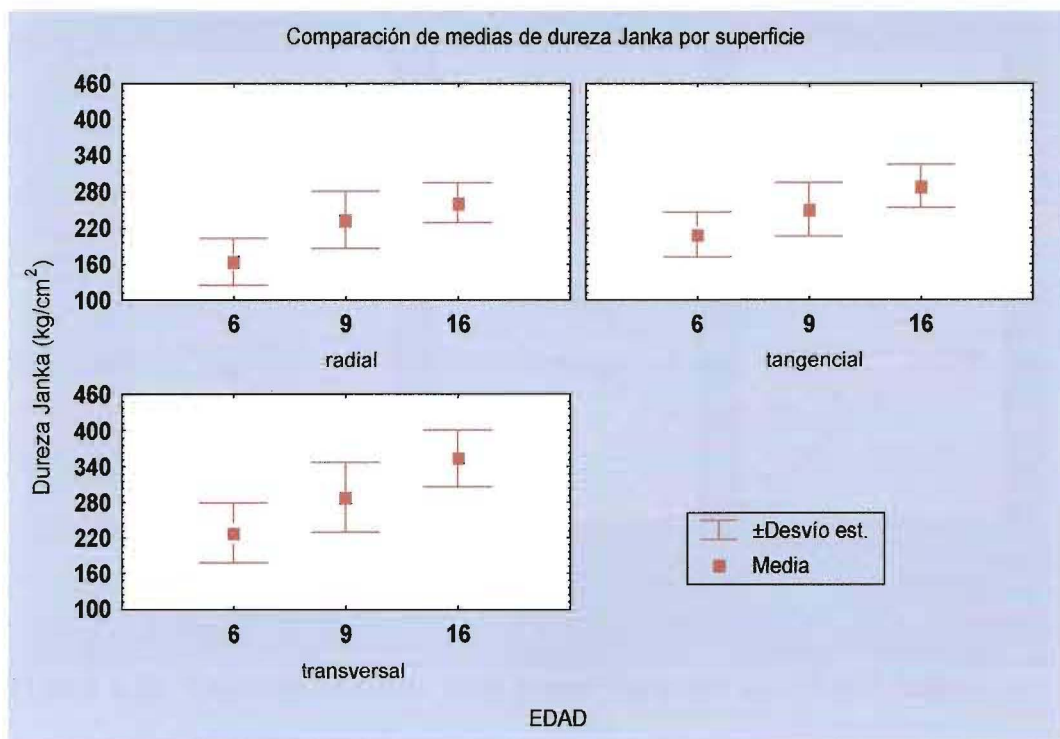


Figura 4.17: Comparación de medias de la dureza Janka por superficie y edad.

Si se comparan las edades 9 y 16 años en altura se obtienen los datos que se reflejan en la figura 4.18. Se realizaron los análisis de variancia, donde no se consideró la interacción por tora y sentido del esfuerzo, dando significativo para las dos edades y las toras, (anexo IV).

En la superficie transversal se produjo un aumento superior en todas las toras de los 16 años. Se resumen en la tabla 4.13 los porcentajes producidos.

Tabla 4.13: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 9 a 16 años de la dureza Janka.

Tora	Radial %	Tangencial %	Transversal %
1	8,8	12,11	19,41
2	11,8	18,45	24,47
3	14,99	14,28	21,96
4	13,31	17,31	24,96

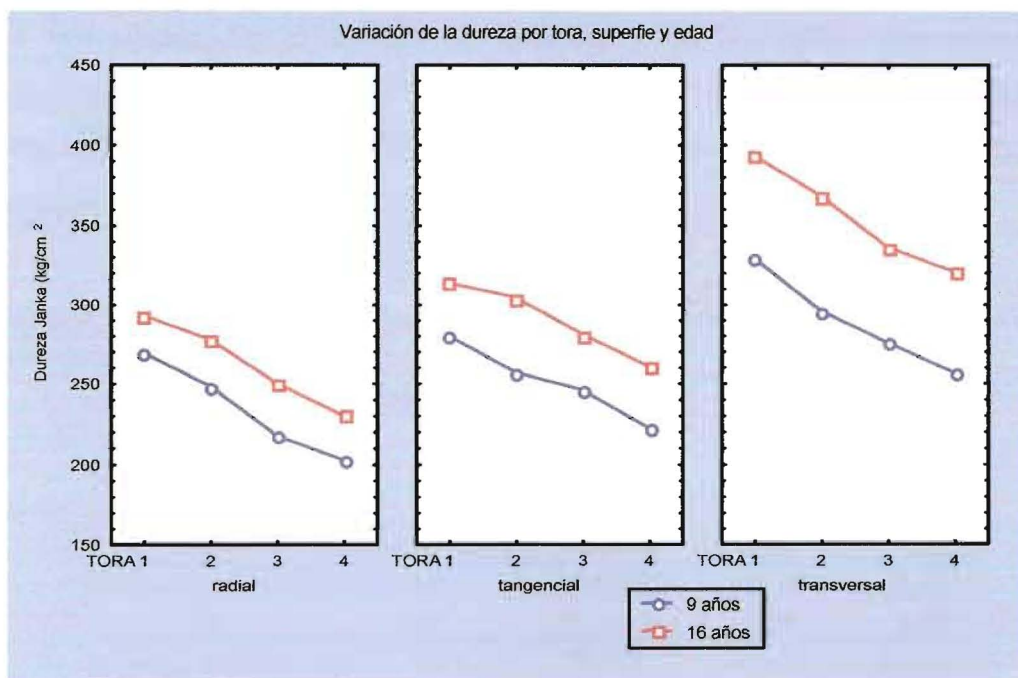


Figura 4.18: Variación en altura de la dureza Janka por superficie y edad.

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Los valores medios de los 6 años de los resultados de los ensayos de corte o cizallamiento para cada tora y esfuerzo radial y tangencial. Los cuales dan diferencias significativas se encuentran en el anexo I.

En Anexo II se presentan los valores medios de los resultados de los ensayos de corte o cizallamiento para cada tora y esfuerzo radial y tangencial de 9 años. Los cuales dan diferencias significativas. Estos valores son menores que los obtenidos para 14 años por GONZALEZ et al (26) y SUIREZS,T (7).

Los valores de 16 dan superiores en el esfuerzo tangencial y menor en la radial, lo cual se mantiene para las cuatro toras y también disminuyen con la altura. Los resultados para la plantación de 16 años según esfuerzos se presentan en el anexo III, dando diferencias significativas al 5 %. Estos valores son similares a los obtenidos para 14 años por GONZALEZ et al (26), SUIREZS (7) e inferiores a los obtenidos por SPARNOCHIA (28).

En la tabla 4.14 se presentan los valores medios para el corte o cizallamiento de las tres edades. En el análisis de variancia y de las medias dan diferencias significativas entre edades y esfuerzos (anexo IV). Se manifiesta un aumento del corte tangencial y radial de 17,85 % y 12,7 % respectivamente cuando se comparan las edades de 6 y 16 años.

Tabla 4.14: Valores medios, desvío, y coeficiente de variación (CV) del corte de las tres edades en kg/cm^2 .

Edad	Esfuerzo	Media	Desvío	CV
6	tg	89,95 ab	6,62	7,36
	rd	81,34 a	8,30	10,20
9	tg	94,42 b	9,17	9,71
	rd	86,37 a	8,11	9,39
16	tg	106,01 c	10,10	9,53
	rd	91,66 b	7,74	8,45
		94,02	11,40	12,12

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

En la figura 4.19 se observa la comparación de medias de la tensión de corte de las tres edades.

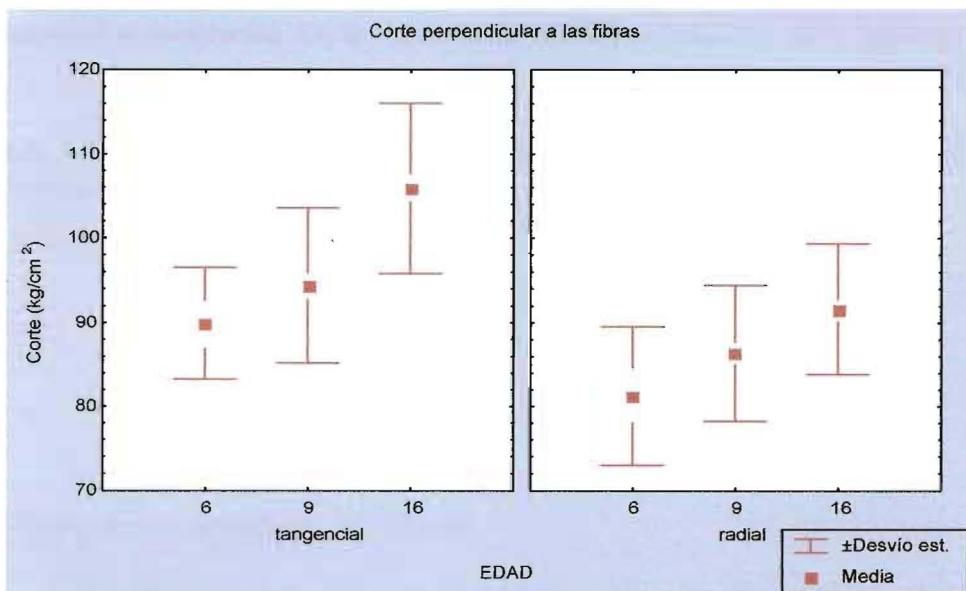


Figura 4.19: Comparación de corte o cizallamiento de las tres edades.

