

Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003)

Índices de Calidad de Madera en *Pinus taeda* de Rivera para la optimización en el uso final.

Ing. Agr. OF Alvaro Pérez del Castillo
Ing. Quim. Raúl de Castro
Dr. Sadaaki Ohta

Colaboradores:
Ing. Quim. Silvia Böthig Per. Agr. Hugo O'Neill
Sr. Dilvar Silva Sr. Luciano Benites Sr. Javier Doldán

Informe de Investigación N° 2
Setiembre 2000



PRÓLOGO

El presente trabajo es el segundo de la serie: “Informes de Investigación”, que reunirá estudios realizados como parte del “Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales” entre el Sector Productos Forestales del LATU y JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) en Montevideo, Uruguay desde 1998 hasta 2003. Con esta serie el LATU pretende la difusión tecnológica como una contribución al desarrollo de la industria forestal.

Los autores agradecen al Sr. Harushi Kobayashi (Coordinador del Proyecto) por su invaluable apoyo en este estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	2
2.1. MUESTREO REALIZADO.....	2
2.2. ANCHO DE ANILLOS	2
2.3. DENSIDAD BÁSICA.....	4
2.3.1. <u>Método de inmersión en agua</u>	4
2.3.2. <u>Método de “Máximo contenido de humedad” o “Infradensidad”</u> ,.....	5
2.4. LARGO DE TRAQUEIDAS.	6
2.5. PORCENTAJE DE LEÑO TARDÍO.....	6
3. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	7
3.1. ANCHO DE ANILLOS.	7
3.2. DENSIDAD APARENTE BÁSICA.	9
3.2.1. <u>Variación de la Densidad Aparente Básica</u>	9
3.2.2. <u>Variación individual de cada árbol</u>	10
3.2.3. <u>Comparación de 2 métodos diferentes para el cálculo de Densidad_{ab}</u>	12
3.3. LARGO DE TRAQUEIDAS.	13
3.4. PORCENTAJE DE LEÑO TARDÍO	15
3.5. RELACIÓN ENTRE DIFERENTES ÍNDICES.	16
3.5.1. <u>Relación entre ancho de anillos y densidad_{ab}</u>	16
3.5.2. <u>Relación entre densidad_{ab} y largo de traqueidas</u>	17
3.5.3. <u>Relación entre densidad_{ab} y porcentaje de leño tardío</u>	18
3.5.4. <u>Relación entre ancho de anillos y porcentaje de leño tardío</u>	19
3.5.5. <u>Relación entre ancho de anillos y longitud de traqueidas</u>	19
3.5.6. <u>Relación entre porcentaje de leño tardío y longitud de traqueidas</u>	20
4. <u>CONCLUSIONES</u>	21
5. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	22

ÍNDICES DE CALIDAD DE MADERA EN *PINUS TAEDA* DE RIVERA PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL USO FINAL

RESUMEN

Cuatro diferentes índices de calidad de madera fueron estudiados con el objetivo de profundizar el conocimiento que se tiene sobre esta especie en nuestro país y de esta forma poder optimizar el uso final que se le dará a dicha madera.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta el año 1998, la superficie forestada en el Uruguay con *Pinus taeda* alcanzó las 74777 hectáreas, de un total forestado (bajo la Ley 15939 del año 1987) de 406100 ha. Para el año 2010 se estima que habrá una disponibilidad de madera de *Pinus* con fines industriales de aproximadamente 801535 m³ (Rodgers,1996). Esto provocará que nuestro país vea ampliamente satisfechas sus necesidades internas de madera de coníferas. A pesar de este incremento de la superficie forestada, dicha área es significativamente menor que la de otros países de la región.

Existe en la actualidad preocupación por la baja calidad de la madera cosechada, lo cual lleva a tener problemas al procesarla. Las rotaciones cada vez más cortas, dan madera con alto porcentaje de madera juvenil, o sea madera de menor calidad.

Independientemente de esto, es de esperar que las plantaciones de *Pinus taeda* de nuestro país, produzcan madera aserrable de alta calidad la cual podrá ser utilizada en un amplio rango de usos finales (muebles, madera estructural, etc.). Además, es una madera que produce pulpa de alta calidad, es buena para fabricar contrachapados y tableros de partículas y tiene buen comportamiento frente a los tratamientos de preservación.

Por otra parte, para que dicha madera sea bien aceptada en el mercado nacional e internacional, será necesario investigar y acumular mucha información de las características y las propiedades fundamentales, así como los factores que influyen en éstas, para lograr una mayor calidad de los mismos.

En este trabajo se estudiaron los siguientes índices de calidad de madera :

- ⇒ Ancho de anillos
- ⇒ Densidad Aparente Básica
- ⇒ Largo de Traqueidas
- ⇒ Porcentaje de Leño Tardío

Todos estos índices son de utilidad para determinar la zona de transición entre madera juvenil y madera adulta, y a su vez poder determinar que factores afectan la formación de madera juvenil (genéticos, ambientales y silviculturales). Este tipo de investigaciones podrán tener una considerable importancia económica ya que ayudarán a la mejora de la calidad de la madera producida en nuestro país.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. MUESTREO REALIZADO.

Las trozas de *Pinus taeda* estudiadas provenían del departamento de Rivera. Se seleccionaron 15 trozas basales de árboles cuyas edades variaban entre los 11 y 21 años. La fecha de corte fue septiembre de 1999.

Otras características del muestreo realizado se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla N°1: Características del muestreo realizado.

Árbol N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N° de Anillos	21	20	21	19	20	16	14	16	15	18	11	14	15	14	18
DAP (cm)	52	50	43	43	43	41	40	34	43	38	37	34	34	35	33
Diámetro Mayor (cm)	62	55	52	53	51	53	46	41	49	45	49	43	39	40	39
Diámetro Menor (cm)	49	44	41	41	39	35	38	33	35	35	31	33	32	31	29
Largo (m)	4.9	4.9	4.9	4.9	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7

2.2. ANCHO DE ANILLOS

El ancho de anillos es un índice que se tiene en cuenta para determinar la velocidad de crecimiento de los árboles. Por otra parte, la relación entre el ancho de anillos de crecimiento y la densidad aparente, es discutida frecuentemente en la bibliografía. En el comercio de maderas predomina la idea de que las maderas con una densidad aparente alta son características de las maderas con anillos de crecimiento estrecho. Sin embargo, esto no se puede generalizar (E. Coronel, 1994).

Para la mayoría de las coníferas, la densidad aparente aumenta con la disminución del ancho de anillos de crecimiento, puesto que cuanto más ancho es el anillo se tiene más leño temprano formado (de baja densidad aparente) (E. Coronel, 1994). A su vez, los anillos anchos se relacionan con la baja densidad debido a que estos anillos ocurren generalmente en la madera juvenil, la que generalmente presenta baja densidad en el caso de las coníferas.

Por otra parte, se ha aceptado que las maderas de coníferas con anillos de crecimiento anchos presentan baja resistencia. Es por esto que las especificaciones para maderas de alta resistencia para usos estructurales requieren que el ancho de los anillos deba ser menor que un valor determinado, ya que se supone que así se evitaría la madera de baja resistencia. Este valor generalmente se expresa como un determinado número de anillos por unidad de distancia, por ejemplo, en Estados Unidos las clasificaciones para madera estructural excluyen las tablas con menos de cuatro anillos por pulgada medidos en la cara transversal.

Es por esto que no es difícil de entender por que el rápido crecimiento es sinónimo de baja densidad y baja resistencia y que a su vez se crea sea la causa de estos problemas.

Se deberá investigar la relación que existe entre la densidad de la madera y la velocidad de crecimiento separadamente para madera juvenil y madera adulta. Si en *Pinus taeda* cultivado en Uruguay se logra concluir que la densidad aparente se mantiene constante según la ubicación en el árbol (madera juvenil – madera adulta), implicaría que la correlación entre ancho de anillos y la densidad sería muy poca o nula. Esta es una

importante investigación para determinar los usos finales de la madera de pinus de rápido crecimiento.

De cada árbol seleccionado, se cortó un disco (rodaja) a aproximadamente 2 metros de altura, y de dicho disco se cortaron las probetas con sierra sin-fin. Las probetas, que incluían la médula, eran de 5 mm. de espesor por 30 mm de ancho. El largo de cada probeta dependía del radio del árbol. Las probetas fueron secadas al aire hasta una humedad de aproximadamente 15 %. (Ver Figura N°1)