Si se comparan las edades 9 y 16 años en altura obtenemos los datos que se reflejan en la figura 4.20. Se realizaron los análisis de variancia, donde no se consideró la interacción por tora y sentido del esfuerzo, dando significativo para las dos edades y las toras, (anexo IV).

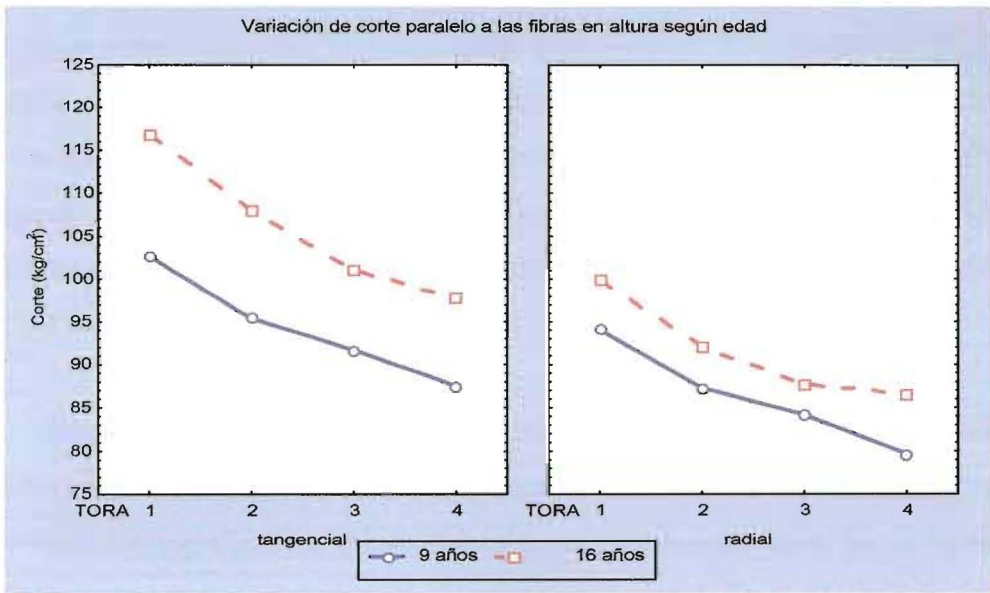


Figura 4.20: Variación del corte paralelo a las fibras en altura en el sentido radial y tangencial para los 9 y 16 años.

Se produjo un aumento de los valores de corte de una edad a la siguiente de cada tora sentido tangencial y radial, en el sentido radial hubo un aumento menor en proporción al tangencial. En la siguiente tabla 4.15 se resumen estos valores:

Tabla 4.15: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 16 y 9 años de la dureza Janka.

Tora	Tangencial %	Radial %
1	13,77	6,24
2	13,21	5,56
3	10,18	4,28
4	11,69	8,59

Compresión paralela a las fibras

De cada probeta se tomaron las cargas y deformaciones hasta la rotura y con cuyos valores se hicieron los gráficos de elasticidad, los valores promedios de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional a la compresión paralela de las fibras por tora. En el Anexo I se encuentran los resultados de 6 años del test de comparación de medias de Tukey, el cual dio significativo para el Módulo de elasticidad pero no así para el Módulo de rotura y la Tensión en el límite proporcional.

En Anexo II se pueden observar los valores promedio por tora de 9 años de los Módulos de elasticidad, rotura y límite proporcional de compresión. Se puede observar que los valores de Módulo de elasticidad son muy pequeños comparados con los datos de los autores citados en la revisión bibliográfica. Se manifiesta una diferencia significativa entre toras en el Módulo de elasticidad, no así en la Tensión en el límite proporcional. En el Módulo de rotura se observa una diferencia en cuanto a alguna de las toras.

En el anexo III, se puede observar, los valores de Módulo de elasticidad de 16 años, los cuales son muy pequeños comparados con los datos de los autores citados en la revisión bibliográfica. La diferencia es significativa entre toras en el Módulo de elasticidad, no así en la Tensión en el límite proporcional. En el Módulo de rotura se observa una diferencia en cuanto a alguna de las toras.

En la figura 4. 21 se muestra un ejemplo de curva de elasticidad de una probeta de 16 años.

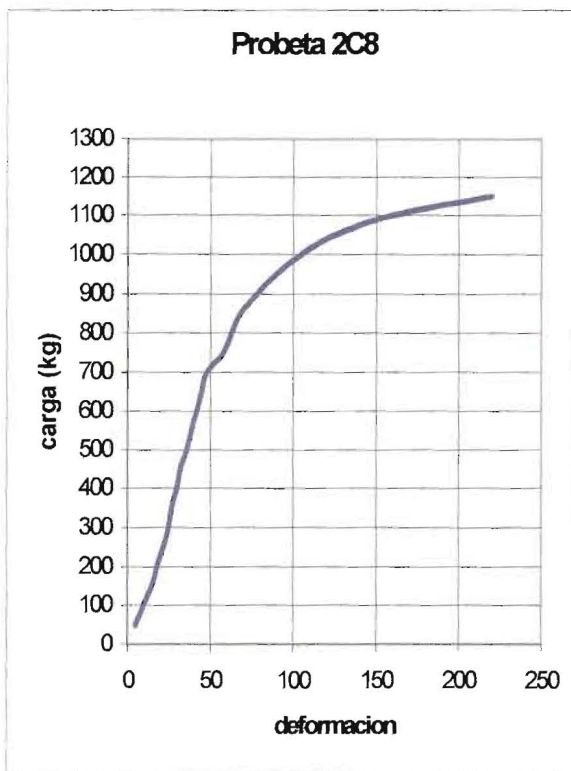


Figura 4.21: Curva de elasticidad a la compresión de una probeta de 16 años.

En la tabla 4.16 y figura 4.22 se presentan los valores medios de las tres edades de Módulo de elasticidad, de rotura y Tensión en el límite proporcional a la compresión paralela a las fibras. En los resultados del análisis de variancia como así también en el test de comparación de medias de Tukey (anexo IV) dan diferencias significativas entre edades, tanto en el Módulo de elasticidad, de rotura y Tensión en el límite proporcional. El Módulo de elasticidad a los 6 años es muy bajo, aumentando un 158 % a los 9 años de edad y un 12,22 % a los 16 años respecto de los 9 años. El Módulo de rotura (MR) y la Tensión en el límite proporcional (TLP) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre de 6 y 9 años, aumentando un 8 % para ambas. Han aumentado respecto de 9 y 16 años un 10% y 21 % en el MR y TLP respectivamente.

Tabla 4.16: Valores medios de Módulo de elasticidad, Módulo de rotura y Tensión en el límite proporcional para las tres edades de la compresión paralela.

	Edad	Módulo de elasticidad	Módulo de rotura	Tensión en el límite proporcional
Media (kg/cm ²)	6	11297,66 a	246,04 a	144,50 a
	9	29128,31 b	267,31 a	157,30 a
	16	32689,15 c	296,08 b	191,65 b
	Total	29058,63	278,33	171,65
Desvío (kg/cm ²)	6	2639,12	27,79	23,71
	9	6110,61	45,59	30,14
	16	8065,30	61,98	46,99
	Total	9082,89	54,91	42,31
CV %	6	23,36	11,30	16,41
	9	20,98	17,05	19,16
	16	24,67	20,93	24,52
	Total	31,26	19,73	24,65

Letras iguales indican que entre ellos no hubo diferencias para $\alpha=0,05$

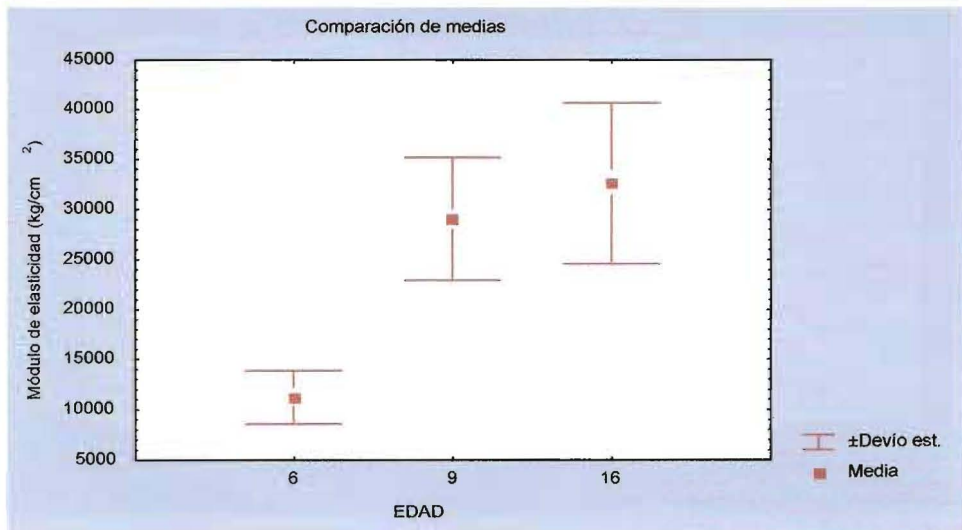


Figura 4.22: Comparación de medias del Módulo de elasticidad de las tres edades

Si se comparan las cuatro primeras toras de las edades 9 y 16 años se obtienen diferencias significativas entre tora y edad en el Módulo de elasticidad, siendo significativa la interacción entre las mismas.

El Módulo de rotura mostró diferencias significativas entre toras y edad pero no en la interacción.

La Tensión en el límite proporcional, se comportó de igual forma que el Módulo de rotura. (Anexo IV)

En la figura 4.23 se muestra la variación del Módulo de elasticidad por tora y edad. Esta variación manifiesta una disminución de la base a la cuarta tora de 40 % y 46 % en el Módulo de elasticidad a los 9 y 16 años, un de 16 % y 30% para la Tensión en el límite proporcional y en el Módulo de rotura un 13 % para 9 años y 25 % para 16 años.

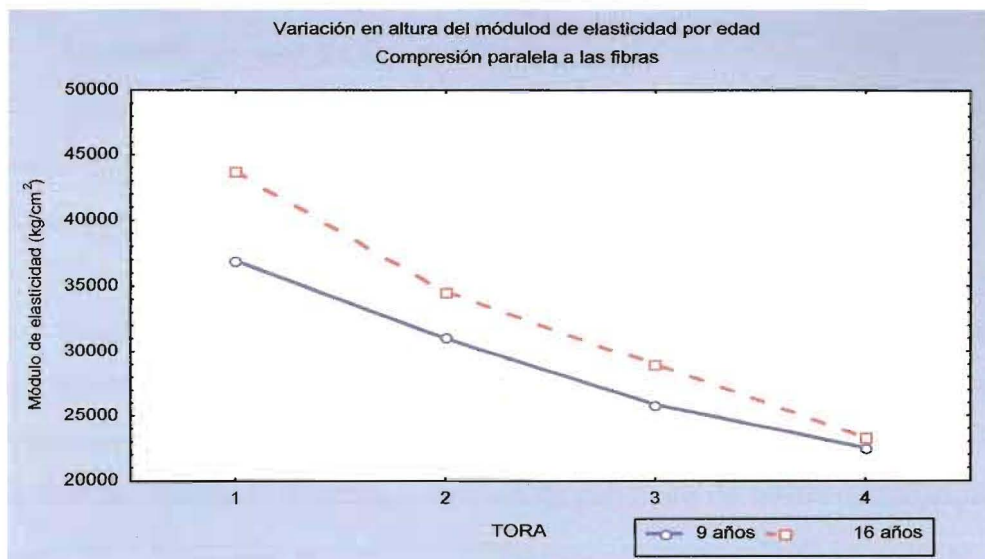


Figura 4.23: Variación del Módulo de elasticidad por tora y edad de la compresión paralela a las fibras.

En cuanto al aumento en porcentaje de cada tora en la variación de 9 años a 16 años se muestra en la tabla 4.17.

Tabla 4.17: Porcentaje de aumento para cada tora en la variación de 16 y 9 años de compresión paralela.

Tora	Módulo de elasticidad %	Módulo de rotura %	Tensión en el límite proporcional %
1	18,39	17,95	31,24
2	11,14	15,60	25,15
3	12,16	9,54	16,13
4	3,67	-1,91	13,11

4.3 *Aptitudes de uso de las maderas*

Determinar las aptitudes, es establecer o comprobar por los números, los posibles usos de la madera. Esto significa que los datos obtenidos en laboratorio indican estas posibilidades.

Diámetros pequeños como el de los 6 años, de los primeros raleos se destinan para elaborar pastas celulósicas, tableros de partículas y fibras. Utilizados para muebles que no deben soportar cargas elevadas. Actualmente esta edad se utiliza en las industrias locales de celulosa y tableros de partículas de media densidad. Por sus contracciones moderadas se comporta como medianamente estable en servicio.

De los valores obtenidos de plantaciones con 9 años se pueden sugerir los usos similares a los de 6 años, pero hay que notar que la resistencia aumenta por lo cual se pueden usar para muebles que soporten cargas. Los mayores diámetros, una vez aserrados, se emplean en carpintería de obra, revestimientos interiores, tarimas livianas, laminado, envases, cajonería, etc. de acuerdo a TUSET. (38).

Considerando los valores del Módulo de elasticidad de las dos primeras toras, de 9 años, se determina que pueden ser aplicado para usos estructurales como tirantes y vigas multilaminadas. Además de los otros usos citados para 6 años. Las siguientes toras, se puede utilizar en la fabricación de marcos para ventanas, puerta placa, machimbres, tableros de listones, con los cuales se elaboran mesas, sillas, placares. Alguno de estos productos se suelen usar enchapados o revestidos con láminas de madera o sintéticos, para una presentación decorativa; y encofrado en la construcción de viviendas. Estas maderas presentan contracciones moderadas y aptitud para recibir pinturas y barnices, fácilmente impregnable por lo que puede ser utilizada para revestimiento exterior, de acuerdo con NUTSCH. (39).

Las dos primeras toras de los ejemplares de 16 años pueden ser utilizados en estructura de techo, y las siguientes toras para los usos ya citados para 9 años y 6 años.

Si consideramos la clasificación SALLENAVE, (40) para cada edad obtenemos los siguientes valores:

	6	9	16
Dureza normal	188	243,465	276,98
Cota de dureza	427,27	542,24	599,52
Cota de flexión	5,94	9,30	13,28
Cota laminabilidad	0,658	0,707	0,873

En esta clasificación la dureza normal es el promedio de la dureza radial y tangencial en kg/cm^2 y la Cota de dureza es la relación entre la dureza normal y la densidad aparente. Para estos valores se clasifica como madera semi dura.

La Cota de flexión es la relación entre el Módulo de rotura y la densidad aparente, este índice está en el rango de las maderas con aptitud para carpintería.

La Cota de laminabilidad se refiere a la relación del clivaje promedio, radial y tangencial y la densidad aparente. Los valores para las tres edades están en el rango de muy laminables.

Según la clasificación de García citada por CORONEL (20) de la dureza Janka, se realiza el promedio de las caras radial, tangencial y transversal, obteniéndose los siguientes valores: 202, 259 y 303 kg/cm^2 para 6, 9 y 16 años respectivamente. Las dos primeras edades se encuentran en el valor de esta clasificación de maderas muy blandas y para los 16 años se encuentra en las maderas blandas.

4.4 Actualidad

Algunas industrias de la zona están elaborando productos de pino, con mayor valor agregado que conduce a un incremento en la mano de obra llevando un mejor nivel socio económico, a través de inversiones en nuevas tecnologías para la obtención de productos manufacturados. Como tableros de listones para muebles, utilizando madera clasificadas por densidad, madera clear e inclusive por tipo de corte con el fin de lograr mayor estabilidad dimensional.

Colaboran con subsidios el Estado e instituciones extranjeras para el logro de mejoras en la tecnología de las PyMEs, determinando una buena calidad del producto y su inserción en el mercado de la exportación. Si bien incipiente, se prevé como un potencial futuro ya que existen instituciones que se dedican a capacitar a los operarios e industriales madereros con el fin de mejorar la calidad de vida, seguridad en el trabajo, y lograr un mayor aprovechamiento forestal.