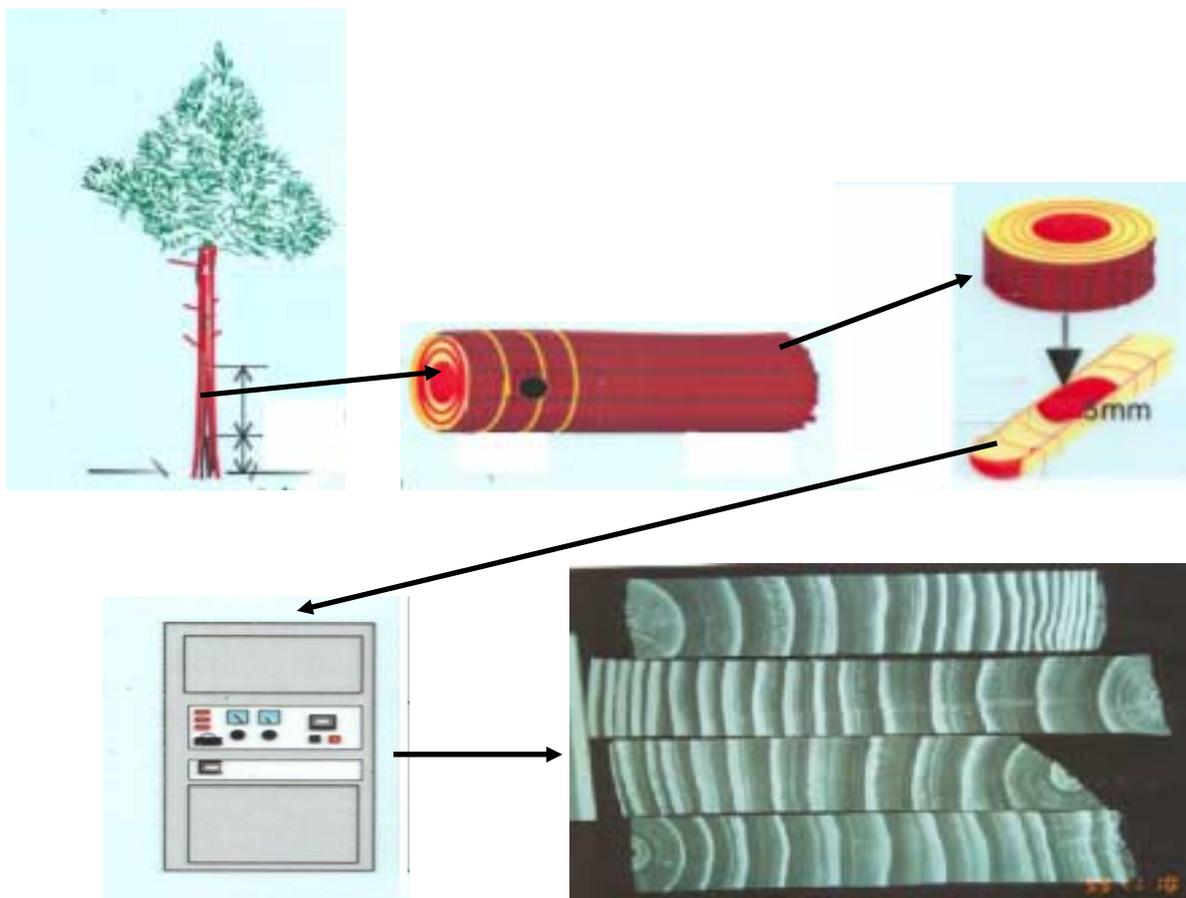


Figura N°1: Obtención de probetas y toma de radiografías con equipo de rayos X de baja intensidad.

Luego de secadas, para facilitar la medición de los anillos, se procedió a tomar radiografías de las probetas. Para esto se utilizó un equipo de rayos X de baja intensidad de origen japonés, fabricado por SOFRON CO.,LTD.

Las radiografías fueron tomadas en dirección axial bajo las siguientes condiciones:

- ⇒ Voltaje aplicado: 16 kilo Volts
- ⇒ Intensidad de radiación: 12 mili Amperes
- ⇒ Tiempo de exposición: 2,5 minutos
- ⇒ distancia a la fuente de rayos X de 60 cm

Una vez obtenida la radiografía, se procedió a medir con regla o calibre, el ancho de cada uno de los anillos anuales (leño temprano y leño tardío).

2.3. DENSIDAD APARENTE.

La densidad aparente o peso específico aparente es la relación del peso al volumen de la muestra de madera, sin descontar en esta última los espacios huecos interiores (E. Coronel, 1994).

La densidad aparente constituye una de las propiedades físicas más importantes de la madera, pues de ella dependen la mayoría de las características físicas y mecánicas.

Por otra parte, la densidad aparente es un excelente índice para predecir las características de la madera, tomando en cuenta su uso final. Características tales como: resistencia a la flexión, dureza, rigidez, valor de conductividad térmica, rendimiento pulperable y calidad de papel (Jozsa y Middleton, 1994).

La variación de la densidad aparente es también muy importante para saber si el uso final asignado a la madera es el apropiado.

En este estudio, se investigó la variación de la densidad aparente dentro de los árboles (desde la médula a la corteza) y entre árboles.

Por la razón de tener gran utilidad en estudios teóricos y comparaciones, se emplea el valor denominado “Densidad Aparente Básica” o “Peso específico aparente básico”, que está dado por la siguiente relación:

$$\text{Densidad}_{ab} = \text{Peso anhidro} / \text{Volumen verde}$$

Densidad_{ab}: De aquí en más para este informe significará “Densidad Aparente Básica”.

Se utilizaron dos métodos diferentes para calcular densidad aparente básica. Uno fue el método por inmersión en agua y el otro fue el método de “Máximo contenido de humedad” o “Infradensidad”.

2.3.1. Método de inmersión en agua

Inicialmente se cortaron probetas similares a las usadas para medir ancho de anillos pero de 40 milímetros de espesor. Posteriormente, cada una de estas probetas fue cortada en probetas más pequeñas, continuas desde la corteza a la médula. Cada una de estas pequeñas probetas contenía dos o tres anillos de crecimiento. El corte se realizó con un instrumento que permitía seguir la curvatura de los anillos de crecimiento (Ver Figura N°2). El número de probetas ensayadas fue de 179.

Cada probeta se pesó inicialmente saturada en agua. Luego se pesaron sumergidas en agua. Posteriormente se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante, para así obtener el peso anhidro.. El cálculo de densidad aparente básica se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad}_{ab} = \text{Peso Anhidro} / (\text{Peso Verde} - \text{Peso Sumergido en Agua})$$

Para las tres pesadas realizadas (saturada en agua, sumergida en agua y estado anhidro), se utilizó una balanza de precisión Mettler Toledo (modelo PG 5002 Delta Range), Máximo 5100g, d= 0,01 g.

2.3.2. Método de “Máximo contenido de humedad” o “Infradensidad”.

El método de “máximo contenido de humedad” es un método más simple que el método de inmersión en agua y por lo tanto más rápido (Smith, 1954). Este método asume como constante la densidad del material componente de la pared celular (celulosa), el que toma como $1,53 \text{ g/cm}^3$.

La principal ventaja de este método es que solamente requiere realizar dos pesadas (peso saturada en agua y peso anhidro). El mayor inconveniente es que las probetas deben estar totalmente saturadas en agua, lo que implica que en casos se deba hacer tratamientos de vacío o se deba hervir en agua las probetas. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\text{Densidad Básica} = \frac{1}{\frac{W_s - W_{od}}{W_{od}} + \frac{1}{1,53}}$$

Ws = Peso de probeta saturada en agua

Wod = Peso anhidro

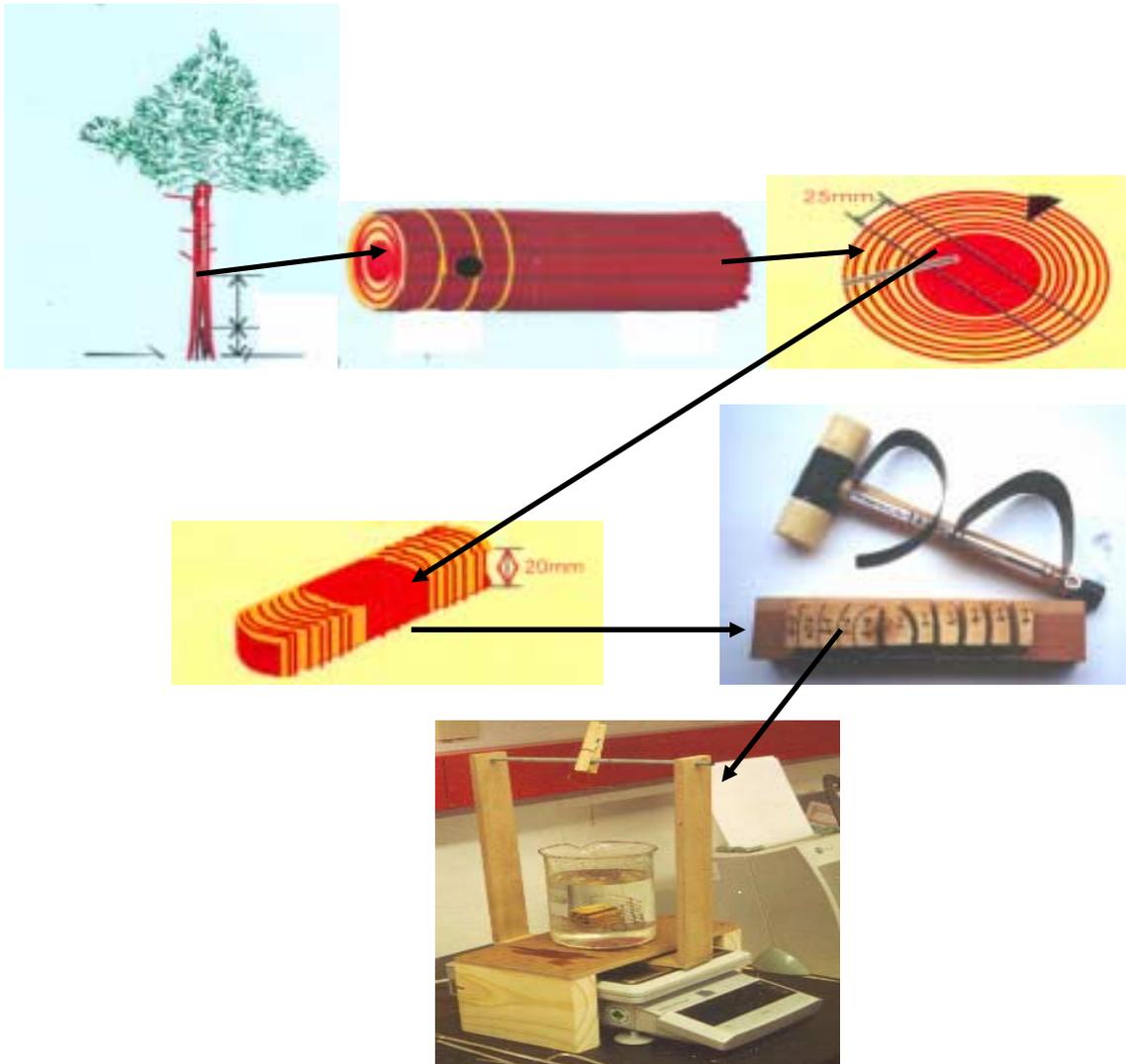


Figura N°2: Obtención de probetas y método de inmersión en agua para el cálculo de la densidad aparente.

2.4. LARGO DE TRAQUEIDAS.

El largo de traqueidas es un índice de calidad de madera muy importante para la industria de la pulpa y el papel, pero que a veces no se tiene en cuenta en productos de madera sólida (Jozsa y Middleton, 1994).

Igualmente, el largo de traqueidas es utilizado para determinar el porcentaje de madera juvenil, o sea poder determinar la zona de transición entre la madera juvenil y la madera adulta (Jozsa y Middleton, 1994). El porcentaje de madera juvenil es un índice de la calidad de la madera que cada día toma más importancia a nivel mundial. Las rotaciones cortas producen trozas con mayor porcentaje de madera juvenil, lo que implica madera de peor calidad. El mejoramiento genético y los diferentes manejos de las plantaciones posibilitarán disminuir el porcentaje de madera juvenil y por lo tanto aumentar la calidad de la madera. Medir la longitud de traqueidas es una de las formas en que se puede determinar esta proporción.

Por otra parte, se ha informado de una estrecha correlación entre el largo de traqueidas y el ángulo microfibrilar. Dicho ángulo también es muy utilizado para determinar la proporción de madera juvenil.

Para la medición del largo de traqueidas se cortaron de cada anillo de crecimiento pequeñas probetas de aproximadamente 2 x 2 x 20mm. Dichas probetas se cortaron solamente del leño tardío. La maceración de las probetas se realizó mediante una solución química que destruye la lignina (solución de Jeffreys). Las probetas se colocaron en tubos de ensayo y se mantuvieron en la solución entre uno y cinco días. Luego se quitó la solución suspendiendo las fibras en agua. La suspensión de las fibras en agua se colocó en placas de Petri y mediante un proyector de perfiles, se procedió a la medición con regla del largo de traqueidas. El proyector de perfiles es un equipo de origen japonés, marca Nikon, modelo V12A. Este equipo posibilita un aumento de 50 veces.

Para cada anillo de crecimiento (leño tardío), se midieron 30 traqueidas.

2.5. PORCENTAJE DE LEÑO TARDÍO.

Como consecuencia de que la madera de leño temprano presenta las paredes celulares más delgadas que las paredes celulares del leño tardío (que son más gruesas), esto perfectamente observable sobre todo en las coníferas, determinan considerables variaciones en el peso específico aparente de estas dos maderas consideradas individualmente (E. Coronel, 1994).

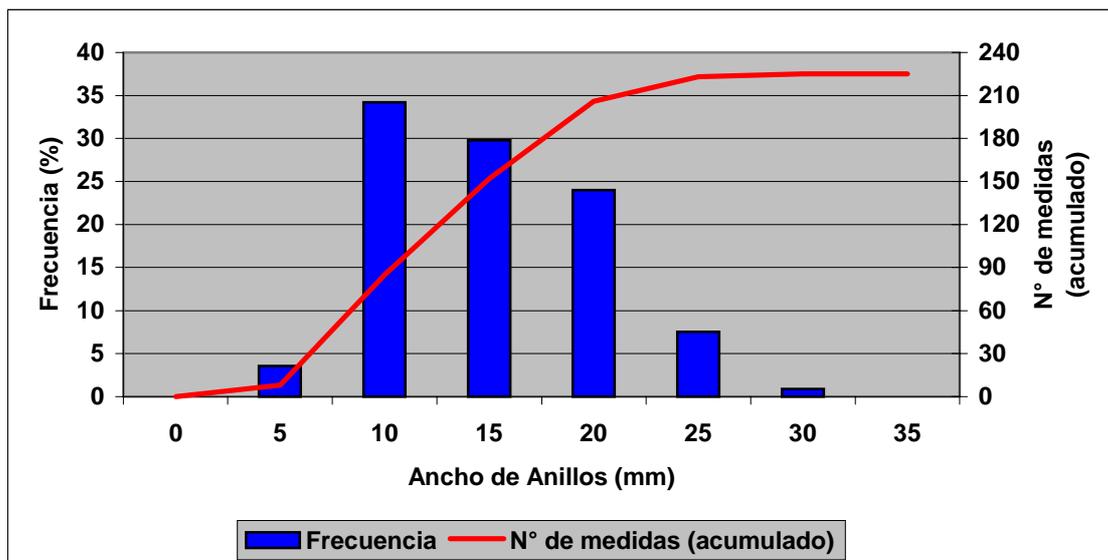
El procedimiento para realizar este ensayo es muy similar al llevado a cabo en ancho de anillos (2.2.). La diferencia es que en este estudio en cada anillo de crecimiento anual, se mide por separado el leño temprano y el leño tardío y se calcula el porcentaje de leño tardío de cada anillo de crecimiento.

Las mediciones de porcentaje de leño tardío se realizaron desde médula a la corteza en dos direcciones radiales opuestas, siendo estas representativas de toda la troza.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

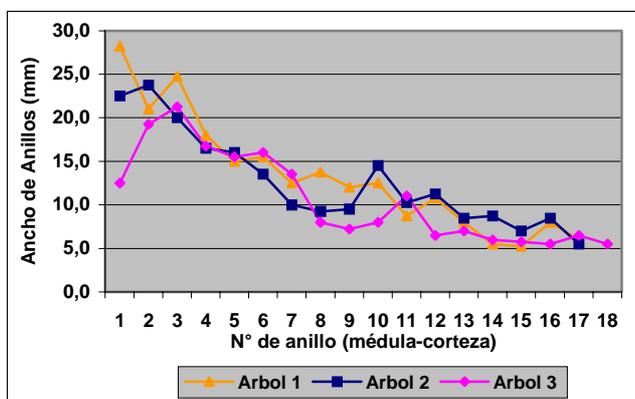
3.1. ANCHO DE ANILLOS.

En los 15 árboles de *Pinus taeda* estudiados, se realizaron 225 medidas de ancho de anillos. El ancho de los anillos varió entre 4,0 y 28,3 milímetros con una media de 12,6 milímetros. En la gráfica N° 1, se observa la frecuencia de distribución de los valores encontrados donde se observa que el 88% de los anillos medidos pertenecían a un rango entre 10 y 24,9 milímetros demostrando esto la alta velocidad de crecimiento que presenta esta especie en nuestro país.

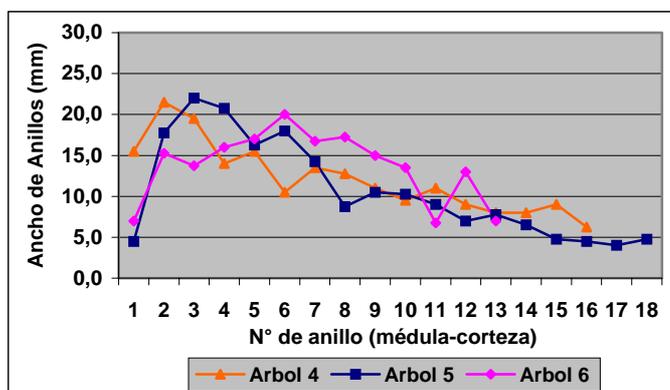


Gráfica N°1: Frecuencia de distribución del ancho de anillos y número de medidas realizadas.

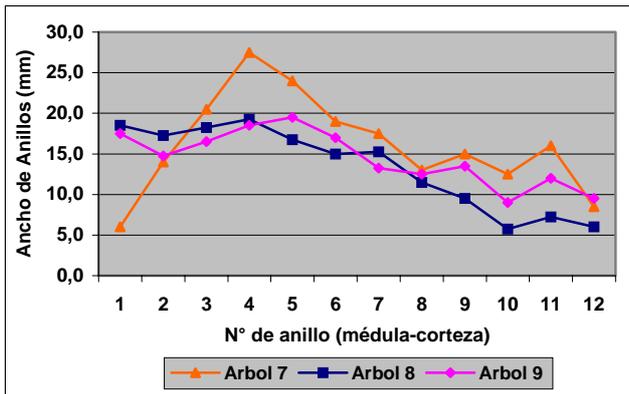
Por otra parte, en la gráfica N°2, se observa la variación individual de cada uno de los 15 árboles. Sin tener en cuenta la primer probeta analizada (pues contenía la médula), los anillos más anchos se encontraron cerca de la médula (madera juvenil). Luego se observa una importante disminución del ancho hasta aproximadamente los anillos 8-9-10-11-12. Posteriormente a estos anillos (zona de transición entre la madera juvenil y la madera adulta), las pendientes de las curvas tienden a disminuir y a mostrar una tendencia a hacerse constantes.