4.5 Resumen de las propiedades físicas y mecánicas

PROPIEDADES MECÁNICAS		6 años	9 años	16 años
DUREZA	Radial	165,5	235,16	263,39
JANKA (kg/cm ²)	Tangencial	210,5	251,77	290,57
	Transversal	230	289,74	355,05
FLEXIÓN ESTÁTICA (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad	12560,70	46070,3	89907,82
	Módulo de rotura	261,45	417,74	613,6
	Tensión en el limite proporcional	178,37	241,6	367,8
CORTE PARALELO (kg/cm ²)	Tangencial	89,95	94,42	106,01
CLIVAJE (kg/cm)	Radial	81,34	86,37	91,66
	Tangencial	25,5	29,67	37,69
TRACCIÓN (kg/cm ²)	Radial	32,36	33,8	42,99
	Tangencial	25,38	27,6	36,86
COMPRESION (kg/cm ²)	Radial	29,8	33,8	41,88
	Módulo de elasticidad	11297,66	29128,31	32689,15
	Módulo de rotura	246,04	267,31	296,08
	Tensión en el limite proporcional	144,5	157,3	191,65

PROPIEDADES FÍSICAS		6 años	9 años	16 años
DENSIDAD (gr/cm³)	Anhidra	0,41	0,418	0,43
	Aparente	0,44	0,449	0,462
	Básica	0,349	0,356	0,428
HUMEDAD %		13,21	13,59	13,69
PUNTO DE SATURACION DE FIBRAS		25,15	26,36	26,79
CONTRACCIONES TOTALES (%)	Tangencial	5,52	5,49	6,09
	Radial	3,31	3,3	3,52
	Axial	0,31	0,29	0,27
	Volumétrica	9,14	9,08	9,88
COEFICIENTE DE RECTRACTIBILIDAD	Tangencial	0,209	0,204	0,221
	Radial	0,132	0,129	0,144
ANISOTROPIA		1,66	1,66	1,73

5 CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados del presente trabajo en el cual se estudia las variaciones en las propiedades físicas y mecánicas de la madera con respecto a la edad 6, 9 y 16 años y la altura del árbol de *Pinus taeda* origen Marion del norte de la provincia de Misiones se concluye:

- La comparación de los valores medios para todas las edades y propiedades dieron resultados estadísticamente significativos, con lo cual se establece que con el aumento de la edad aumenta la resistencia de la madera.
- Se determinó que las propiedades físicas y mecánicas manifiestan una variación en altura, disminuyendo de la base hacia el ápice.
- Para cada propiedad tiene influencia estadísticamente significativa el sentido del esfuerzo sobre la resistencia.
- Las aptitudes de usos de estas maderas son de una amplia gama en la industria maderera.

RECOMENDACIONES

Ante la gran variabilidad que se manifiesta en la madera, como de clasificaciones para una o más variables, se deberían establecer normas y aplicar las existentes, en función de las características, especificaciones y tolerancias, ligadas a la estandarización, dando lugar a fenómenos productivos uniformes y generalizables. Reduciendo la variación y asegurando la garantía de calidad del producto, y otros criterios de observancia generalizada, en reglas de juego conocidas por todos para desenvolverse mejor en cada medio (local, nacional e internacional) en las que le toque actuar. Lo que permitirá además asegurar la calidad con relación a la garantía que el productor brinda al cliente vinculada al desempeño y confiabilidad de los productos que le provee.

Estas características estudiadas van a servir para las exportaciones de madera de pino que actualmente empiezan a aumentar, porque si bien el *Pinus taeda* ha sido estudiado en los países importadores se está observando que sus propiedades no son iguales, por lo que es muy importante para ellos contar con dicha información.

En virtud de los resultados obtenidos se puede sugerir o plantear que en las industrias madereras orienten su producción a elaborar y clasificar de las piezas de madera por su tipo de corte (radial o tangencial) y su ubicación en el árbol, de acuerdo al uso final.

Para enriquecer este trabajo se podrían realizar estudios que abarque un mayor número de toras, como así también la diferenciación de su ubicación dentro del leño.

6 BIBLIOGRAFIA

1. Secretaria de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación. Bs.As. Diciembre 2001.
2. Estudio de tendencias y perspectivas del Sector Forestal en América Latina Documento de trabajo. Informe Nacional Argentina. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable. Secretaria de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO .Italia. 2004
3. Ministerio Ecología Misiones <http://www.ecologia.misiones.gov.ar>
4. Argentina Inventario Nacional de Plantaciones Forestales. Secretaria de Agricultura, Ganadería Pesca y Alimentación. Bs.As. Diciembre 2001
5. Sparnochia, Lucia; Gleid de Ruibal, Mónica. Características Morfológicas y físicas de la madera de *Pinus taeda* Marion. Jornadas sobre Pinos Subtropicales. Actas. Tomo II. CIEF. Eldorado, Misiones. Argentina. 1992
6. Subsecretaría de Bosques y Forestación. Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo. Gobierno de la Pcia de Misiones. Actitud Forestal. Folleto. 2003
7. Suirezs, Teresa. Efecto de la impregnación con CCA (cromo-cobre-arsénico) sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. Eldorado.Misiones.Tesis. UNaM. 2000.
8. Zaderenko, Constantino. Determinación de tiempos de sacado por difusión en cámaras convencionales para *Pinus taeda* implantado de Misiones. Eldorado. Misiones. Tesis. UNaM. 2000.
9. SAGPyA. Plan estratégico para el desarrollo de las pequeñas y medianas industrias madereras de la provincia de Misiones y noreste de Corrientes. Informe STCP Engenharia de Projetos Ltda. 2002
10. IRAM N° 9502. Norma técnica .Definición de la Madera. 1963.
11. Galante, J. Tecnología de las maderas. Bs.As. pp1. 1981
12. Bohren, Alicia; Grance, Luis. Curso de anatomía de la madera de coníferas. Facultad de Ciencias Forestales. Marzo 2003. p. 14-15; 68-69.

13. Tortorelli, L. Maderas y bosques argentinos. Editorial ACME S.A.C.I. Bs.As. 1956. p114
14. Investigación Forestal al Servicio de la Producción Resultados y avances para la Región Noroeste Argentino pias8595. SAGPyA. p 92
15. Muñiz, Graciela. Caracterización e desenvolvimiento de modelos para estimar as propiedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliotti* Engelm. e *Pinus taeda* L. Curitiba. Brasil. Tesis. 1993
16. Gleid de Ruibal, Mónica; Kolln, Rubén. Estudio de la densidad básica según diferentes espaciamientos en *Pinus taeda* L. Jornadas sobre Pinos Subtropicales. Actas. Tomo II. CIEF. Eldorado, Misiones . Argentina. 1992. p 85-88.
17. Bunse, Guillermo, Gleid de Ruibal, M.; Morales, Alberto. Crecimiento al 5º año de pinos en la provincia de Misiones. Jornadas sobre Pinos Subtropicales. Actas. Tomo II. CIEF. Eldorado, Misiones . Argentina. 1992. p 41-45.
18. Fassola, P.; Del Valle, H.;Reboratti, H. Comportamiento a los seis años de orígenes de *Pinus taeda* L. en San Antonio Misiones. VI Jornadas Técnicas. Inventario – Modelos de producción y Crecimiento Forestales. Eldorado Misiones. ISIF. FCF. 1991.p134
19. Coronel, Eduardo. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Segunda parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de la madera. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero. Argentina.1995
20. Kollmann, Franz. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo primero. Instituto forestal de investigaciones y experiencias y servicio de la madera. Madrid 1959.
21. Coronel, Eduardo. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1994
22. Higa, A.R.; Kageyama, P.Y.;Ferrerira, M. Variación de la densidad básica de madera de *pinus elliotti* var *elliotti* y *pinus taeda*. IPF,Piracicaba(7):79-90.1973.