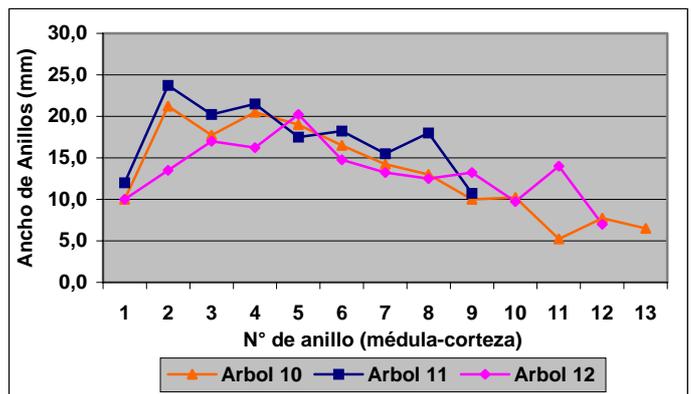
Gráfica N°2 ⇒ Figura A



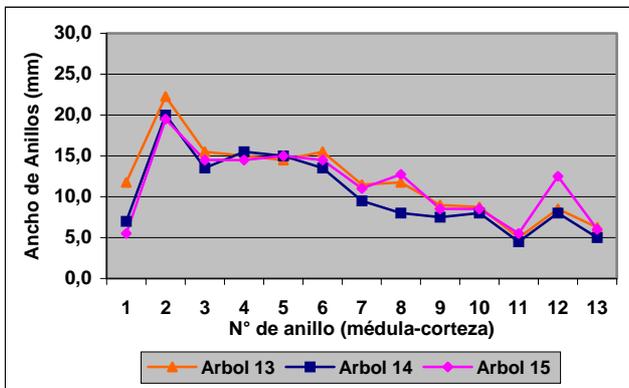
Gráfica N°2 ⇒ Figura B



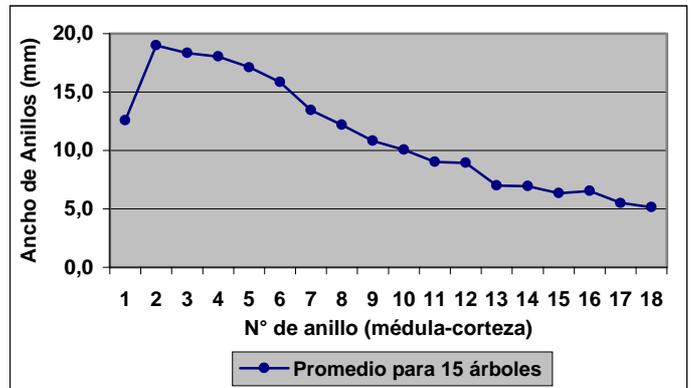
Gráfica N°2 ⇒ Figura C



Gráfica N°2 ⇒ Figura D



Gráfica N°2 ⇒ Figura E



Gráfica N°2 ⇒ Figura F

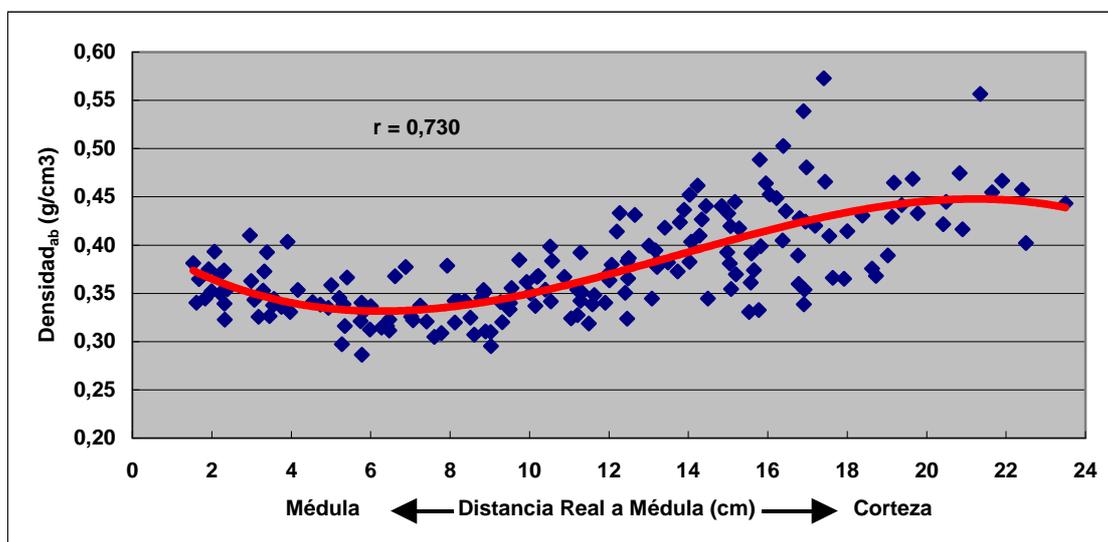
Gráfica N°2: Relación entre n° de anillos y ancho de anillos para cada árbol estudiado (Fig. A-E). Promedio DE los 15 árboles (Fig F).

Por más que estos resultados no son representativos de todas las plantaciones de *Pinus taeda* de nuestro país, son resultados que se deben tener en cuenta para futuros manejos silviculturales que se deban realizar en las plantaciones de esta especie. La observación y el análisis de estos resultados por ejemplo, pueden ser de ayuda para determinar el momento óptimo para la realización de raleos. Un raleo posibilita la formación de anillos de crecimiento más anchos en zonas externas del árbol, o sea donde se encuentra la madera de mayor calidad.

3.2. DENSIDAD APARENTE BÁSICA.

3.2.1. Variación de la Densidad Aparente Básica (densidad_{ab}).

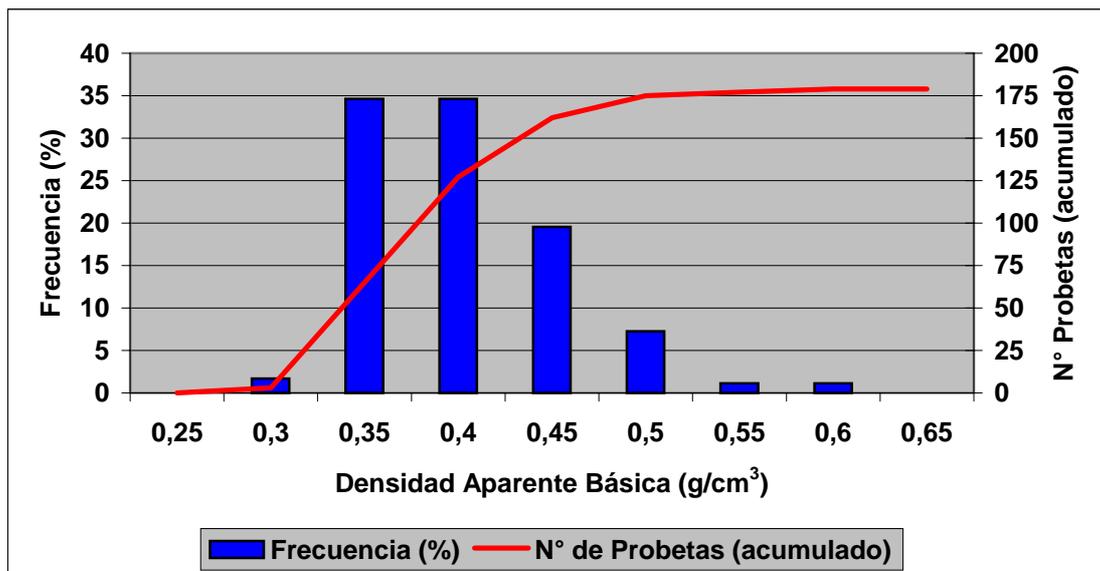
Uno de los ensayos realizados consistió en observar la variación dentro de los árboles, o sea la variación de la densidad_{ab} desde la médula a la corteza para los 15 árboles estudiados. En la gráfica N°3 se observa dicha variación.



Gráfica N°3: Correlación entre densidad aparente básica y distancia a la médula.

Como era de esperar, inicialmente (2–4 cm) se observan valores relativamente altos. Esto se debe a que la presencia de extractivos (por ejemplo resina) cerca de la médula es mayor que en zonas alejadas a ésta, lo que provoca un aumento de los valores de densidad básica. Este comportamiento también se observa por ejemplo en plantaciones de *Pinus radiata* (Otha, S., 1972) (Bamber y Burley; 1983). Entre los 4 y 10 centímetros, se observan valores bajos de densidad_{ab} debido a la presencia de madera juvenil. A una distancia mayor que 11 centímetros, comienza la zona de transición entre madera juvenil y madera adulta lo que provoca un aumento de la densidad_{ab}. A partir de los 16 centímetros se observa una tendencia de los valores de densidad_{ab} a mantenerse constantes.

Por otra parte, en la gráfica N°4, se observa la frecuencia de distribución de los valores de densidad_{ab} encontrados. Se realizaron 179 medidas. La media obtenida fue de 0,378 g/cm³ y los valores variaron entre 0,286 y 0,573 g/cm³.

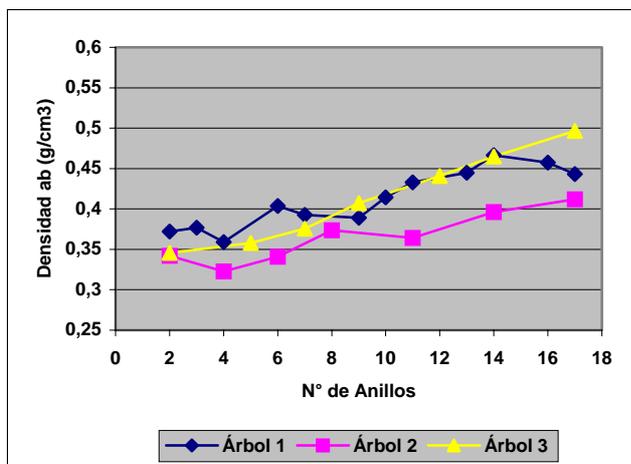


**Gráfica N°4: Frecuencia de distribución de la densidad_{ab}.
Número de probetas analizadas.**

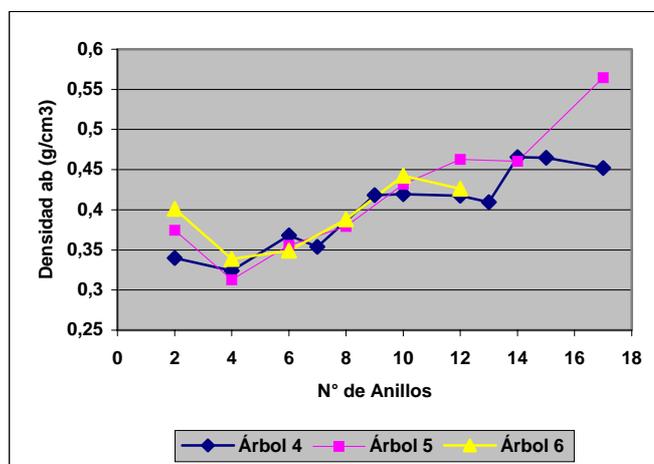
3.2.2. Variación de la densidad_{ab} individual de cada árbol.

En la gráfica N° 5 (Fig A-E) se puede observar la variación individual de la densidad_{ab} desde la médula a la corteza para los 15 árboles estudiados. La tendencia general indica que los menores valores de densidad_{ab} se encuentran cerca de la médula, observándose que la densidad_{ab} aumenta rápidamente desde la médula hasta la zona de transición entre la madera juvenil y la madera adulta (anillos 8-12). Posteriormente a esta zona, los incrementos de la densidad_{ab} son menores, con una tendencia a mantenerse constantes. Esta tendencia ha sido observada en otras especies de pinos, por ejemplo, *Pinus densiflora* y *Pinus radiata* (Otha, S.,1972)(Bamber y Burley; 1983).

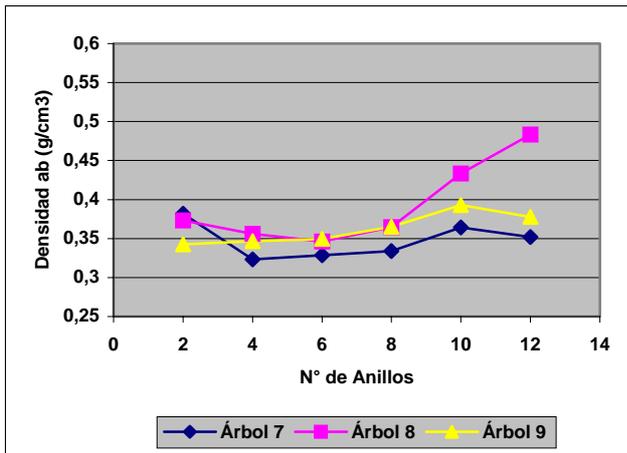
A pesar de lo dicho anteriormente, también se observó que en algunos árboles (ej: 7,9,11 y 12), este aumento de los valores de densidad_{ab} no fue tan importante como el observado en el resto de los árboles, lo que demuestra gran variación dentro de cada árbol y entre éstos.



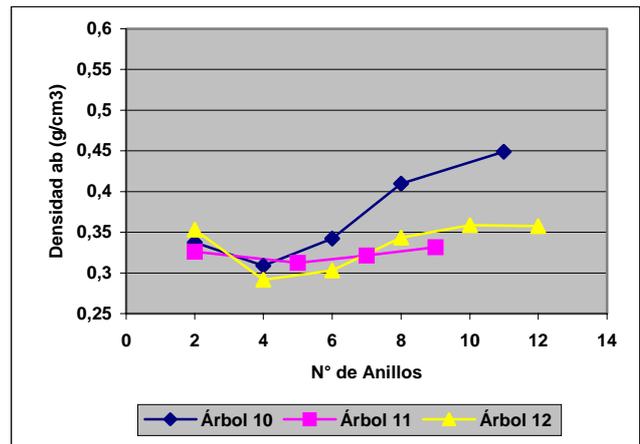
Gráfica N°5 ⇒ Figura A.



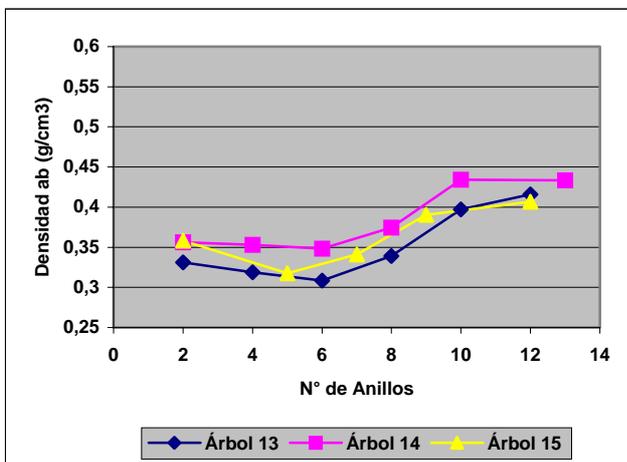
Gráfica N°5 ⇒ Figura B.



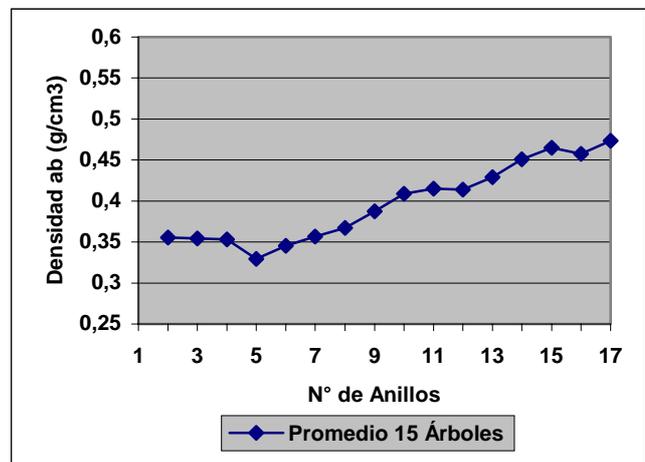
Gráfica N°5 ⇒ Figura C.



Gráfica N°5 ⇒ Figura D.



Gráfica N°5 ⇒ Figura E.



Gráfica N°5 ⇒ Figura F.

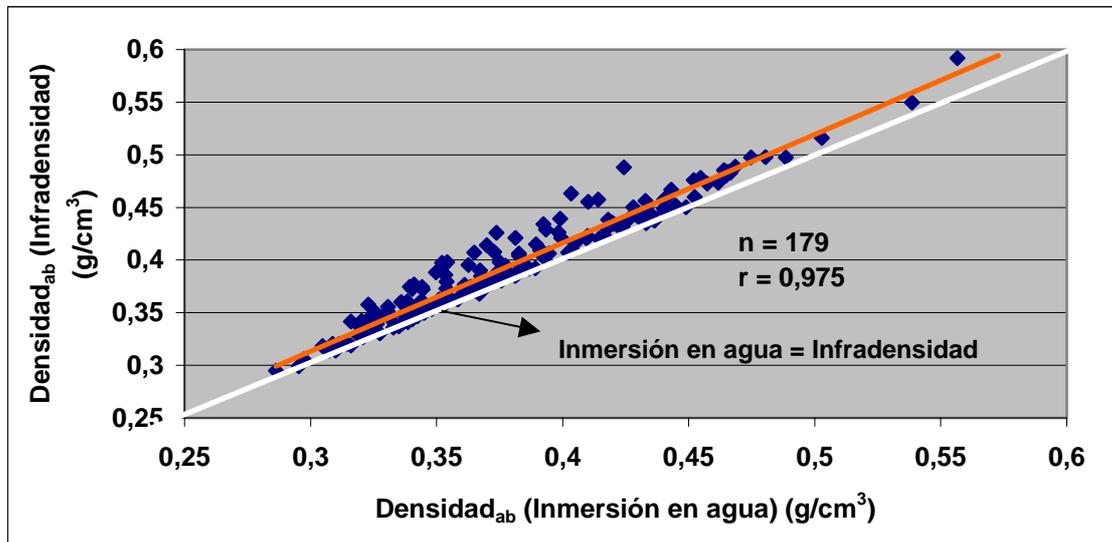
Gráfica N°5: variación individual de la densidad_{ab} desde la médula a la corteza (Fig A-E). Promedio para los 15 árboles (Fig F).

Por otra parte, se puede observar en la gráfica N°5 (Fig. F), el promedio de la densidad_{ab} para los 15 árboles estudiados. En dicha gráfica se ve que la zona de transición entre madera juvenil y madera adulta ocurre entre los anillos 8 y 12, o sea a una distancia promedio de la médula de entre 11 y 16 centímetros aproximadamente (Ver gráfica N°3).

Es importante observar la alta variabilidad que existe entre los resultados de la densidad_{ab} de los diferentes árboles estudiados. Si se comparan estos resultados con los obtenidos en el informe de investigación N°1 “Ensayos de Propiedades Mecánicas de *Pinus taeda* por Seis Métodos No Destructivos” se observa que los árboles que presentaron bajos valores de MOE (ej: árboles 7, 11 y 12), presentaron también valores bajos de densidad_{ab} desde la médula a la corteza (siempre menores a 0,40 g/cm³).

3.2.3. Comparación de los 2 métodos diferentes para el cálculo de la densidad_{ab}.

Los resultados obtenidos de este ensayo se pueden observar en la siguiente gráfica:



Gráfica N°6: Correlación entre dos métodos de cálculo de densidad básica.

Como se puede observar en la gráfica N°6, la correlación entre los dos métodos es muy alta lo que demuestra la precisión del método de infradensidad.

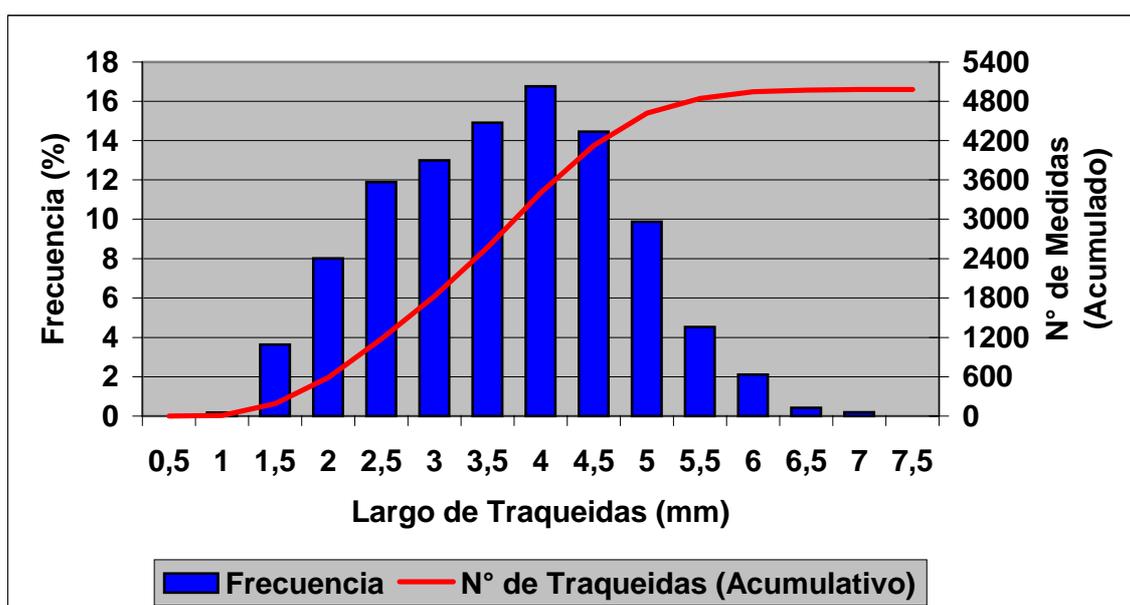
Con este método siempre se obtuvieron resultados levemente superiores que con el método de inmersión en agua. Los datos obtenidos mediante el método de infradensidad son en promedio un 4% mayor que los datos obtenidos por el método de inmersión en agua.

Se puede decir que el método de infradensidad es un método muy útil y conveniente para evaluar la calidad de la madera.

3.3. LARGO DE TRAQUEIDAS.

Como se dijo anteriormente, el largo de traqueidas es un importante índice para la industria de la pulpa y el papel y para determinar la zona de transición entre madera juvenil y madera adulta.

Inicialmente se realizó un histograma para poder observar la frecuencia de distribución de los resultados obtenidos. Como se puede observar en la gráfica N°7, se midieron un total de 4980 traqueidas, con valores que se encontraron entre los 0,89 y 6,8 milímetros y una media de 3,8 milímetros. El 59 % de las traqueidas medidas, tenían una longitud entre 2,5 y 4,4 milímetros.