23. Megraw, R.A. Wood quality factors in Loblolly pine. Atlanta, TAPPI PRESS.1985 p88
24. IRAM Norma técnica N° 9532: Maderas. Método para la determinación de la humedad. Buenos Aires, 1963.
25. IRAM - Norma técnica N° 9543: Método de determinación de las contracciones totales, axial, radial y tangencial. Buenos Aires, 1966.
26. González Raúl A., O. Pereyra, T. Suirezs. Propiedades Físicas y Mecánicas del Pino taeda reforestado en la provincia de Mnes. Yvyraretá N° 4, 1.993.
27. Sparnochia, Lucia . Estudio de las propiedades fisico mecánicas de *Pinus elliotti*, *Pinus taeda* y *Pinus pátula*. Jornadas sobre Pinos Subtropicales. Actas. Tomo II. CIEF. Eldorado, Misiones . Argentina. 1992
28. Tomaselli, I. Comparação de qualidade da madeira de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* sp. Producida em reflorestamentos. Curitiba:FUPEF, 1980.
29. Pereyra, Obdulio; Gleid, Mónica. Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y norte de Corrientes. Proyecto forestal de desarrollo SAGPyA- BIRF. Informe final. 2000.
30. DIN- Deutsch Industrie Norm N° 52186.
31. IRAM 9542 Método de determinación de la flexión estática. 1973.
32. ASTM- Standard D 143-52. Standard method of testing small clear specimen of timber. Reapproved 1972. USA.
33. Influencia da idade sobre a resistencia mecanica da madeira de pinus taeda. VIII encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira Uberlandia . Brasil. Julho de 2002
34. Silva, Fidelina. Datos climáticos de Iguazú, período 1941 – 1990. Informe asesoría. Cátedra agrometeorología. Facultad de Ciencias Forestales. Septiembre 1998.
35. IRAM. Norma técnica N° 9544: Método de determinación de la densidad aparente. Buenos Aires, 1973.
36. Tinto, José. Aporte del sector forestal a la construcción de viviendas.Folleto técnico 44.Instituto Forestal Nacional. Bs.As.1978. p79,132.

37. Leonardis Julio. Libro del Arbol, Esencias forestales no autóctonas cultivadas en la Argentina de aplicación ornamental y/o industrial.Tomo III. Celulosa Argentina.S.S. Bs.As. 1997.
38. Tuset, R.; Duran, F. Manual de madera comerciales, equipos y procesos de utilización. Uruguay. Ed.Hemisferio Sur. p 94. 1979
39. Nutsch, W. Tecnología de la madera y el mueble. Barcelona. Ed.Reverté. 1996. p58
40. Sallenave, P. Propietes physiques et mecaniques des bois tropicaux. Nogentsur-Marne, Centre Technique Forestier Tropical. 1991.

ANEXO I

**TABLAS DE ANÁLISIS DE
VARIANCIA**

Y TEST DE TUKEY

PARA 6 AÑOS

Tabla de análisis de variancia de la densidad básica

Summary of all Effects; design: (dens6.sta)

1-DISCO, 2-SECCION

	df	MS Effect	df	MS	F	p-level
	Effect		Error	Error		
1	3	0,041481	132	0,000750	55,30056	3,230E-23
2	2	0,050403	132	0,000750	67,19582	7,473E-21
12	6	0,000528	132	0,000750	0,703361	6,474E-01

Tabla test de medias de tukey

Tukey HSD test; variable **DENSIDAD** (dens6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,01

INTERACTION: 2 x 3

Disco	Sección	Media	
4	I	0,297148257	a
3	I	0,303143799	a
4	M	0,306232244	a
3	M	0,320265949	ab
2	I	0,326040059	a b
4	E	0,341177613	bc
2	M	0,347957104	bc
1	I	0,360865414	cd
3	E	0,371554822	cde
1	M	0,386950791	de
2	E	0,395595759	e
1	E	0,431084961	f

Tukey HSD test; variable **DENSIDAD** (dens6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **DISCO**

Disco	Media	
4	0,31485268	a
3	0,33165485	a
2	0,35653099	b
1	0,39296708	c

Tukey HSD test; variable **DENSIDAD** (dens6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **SECCION**

Sección	Media	
I	0,3217994	a
M	0,3403515	a
E	0,3848533	b

Flexión

Módulo de elasticidad

Tabla de análisis de variancia

Summary of all Effects; design: (flexion6.sta)

1-TORA

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	205479,734	23	10004550	0,02053863	0,88729113

Tukey HSD test; variable **ME** (flexion6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
2	12473,5938	a
1	12655,0586	a

Módulo de rotura

Summary of all Effects; design: (flexion6.sta)

1-TORA

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	0,17537092	23	2845,92773	6,1622E-05	0,9938044

Tukey HSD test; variable **MR** (flexion6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
1	261,359131	a
2	261,526794	a

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (flexion6.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	8831,64844	23	3789,07861	2,33081675	0,14047101

Tukey HSD test; variable **TPL** (flexion6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
1	158,809158	a
2	196,430008	a

Tracción

Summary of all Effects; design: (trccion6.sta)

1-TORA, 2-ESFUE

	df	MS Effect	df	MS Error	F	p-level
Effect			Error			
1	1	7,71345615	10	6,24217224	1,23570061	0,292312
2	1	63,885273	10	6,24217224	10,2344618	0,00950564
12	1	1,87604666	10	6,24217224	0,30054387	0,59556705

Tukey HSD test; variable **TRACCION** (trccion6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **ESFUE**

Esfuerzo Media	
tg	25,3279419 a
rd	29,6445618 b

Rajadura o clavaje

Summary of all Effects; design: (cliva6.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

	df	MS Effect	df	MS Error	F	p-level
Effect			Erro			
			r			
1	1	39,8041039	11	6,6010603	6,0299558	0,03192722
2	1	160,43103	11	6,6010603	24,303825	0,00044974
12	1	0,95410258	11	6,6010603	0,1445377	0,71104944

Tukey HSD test; variable **TENSION** (cliva6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

Tora	Esfuerzo	Media
2	tg	23,88 a
1	tg	27,67 ab
2	rd	30,98 bc
1	rd	33,75 c

Dureza Janka

Summary of all Effects; design: (dureza6.sta)

1-TORA, 2-SUPERFICIE

	df	MS Effect	df	MS Error	F	p-level
Effect			Error			
1	1	3293,88892	24	1913,19446	1,72166967	0,2018902
2	2	10708,8887	24	1913,19446	5,59738636	0,01011107
12	2	42,2222214	24	1913,19446	0,02206897	0,97819263

Tukey HSD test; variable **TENSION** (dureza6.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **SUPERFICIE**

Superficie	Media
rd	162,9 a
tg	208,8 ab
tr	227,9 a

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Summary of all Effects; design: (corte6.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	422,108887	9	21,7478714	19,4092064	0,00170648
2	189,265244	9	21,7478714	8,70270252	0,01622003
12	5,73681116	9	21,7478714	0,26378727	0,61990052

Tukey HSD test; variable **TENSION** (corte6.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 INTERACTION: 1 x 2

Tora	Esfuerzo	Media
2	rd	75,84 a
2	tg	84,87 ab
1	rd	88,67 b
1	tg	95,02 b

Compresión paralela a las fibras

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (comp6.sta)

1-TORA

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	39050188	8	2954316,75	13,2180099	0,006630494

Tukey HSD test; variable **ME** (comp6.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media
2	9321,54 a
1	13273,77 b

Modulo de rotura

Summary of all Effects; design: (comp6.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	146,879761	8	850,7	0,173	0,68868047

Tukey HSD test; variable **MOR** (comp6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media
	2	242,21 a
	1	249,87 a

Tension en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (comp6.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	1	0,33491355	8	632,4	5E-04	0,98220301

Tukey HSD test; variable **TENPL** (comp6.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media
	2	144,31 a
	1	144,68 a

ANEXO II

**TABLAS DE ANÁLISIS DE
VARIANCIAS**

Y TEST DE TUKEY

PARA 9 AÑOS

Tabla de análisis de variancia de la densidad básica

Summary of all Effects; design: (densarbx.sta)

1-DISCO, 2-SECCION

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	7	0,02123641	264	0,00048272	43,9932594	0
2	2	0,05601693	264	0,00048272	116,044464	0
12	14	0,00013198	264	0,00048272	0,27341554	0,9961128

Tabla test de medias de tukey

Tukey HSD test; variable DENBAS (densarbx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

Disco	Sección	Media	
8	I	0,297	a
7	I	0,310	ab
6	I	0,316	abc
8	M	0,322	abcd
7	M	0,326	abcde
5	I	0,327	abcde
4	I	0,333	abcdef
8	E	0,338	abcdefg
6	M	0,346	cdefgh
3	I	0,348	cdefgh
5	M	0,352	defgh
7	E	0,354	defgh
2	I	0,357	efghi
4	M	0,362	fghi
1	I	0,364	fghij
6	E	0,370	ghijk
3	M	0,374	hijk
2	M	0,375	hijk
5	E	0,378	hijk
4	E	0,387	ijkl
1	M	0,390	ijkl
3	E	0,395	jkl
2	E	0,400	kl
1	E	0,417	l

Tukey HSD test; variable DENBAS (densarbx.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **DISCO**

Disco	Media
8	0,3189 a
7	0,3299 ab
6	0,3440 bc
5	0,3524 cd
4	0,3607 cde
3	0,3724 def
2	0,3774 ef
1	0,3902 f

Tukey HSD test; variable DENBAS (densarbx.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **SECCION**