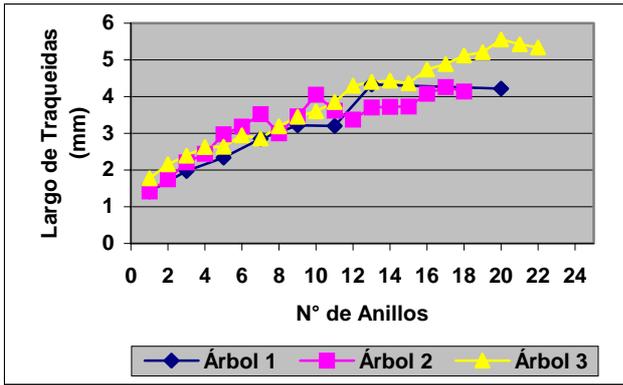


**Gráfica N°7: Frecuencia de distribución de la longitud de traqueidas (mm).
Número de medidas realizadas.**

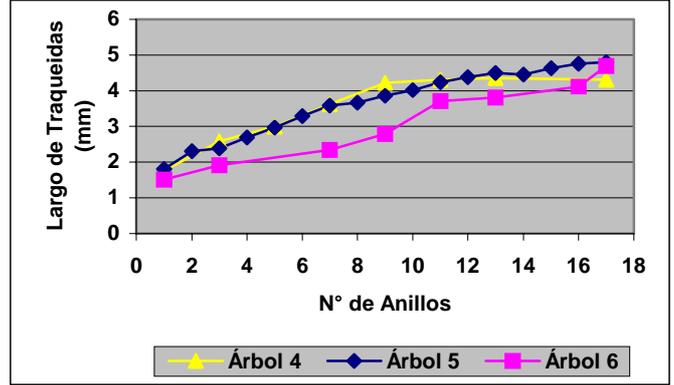
Posteriormente, en la gráfica N°8 (Fig A-E), se puede observar la variación individual del largo de traqueidas de cada árbol desde médula a corteza. En todos los árboles estudiados, las traqueidas más cortas se encuentran en la zona cercana a la médula (madera juvenil), observándose un marcado incremento del largo a medida que nos alejamos de la médula. En la zona de transición entre madera juvenil y madera adulta, que para este índice se observa entre los anillos 8 y 11, este incremento tiende a disminuir, tendiendo en algunos casos a mantenerse constante.

Esta diferencia del largo de traqueida entre la madera juvenil y la madera adulta es lo que explica la preferencia de las industrias papeleras por madera de costaneros de árboles adultos antes que madera de raleos (árboles con altísimo porcentaje de madera juvenil).

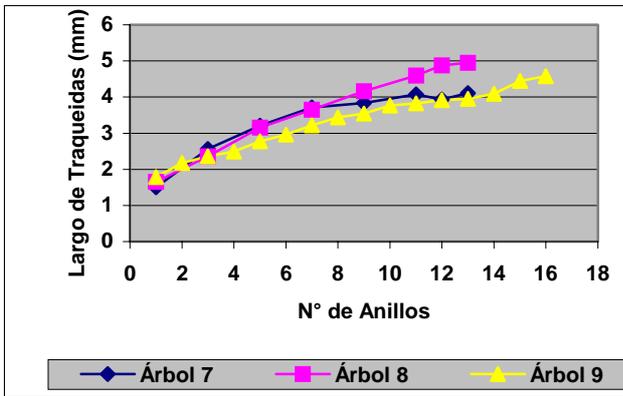
Por otra parte, en la gráfica N°8 (Fig F), se muestra el promedio calculado para los 14 árboles estudiados, donde se observa más claramente la zona de transición entre la madera juvenil y la madera adulta. Es muy importante tener en cuenta que por medio de mejoramiento genético y manejo forestal adecuado se podría lograr árboles que generen madera adulta a una edad más temprana, lo que implicaría árboles de mejor calidad.



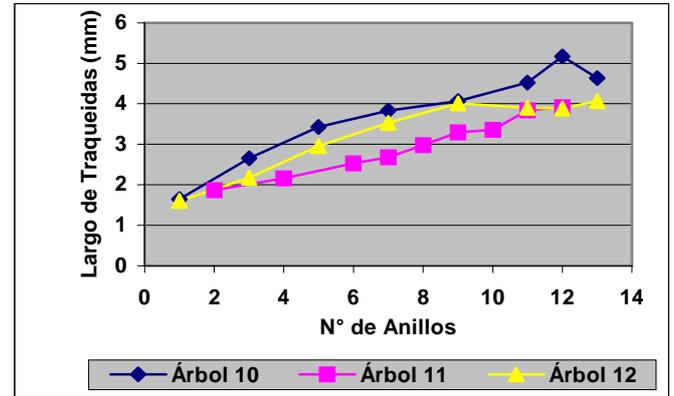
Gráfica N°8 ⇒ Figura A.



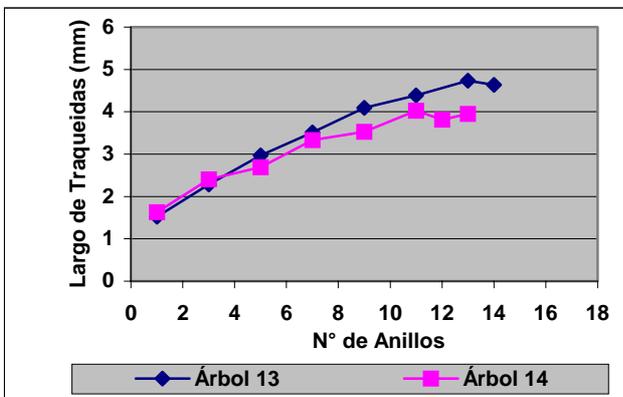
Gráfica N°8 ⇒ Figura B.



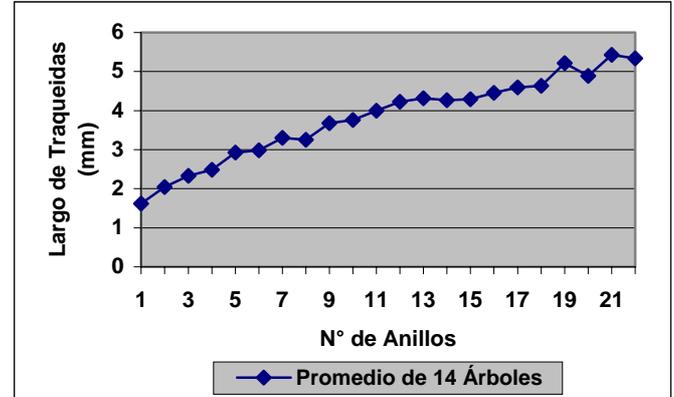
Gráfica N°8 ⇒ Figura C.



Gráfica N°8 ⇒ Figura D.



Gráfica N°8 ⇒ Figura E.

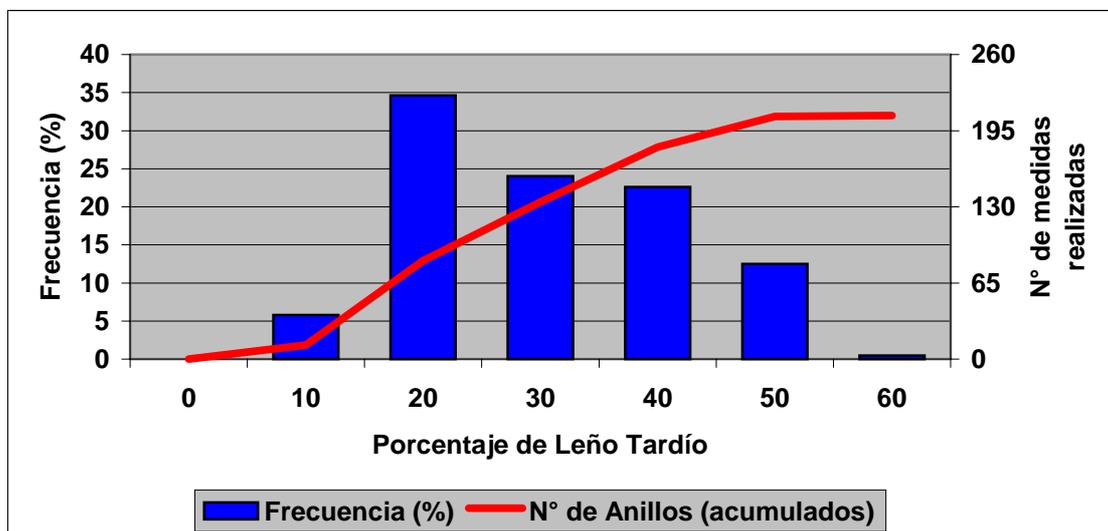


Gráfica N°8 ⇒ Figura F.

Gráfica N°8: Variación de la longitud de traqueidas desde médula a corteza para cada árbol individual (Fig A-E). Promedio de 14 árboles (Fig F)

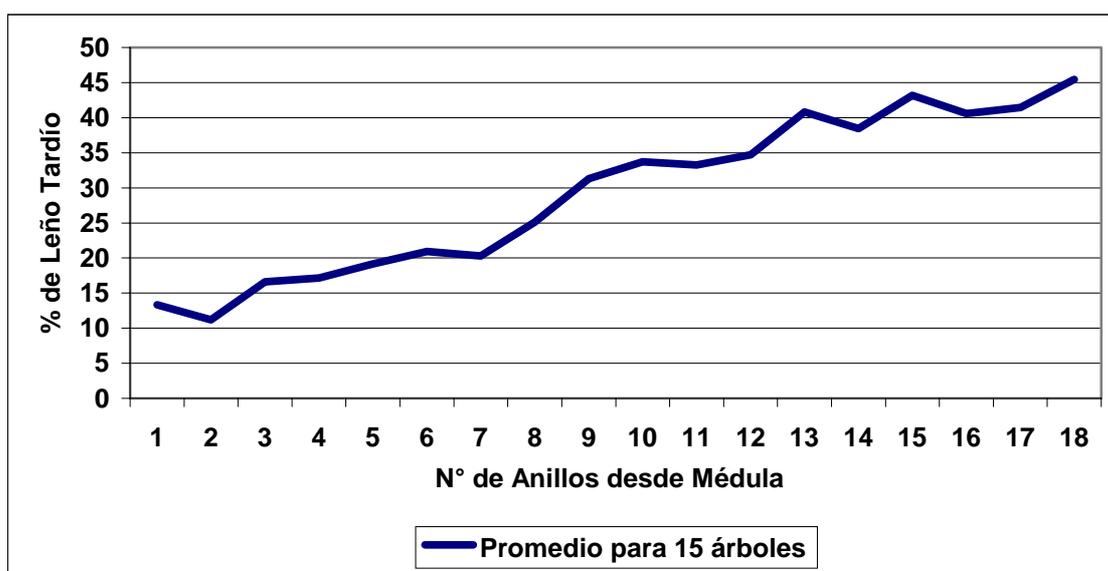
3.4. PORCENTAJE DE LEÑO TARDÍO.

Como se observa en la gráfica N°9, para el caso del porcentaje de leño tardío, se realizaron 208 mediciones encontrándose una media de 25,6 %, con valores que oscilaron entre los 5,0 y 50.3%.



Gráfica N° 9: Frecuencia de distribución de los valores encontrados y número de medidas realizadas.

Por otra parte, en la gráfica N°10, se ve el porcentaje de leño tardío promedio para los 15 árboles estudiados. El porcentaje de leño tardío aumenta a medida que nos acercamos a la corteza. Inicialmente se observa un aumento pronunciado hasta aproximadamente el anillo 9, donde comienza la zona de transición entre los dos tipos de madera. En la zona cercana a la corteza, este incremento tiende a disminuir.



Gráfica N° 10: Variación promedio del porcentaje de leño tardío desde médula a corteza para los 15 árboles estudiados.

3.5. RELACIÓN ENTRE DIFERENTES ÍNDICES

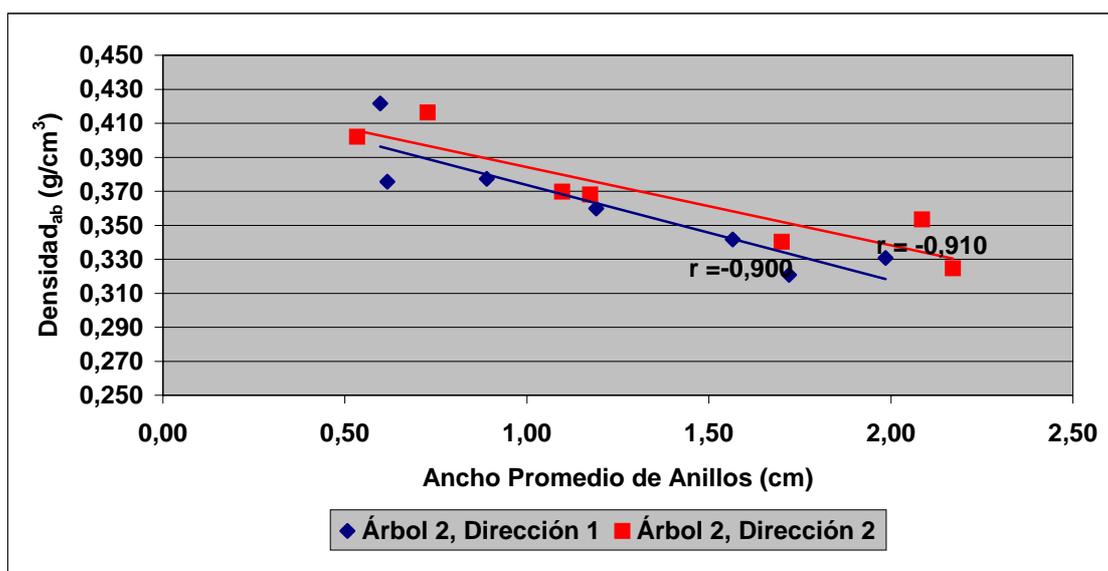
3.5.1. Relación entre ancho de anillos y densidad_{ab}.

A continuación se muestran investigaciones que sobre esta relación se han llevado a cabo. Inicialmente se muestra la relación encontrada dentro de un mismo árbol para dos diferentes direcciones radiales. Este estudio se realizó para los 15 árboles muestreados. En la gráfica N°11, se muestra a modo de ejemplo, los resultados del árbol N°2. En 13 de los 15 árboles estudiados se observó una tendencia similar, observándose correlaciones altas y negativas, o sea a mayor ancho de anillos menor densidad_{ab}.

Por otra parte, vale decir que el comportamiento para las dos direcciones radiales fue similar, por lo que en futuros estudios no será necesario realizar el ensayo en ambas direcciones, a no ser que la troza presente médula excéntrica o madera de compresión.

El hecho que los anillos más angostos presenten densidad_{ab} mayores se debe principalmente a dos razones: están constituidos por madera adulta y presentan mayor porcentaje de leño tardío.

También se observó que la probeta que contenía médula (o muy próximo a esta) presentó valores de densidad_{ab} mayores de los esperados debido seguramente a la presencia de extractivos.



Gráfica N°11: Relación entre ancho de anillos y densidad_{ab} para dos direcciones radiales dentro de un mismo árbol

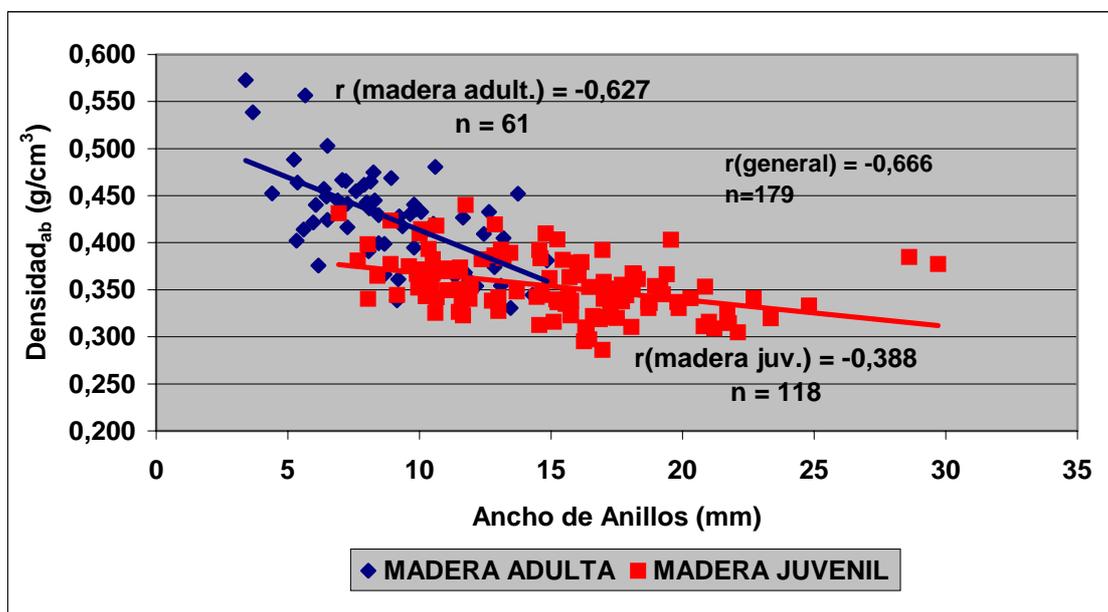
Por otra parte, en la gráfica N° 12, se puede observar los resultados de todas las mediciones realizadas y diferenciadas entre madera adulta y madera juvenil. Como era de esperar, los anillos más anchos están constituidos principalmente por madera juvenil y por lo tanto presentan menor densidad_{ab}.

También es importante observar las diferentes tendencias que presentan los valores de densidad_{ab} para madera juvenil y madera adulta. En la zona de madera juvenil se encontró mayor variación entre ancho de anillos pero menor variación en los valores de densidad_{ab}. Lo opuesto ocurre para la madera adulta.

Mediante el mejoramiento genético y los diferentes manejos silviculturales, en el futuro, se deberá intentar obtener madera adulta con ancho de anillos de más de 15

milímetros (y alta densidad) y así obtener mayor porcentaje de madera adulta por árbol cosechado.

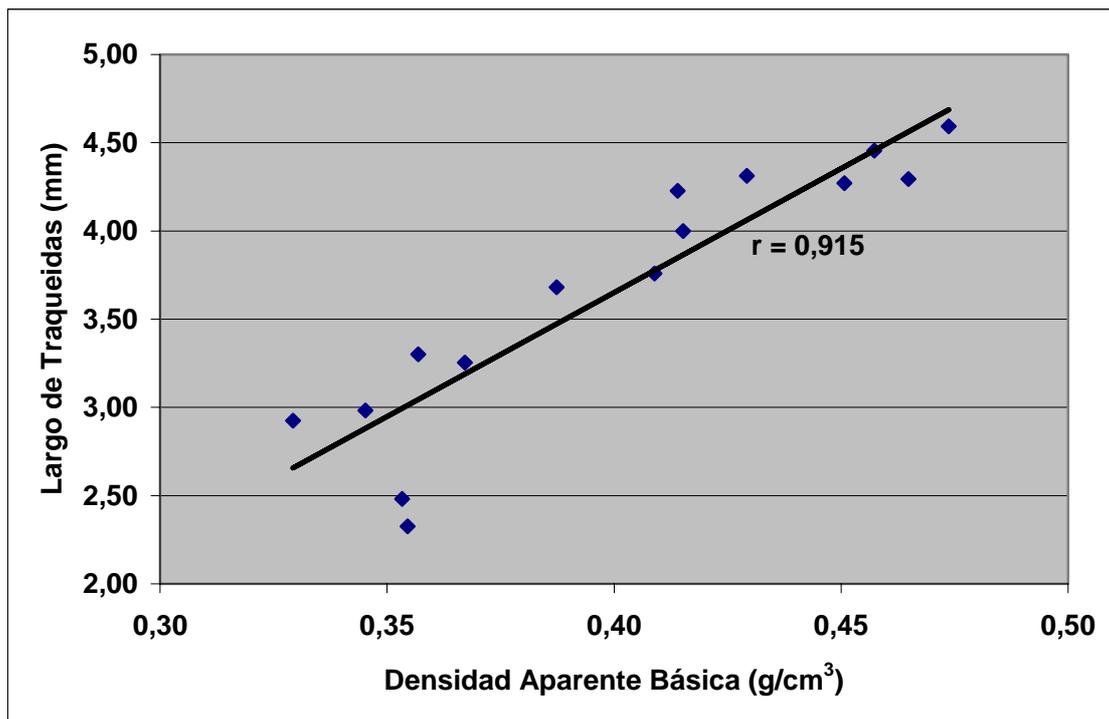
A su vez sería importante lograr un incremento del ancho de los anillos en la madera juvenil.



Gráfica N°12: Relación entre ancho de anillos y densidad_{ab} para los 15 árboles en estudio

3.5.2. Relación entre densidad_{ab} y largo de traqueidas.

Los resultados presentados en la gráfica N°13 son un promedio de los 15 árboles estudiados dónde a su vez se promediaron según el anillo de crecimiento. En esta gráfica, se observa claramente la correlación alta y positiva que se encontró entre estos dos índices de calidad de madera. O sea a mayor largo de traqueidas, mayor densidad_{ab}.