Sección	Media
I	0,3315 a
M	0,3559 b
E	0,3798 c

Contracción total %

Tangencial

Tukey HSD test; variable RT (contangx2.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	4,79	a
3	5,12	a
2	5,72	b
1	6,35	c

Tukey HSD test; variable CR (contangx2.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	0,173	a
3	0,182	ab
2	0,215	bc
1	0,246	d

Radial

Tukey HSD test; variable **RT** (conradx.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	2,81	a
3	3,07	ab
2	3,39	bc
1	3,94	c

Tukey HSD test; variable **CR** (conradx.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	0,120	a
3	0,121	a
2	0,130	ab
1	0,144	b

Flexión**Módulo de elasticidad**

Summary of all Effects; design: (flexionx.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	592453696	44	438442208	1,35127	0,27011

Tukey HSD test; variable **ME** (flexionx.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	38921,68	a
3	42606,82	a
2	47587,80	a
1	55164,92	a

Módulo de rotura

Summary of all Effects; design: (flexionx.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	17086,9297	44	10996,821	1,55381	0,21407

Tukey HSD test; variable **MOR** (flexionx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
	4	381,99	a
	3	399,59	a
	2	420,06	a
	1	469,30	a

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (flexionx.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	7382,5903	44	4175,60742	1,76803	0,16718

Tukey HSD test; variable **TLP** (flexionx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
	4	219,81	a
	3	228,67	a
	2	241,65	a
	1	276,29	a

Tracción perpendicular a las fibras

Summary of all Effects; design: (traccx.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	401,769531	91	11,010	36,4883	1,41606E-15
2	1	923,676086	91	11,010	83,8874	1,46787E-14

Tukey HSD test; variable TENTRAC (traccx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
	4	26,83	a
	3	28,26	a
	2	31,66	b
	1	36,03	c

Tukey HSD test; variable TENTRAC (traccx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

	Esfuerzo	Media	
	tg	27,59	a
	rd	33,79	b

Rajadura o clavaje

Summary of all Effects; design: (clivajex.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	170,981	91	9,60869	17,7944	3,58E-09
2	1	409,612	91	9,60869	42,6293	3,69E-09

Tukey HSD test; variable TENCLIVA (clivajex.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
	4	29,01	a
	3	30,35	ab
	2	32,44	b
	1	35,13	c

Tukey HSD test; variable TENCLIVA (clivajex.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

	Esfuerzo	Media	
	tg	29,67	a
	rd	33,80	b

Dureza Janka

Summary of all Effects; design: (durezax.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	56976,16	282	1972,91	28,88	2,59E-16
2	2	75152,17	282	1972,91	38,09	2,27E-15

Tukey HSD test; variable TENSION (durezax.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	227,78	a
3	246,88	a
2	267,57	b
1	293,33	c

Tukey HSD test; variable TENSION (durezax.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

Tora	Media	
rd	235,16	a
tg	251,77	b
tr	289,74	c

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Summary of all Effects; design: (cortex.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

	df	MS	df Error	MS Error	F	p-level
	Effect	Effect				
1	3	936,00	91	46,54	20,11	4,37691E-10
2	1	1556,18	91	46,54	33,44	1,02484E-07

Tukey HSD test; variable CORTE (cortex.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	83,68	a
3	88,00	ab
2	91,43	b
1	98,46	c

Tukey HSD test; variable CORTE (cortex.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

Esfuerzo	Media	
rd	86,37	a
tg	94,42	b

Compresión paralela a las fibras

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (comp.x.sta)
1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	4,77E+08	44	7329723	65,1435089	3,1841E-16

Tukey HSD test; variable **ME** (comp.x.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	22547,78	a
3	25903,71	b
2	31064,49	c
1	36997,29	d

Modulo de rotura

Summary of all Effects; design: (comp.x.sta)
1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	4749,796	44	1896,05261	2,5050	0,071408

Tukey HSD test; variable **MOR** (comp.x.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	243,58	a
3	263,629	ab
2	270,191	ab
1	291,856	c

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (compx.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	1520,11	44	866,508118	1,7542	0,16985932

Tukey HSD test; variable **TLP** (compx.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media
4	144,977 a
3	150,532 a
1	166,788 a
2	166,909 a

ANEXO III

TABLAS DE ANÁLISIS DE
VARIANCIA

Y TEST DE TUKEY

PARA 16 AÑOS

Tabla de análisis de variancia de la densidad básica

Summary of all Effects; design: (densbasz.sta)

1-DISCO, 2-SECCION

	df					
	Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	7	0,0086332	264	0,00029629	29,1380577	1,2203E-29
2	2	0,07820022	264	0,00029629	263,934814	0
12	14	0,0001254	264	0,00029629	0,42323101	0,96669292

Tabla test de medias de tukey

Tukey HSD test; variable DENSBAS (densbasz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

	Disco	Sección	Mean	
8	I		0,3831	a
7	I		0,3873	ab
6	I		0,3890	ab
5	I		0,3946	abc
4	I		0,3998	abcd
3	I		0,4037	abcd
8	M		0,4112	bcde
7	M		0,4118	bcde
2	I		0,4128	bcdef
6	M		0,4167	cdefg
1	I		0,4203	defgh
5	M		0,4219	defgh
4	M		0,4297	efghi
8	E		0,4347	efghi
7	E		0,4383	fghi
3	M		0,4403	ghi
6	E		0,4423	hij
2	M		0,4425	hij
4	E		0,4519	ijk
5	E		0,4525	ijk
1	M		0,4527	ijk
3	E		0,4673	jkl
2	E		0,4744	kl
1	E		0,4856	l

Tukey HSD test; variable DENSBAS (densbasz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: SECCION

Sección	Media	
I	0,3988	a
M	0,4284	b
E	0,4559	c

Tukey HSD test; variable DENSBAS (densbasz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **DISCO**

	Disco	Media	
8	0,40970	a	
7	0,41246	ab	
6	0,41601	abc	
5	0,42298	bc	
4	0,42711	cd	
3	0,43710	de	
2	0,44323	ef	
1	0,45287	f	

Contracción total %

Tangencial

Tukey HSD test; variable RT (contagz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
4	5,214	a	
3	5,911	b	
2	6,424	bc	
1	6,811	c	

Tukey HSD test; variable CR (contagz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
4	0,192	a	
3	0,208	ab	
2	0,229	bc	
1	0,255	c	

Radial

Tukey HSD test; variable RT (conradz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
4	2,88	a	
3	3,27	ab	
2	3,67	b	
1	4,26	c	

Tukey HSD test; variable **CR** (conradz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	0,125	a
3	0,132	ab
2	0,145	b
1	0,173	c

FLEXION

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (flexionz.sta)

1-TORA

	df	MS Effect	df	MS Error	F	p-level
	Effect		Error			
1	3	2820831232	44	617353536	4,5692	0,00716675

Tukey HSD test; variable **ME** (flexionz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	72067,95	a
3	82272,03	ab
2	101207,44	b
1	104083,85	b

Módulo de rotura

Summary of all Effects; design: (flexionz.sta)

1-TORA

	df	MS Effect	df	MS Error	F	p-level
	Effect		Error			
1	3	13664,075	44	10622,70	1,286308	0,29090253

Tukey HSD test; variable **MOR** (flexionz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	566,54	a
2	618,28	a
3	622,93	a
1	646,66	a

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (flexionz.sta)

1-TORA

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	15523,28	44	6669,08936	2,3276	0,08759

Tukey HSD test; variable **TLP** (flexionz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **TORA**

	Tora	Media	
	4	325,12	a
	3	356,75	a
	2	378,93	a
	1	410,39	a

Tracción perpendicular a las fibras

Tukey HSD test; variable TENTRAC (traccz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

	Esfuerzo	Media	
	tg	36,86	a
	rd	41,88	b

Rajadura o clivaje

Summary of all Effects; design: (clivajej.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	148,457367	91	9,97553921	14,8821402	5,81747E-08
2	1	577,207886	91	9,97553921	57,8623238	2,47761E-11

Tukey HSD test; variable TENCLIVA (clivajej.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **ESFUERZO**

	Esfuerzo	Media	
	tg	38,08	a
	rd	42,99	b

Dureza Janka

Summary of all Effects; design: (durezaz.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	3	56591,9844	282	948,287292	59,678100	6,667E-30
2	2	212792,016	282	948,287292	224,39614	0

Tukey HSD test; variable TENSION (durezaz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: ESFUERZO

Esfuerzo Media		
rd	263,39	a
tg	290,57	b
tr	355,05	c

Tukey HSD test; variable TENSION (durezaz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: TORA

Tora	Media	
4	271,04	a
3	289,72	b
2	317,36	c
1	333,89	d

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Summary of all Effects; design: (cortez.sta)

1-TORA, 2-ESFUERZO

Customized Error Term

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	3	1259,48669	91	42,13632	29,890754	1,53244E-13
2	1	4938,34912	91	42,13632	117,19932	4,87554E-18

Tukey HSD test; variable CORTE (cortez.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: TORA

Tora	Mean	
4	92,22	a
3	94,47	a
2	100,16	b
1	108,47	b

Tukey HSD test; variable CORTE (cortez.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: ESFUERZO

Esfuerzo	Media	
rd	91,66	a
tg	106,00	b

Compresión paralela a las fibras

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (compz.sta)

1-TORA

	df	MS Effect	df	MS Erro	F	p-level
	Effect		Error			
1	3	9,1E+08	44	8E+06	118,96	3,95E-21

Tukey HSD test; variable **ME** (compz.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **TORA**

Tora	Media	
4	23375,65	a
3	29054,62	b
2	34524,44	c
1	43801,87	d

Modulo de rotura

Summary of all Effects; design: (compz.sta)

1-TORA

	df	MS Effect	df	MS Erro	F	p-level
	Effect		Error			
1	3	23616,7	44	2493,2	9,4725	6,04E-05

Tukey HSD test; variable MOR (compz.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: TORA

Tora	Media	
4	238,92	a
3	288,79	ab
2	312,35	bc
1	344,24	c

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (compz.sta)

1-TORA

	df	MS	df	MS	F	p-level
	Effect	Effect	Error	Error		
1	3	8352,4	44	1789,1	4,6686	0,006444

Tukey HSD test; variable TLP (compz.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: TORA

Tora	Media	
4	163,98	a
3	174,82	ab
2	208,88	ab
1	218,89	c

ANEXO IV

**TABLAS DE ANÁLISIS DE
VARIANCI**

Y TEST DE TUKEY

PARA LA COMAPARACION

ENTRE LAS EDADES

Tabla de análisis de variancia de la densidad básica

MAIN EFFECT: **EDAD** (denstl.sta)

1-DISCO, 2-SECCION, 3-EDAD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p-level
Effect	0,95546657	2	0,47773328	1034,9043	0
Error	0,30466968	660	0,00046162		

Tabla test de medias de tukey

Tukey HSD test; variable DENSBAS (denstl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 2 x 3

Sección	Edad	Media	
I	6	0,3218	a
I	9	0,3315	ab
M	6	0,3404	b
M	9	0,3559	c
E	9	0,3798	d
E	6	0,3849	d
I	16	0,3988	e
M	16	0,4284	f
E	16	0,4559	g

Tukey HSD test; variable DENSBAS (denstl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media	1
6	0,3490	a
9	0,3557	b
16	0,4277	c

Resumen estadístico

	Edad		
	6	9	16
Media	0,3490	0,3557	0,4277
.Desvío. Estándar	0,0479	0,0369	0,0322
Coefficiente de variación	13,71	10,36	7,52
Confid.-95,000%	0,3411	0,3515	0,4240
Confid.95,000	0,3569	0,3600	0,4314
Suma	50,2562	102,4532	123,1729
Mínimo	0,2704	0,2722	0,3448
Máximo	0,4755	0,4565	0,5315
Rango	0,2051	0,1843	0,1867
Variancia	0,0023	0,0014	0,0010
Error Standard	0,0040	0,0022	0,0019
N	144	288	288

Tukey HSD test; variable DENSBAS (denstl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 3

	Disco	Edad	Media	
	8	....	9	0,3189 a
	7	....	9	0,3299 ab
	6	....	9	0,3440 bc
	5	....	9	0,3524 cd
	4	....	9	0,3607 de
	3	....	9	0,3724 ef
	2	....	9	0,3774 fg
	1	....	9	0,3902 g
	8	....	16	0,4097 h
	7	....	16	0,4125 hi
	6	....	16	0,4160 hi
	5	....	16	0,4230 hij
	4	....	16	0,4271 ij
	3	....	16	0,4371 jk
	2	....	16	0,4432 k
	1	....	16	0,4529 k

Contracción total %

Tangencial

Análisi de variacia de **RT**

Summary of all Effects; design: (contangtl.sta)

1-EDAD

	Df	MS Effect	Df Error	MS Error	F	p-level
Effect						
1	2	4,69649696	106	0,59066945	7,95114279	0,00060615

Tukey HSD test; variable **RT** (contangtl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

	Edad	Media	
	9	5,49	a
	6	5,52	a
	16	6,09	b

Análisis de variancia de **CR**

Summary of all Effects; design: (contangtl.sta)

1-EDAD

	Df Effect	MS Effect	Df Error	MS Error	F	p-level
1	2	0,00370641	106	0,00146578	2,52861953	0,08457200

Tukey HSD test; variable **CR** (contangtl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

	Edad	Media	
	9	0,204	a
	6	0,209	a
	16	0,221	a

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (contangtl.sta)RT

1-TORA, 2-EDAD

	Df	MS Effect	Df Error	MS Error	F	p-level
1	3	11,1950445	88	0,25296342	44,2555847	1,56586E-17
2	1	8,53378487	88	0,25296342	33,7352524	9,86842E-08
12	3	0,1963225	88	0,25296342	0,77609044	0,510422468

Tukey HSD test; variable **RT** (contangtl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

	Tora	Edad	Media	
	4	9	4,791	a
	3	9	5,117	ab
	4	16	5,214	ab
	2	9	5,721	bc
	3	16	5,911	cd
	1	9	6,347	cde
	2	16	6,424	de
	1	16	6,811	e

Summary of all Effects; design: (contangtl.sta)

1-TORA, 2-EDAD

	Df	MS Effect	Df Error	MS Error	F	p-level
1	3	0,02195496	88	0,00098286	22,3379116	7,63672E-11
2	1	0,00727973	88	0,00098286	7,40670633	0,007832216
12	3	0,00035226	88	0,00098286	0,35840693	0,783174574

Tukey HSD test; variable **CR** (contangtl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

	Tora	Edad	Media	
	4	9	0,1727	a
	3	9	0,1816	ab
	4	16	0,1925	abc
	3	16	0,2084	abcd
	2	9	0,2150	bcd
	2	16	0,2288	cde
	1	9	0,2460	de
	1	16	0,2552	e

RadialAnálisis de variancia de **RT**

Summary of all Effects; design: (conradtl.sta)

1-EDAD

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	0,67050171	107	0,41760412	1,60559165	0,20556964

Tukey HSD test; variable **RT** (conradtl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media
9	3,3003974 a
6	3,3057301 a
16	3,5242116 a

Análisis de variancia de **CR**

Summary of all Effects; design: (conradtl.sta)

1-EDAD

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	0,002942203	107	0,00053111	5,53967476	0,00513719

Tukey HSD test; variable **CR** (conradtl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media	
9	0,12895	a
6	0,13197	ab
16	0,14428	a

Comparación entre 9 y 16 añosSummary of all Effects; design: (conradtl.sta)**RT**

1-TORA, 2-EDAD (9 y 16)

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	6,92100906	88	0,22584301	30,6452217	1,1713E-13
2	1	1,20222831	88	0,22584301	5,32329226	0,0233893
12	3	0,07244225	88	0,22584301	0,32076374	0,81033075

Tukey HSD test; variable **RT** (conradtl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media	
4	9	2,811	a
4	16	2,887	a
3	9	3,066	a
3	16	3,274	ab
2	9	3,386	abc
2	16	3,670	bcd
1	9	3,938	cd
1	16	4,266	d

Summary of all Effects; design: (conradtl.sta)**CR**
1-TORA, 2-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3 0,00635925	88	0,0003612	17,602911	4,9007E-09
2	1 0,00562258	88	0,0003612	15,563754	0,00016
12	3 0,0006702	88	0,0003612	1,8551715	0,14307262

Tukey HSD test; variable **CR** (conradtl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media	
4	9	0,1201	a
3	9	0,1213	a
4	16	0,1253	ab
2	9	0,1304	ab
3	16	0,1323	ab
1	9	0,1440	ab
2	16	0,1455	b
1	16	0,1740	c

FLEXION

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)
1-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2 53529858048	118	482416768	110,961845	7,7541E-28

Tukey HSD test; variable **ME** (flexiontl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
MAIN EFFECT: **EDAD**

EDAD	Media
6	12560,70 a
9	46070,30 b
16	89907,82 c

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)
1-TORA, 2-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3 2906841344	88	527897888	5,50644636	0,00163529
2	1 46121463808	88	527897888	87,3681488	7,9147E-15
12	3 506443552	88	527897888	0,95935893	0,41566133

Tukey HSD test; variable **ME** (flexiontl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media
4	9	38921,68 a
3	9	42606,82 a
2	9	47587,80 ab
1	9	55164,92 abc
4	16	72067,95 bc
3	16	82272,03 cd
2	16	101207,44 d
1	16	104083,85 d

Módulo de rotura

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)
1-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2 1101309	118	9398,04	117,184975	9,2919E-29

Tukey HSD test; variable **MOR** (flexiontl.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media	
6	261,45	a
9	417,74	b
16	613,60	c

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)

1-TORA, 2-EDAD

	df	Effect MS	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	28290,29102	88	10809,764	2,617105484	0,05596593
2	1	920712,5	88	10809,764	85,17415619	1,38574E-14
12	3	2460,715088	88	10809,764	0,227638215	0,87693190

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)

1-EDAD

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	349382,7188	118	5439,5317	64,2302933	1,3426E-19

Tukey HSD test; variable **TLP** (flexiontl.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media	
6	178,37	a
9	241,60	b
16	367,80	c

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (flexiontl.sta)

1-TORA, 2-EDAD

	df	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	21656,04297	88	5422,3481	3,993849516	0,010228652
2	1	382222,7188	88	5422,3481	70,49025726	7,17288E-13
12	3	1249,833008	88	5422,3481	0,23049663	0,874924362

Tukey HSD test; variable TLP (flexiont1.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media	
4	9	219,81	a
3	9	228,67	a
2	9	241,65	ab
1	9	276,29	abc
4	16	325,12	bcd
3	16	356,75	cd
2	16	378,93	d
1	16	410,39	d

Tracción perpendicular a las fibras

Summary of all Effects; design: (propt1.sta)
1-EDAD, 2-ESFUERZO

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2 2165,568604	200	19,0449	113,709	0
2	1 663,428772	200	19,0449	34,835	1,515E-08
12	2 10,70075607	200	19,0449	0,56187	0,57103926

Tukey HSD test; variable TENTRAC (propt1.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Edad	Esfuerzo	Media
6	tg	25,38 a
9	tg	27,60 a
6	rd	29,80 ab
9	rd	33,80 b
16	tg	36,86 c
16	rd	41,88 d

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (propt1.sta)
1-TORA, 2-EDAD, 3-ESFUERZO
Customized Error Term

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3 706,600647	6	10,2582	68,8816	4,86173E-05
2	1 3608,923828	6	10,2582	351,809	1,48286E-06
3	1 1511,999023	6	10,2582	147,394	1,89824E-05
12	3 5,35879612	6	10,2582	0,52239	0,682557046
23	1 16,78051949	6	10,2582	1,63582	0,248136714

Rajadura o clivaje

Summary of all Effects; design: (proptl.sta)
1-EDAD, 2-ESFUERZO

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	2125,629883	201	14,5	146,595	0
2	1	755,7883301	201	14,5	52,1234	1,05043E-11
12	2	16,12543869	201	14,5	1,1121	0,330882341

Tukey HSD test; variable **TENCLIVA** (proptl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Edad Sentido Media			
6	tg	25,5	a
9	tg	29,671	ab
6	rd	32,362	bc
9	rd	33,804	c
16	tg	37,691	d
16	rd	42,987	e

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (proptl.sta)
1-TORA, 2-EDAD, 3-ESFUERZO
Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	327,6061401	6	7,53071	43,5027	0,00018266
2	1	3551,428711	6	7,53071	471,593	6,22569E-07
3	1	1066,960571	6	7,53071	141,681	2,12842E-05
12	3	0,994207919	6	7,53071	0,13202	0,937484145
23	1	16,27159119	6	7,53071	2,1607	0,191977218

Dureza Janka

Summary of all Effects; design: (durezatl.sta)
1-EDAD, 2-ESFUERZO

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	228978,344	597	2033,12915	112,623611	0
2	2	92651,9531	597	2033,12915	45,5711136	3,8141E-19
12	4	10037,752	597	2033,12915	4,93709517	0,00063779

Tukey HSD test; variable TENSION (durezatl.sta)
 Homogeneous Groups, alpha=,05
 INTERACTION: 1 x 2

Edad	Superficie	Media
6	rd	165,50 a
6	tg	210,50 ab
6	tr	230,00 bc
9	rd	235,16 bc
9	tg	251,77 bc
16	rd	263,39 c
9	tr	289,74 d
16	tg	290,57 d
16	tr	355,05 e

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (durezatl.sta)

1-TORA, 2-EDAD, 3-ESFUERZO

Customized Error Term

df Effect	MS	Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	113001,43	12	696,223938	162,306152	5,61877E-10
2	1	280237,875	12	696,223938	402,511139	1,34475E-10
3	2	270426,094	12	696,223938	388,418243	1,23927E-11
12	3	566,710083	12	696,223938	0,81397671	0,510444522
13						
23	2	17518,0996	12	696,223938	25,1615868	5,09554E-05

Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Summary of all Effects; design: (proptl.sta)

1-EDAD, 2-ESFUERZO

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	2	2197,266113	199	76,8241	28,6013	1,20734E-11
2	1	2446,733643	199	76,8241	31,8485	5,67974E-08
12	2	247,7107544	199	76,8241	3,22439	0,04186745

Tukey HSD test; variable **CORTE** (proptl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Edad Sentido		Media
6	rd	81,339 a
9	rd	86,366 a
6	tg	89,946 ab
16	rd	91,661 b
9	tg	94,418 b
16	tg	106,01 c

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (proptl.sta)
1-TORA, 2-EDAD, 3-ESFUERZO
Customized Error Term

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	2169,727051	6	20,4807	105,94	1,38183E-05
2	1	3420,272217	6	20,4807	166,999	1,32099E-05
3	1	6019,445801	6	20,4807	293,907	2,52132E-06
12	3	25,75921059	6	20,4807	1,25773	0,369675726
23	1	475,0871887	6	20,4807	23,1968	0,002951186

Compresión paralela a las fibras

Módulo de elasticidad

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)
1-EDAD

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	2	1,89E+09	103	47329600	40,0111809	1,3872E-13

Tukey HSD test; variable **ME** (comptl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media
6	11297,66 a
9	29128,31 b
16	32689,15 c

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)

1-TORA, 2-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	3	1348392832	88	7478072,5	180,312881	0
2	1	304308448	88	7478072,5	40,6934319	8,0418E-09
12	3	36338400	88	7478072,5	4,85932684	0,00356204

Tukey HSD test; variable **ME** (comptl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media
4	9	22547,78 a
4	16	23375,65 a
3	9	25903,71 ab
3	16	29054,62 bc
2	9	31064,49 cd
2	16	34524,44 de
1	9	36997,29 e
1	16	43801,87 f

Modulo de rotura

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)

1-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	2	15682,82	103	2768,72119	5,66428137	0,00463605

Tukey HSD test; variable **MOR** (comptl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media
6	246,04 a
9	267,31 a
16	296,08 b

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)

1-TORA, 2-EDAD

df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	3	24632,0176	88	2194,61792	11,2238293	2,6298E-06
2	1	19852,8496	88	2194,61792	9,04615307	0,00343177
12	3	3734,48267	88	2194,61792	1,70165503	0,17250796

Tukey HSD test; variable **MOR** (comptl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media
4	16	238,92 a
4	9	243,58 a
3	9	263,63 ab
2	9	270,19 ab
3	16	288,79 abc
1	9	291,86 abc
2	16	312,35 bc
1	16	344,24 c

Tensión en el límite proporcional

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)

1-EDAD

df Effect	MSEffect	df Error	MS Error	F	p-level	
1	2	18222,87	103	1471,09045	12,3873196	1,5108E-05

Tukey HSD test; variable **TLP** (comptl.sta)

Homogeneous Groups, alpha=,05

MAIN EFFECT: **EDAD**

Edad	Media
6	144,50 a
9	157,30 a
16	191,65 b

Comparación entre 9 y 16 años

Summary of all Effects; design: (comptl.sta)
1-TORA, 2-EDAD

	df Effect	MS Effect	df Error	MS Error	F	p-level
1	3	8452,17676	88	1327,7915	6,3655901	0,00059058
2	1	28308,1348	88	1327,7915	21,3197136	1,3178E-05
12	3	1420,3291	88	1327,7915	1,06969285	0,36619031

Tukey HSD test; variable TLP (comptl.sta)
Homogeneous Groups, alpha=,05
INTERACTION: 1 x 2

Tora	Edad	Media
4	9	144,98 a
3	9	150,53 a
4	16	163,98 ab
1	9	166,79 ab
2	9	166,91 ab
3	16	174,82 abc
2	16	208,88 bc
1	16	218,90 c