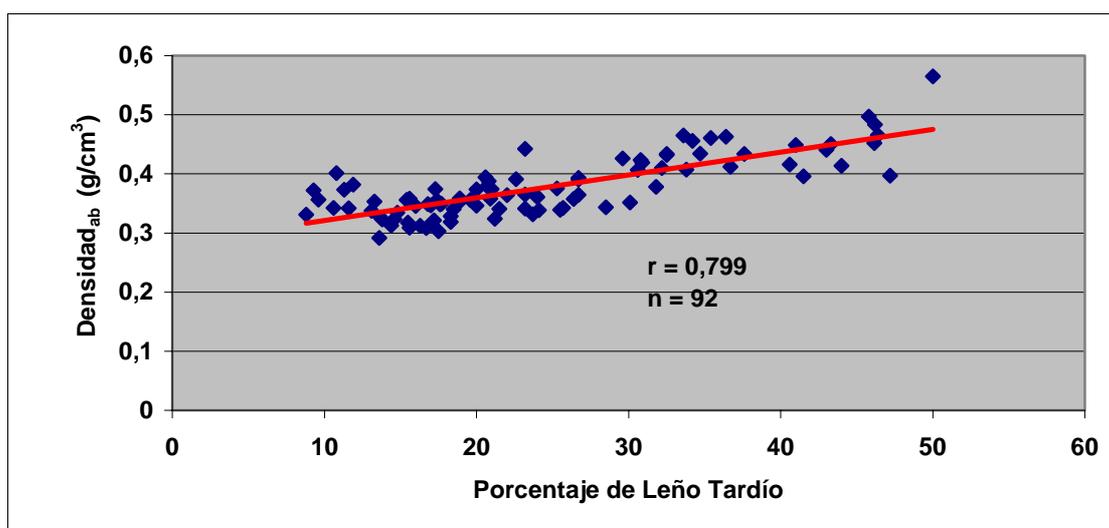


Gráfica N°13: Correlación entre la densidad_{ab} y el largo de traqueidas. Promedio de los 15 árboles.

3.5.3. Relación entre densidad_{ab} y porcentaje de leño tardío.

Como era de esperar, la correlación entre estos dos índices dio positiva ya que como se dijo anteriormente el leño tardío presenta mayor densidad_{ab} que el leño temprano, lo que implica que a mayor porcentaje de leño tardío (zona de madera adulta, cerca de corteza), mayor densidad_{ab}.

Los resultados de esta investigación se observan en la gráfica N°14:

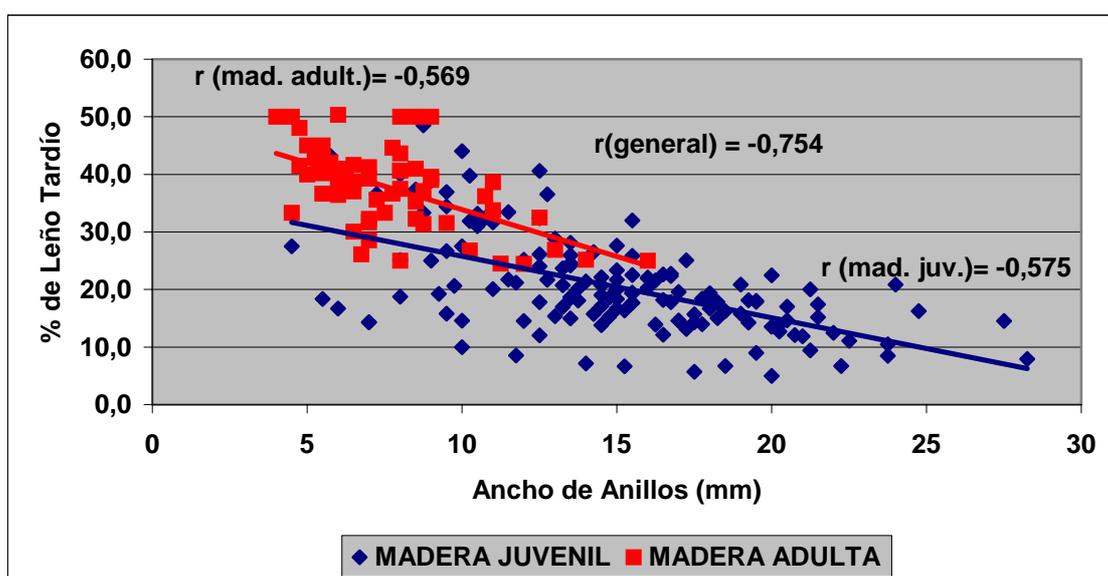


Gráfica 14: Correlación entre porcentaje de leño tardío y densidad_{ab}

3.5.4. Relación entre ancho de anillos y porcentaje de leño tardío.

En la gráfica N°15 se puede ver como se correlacionan el porcentaje de leño tardío con el ancho de anillos. A medida que nos acercamos a la corteza, encontramos anillos más angostos y con mayor porcentaje de leño tardío lo que implica madera de mayor densidad_{ab} y madera de mejor calidad. El coeficiente de correlación de los 208 puntos analizados de gráfica N°15 es de $-0,754$.

Es importante observar que para un mismo ancho de anillos (ejemplo 10 mm), generalmente la madera adulta presenta mayor porcentaje de leño tardío que la madera juvenil. Habría que estudiar en el futuro si mediante mejoramiento genético y diferentes manejos silviculturales se logra generar anchos de anillos mayores (por ejemplo de 20 milímetros) de madera adulta, con altos porcentajes de leño tardío.

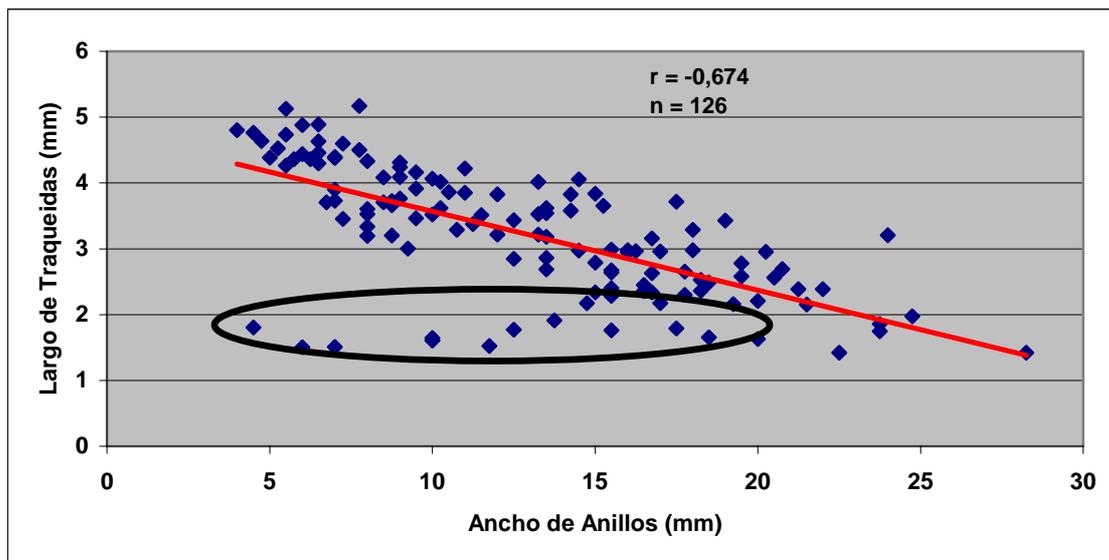


Gráfica 15: Correlación entre porcentaje de leño tardío y ancho de anillos.

3.5.5. Relación entre ancho de anillos y longitud de traqueidas.

En la gráfica N°16 se observa el coeficiente de correlación entre ancho de anillos y largo de traqueidas. Dicho coeficiente es menor que el esperado, pero analizando la gráfica se observa que los puntos que están más alejados de la línea de tendencia (círculo negro), todos corresponden a la probeta que contenía médula, por lo que el dato de ancho de anillos no sería correcto. Si se calcula el coeficiente de correlación sin estos datos, daría un valor de $-0,838$.

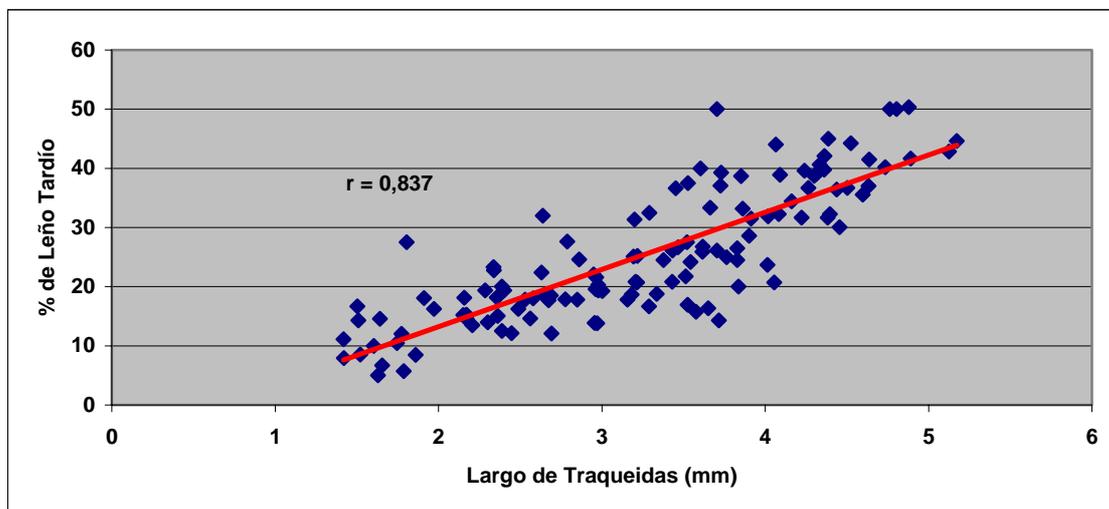
A medida que nos alejamos de la médula (menor ancho de anillos), el largo de traqueidas aumenta.



Gráfica 16: Correlación entre largo de traqueidas y ancho de anillos.

3.5.6. Relación entre porcentaje de leño tardío y longitud de traqueidas.

En la relación entre porcentaje de leño tardío y longitud de traqueidas, se obtuvo una correlación alta y positiva; o sea que a mayor porcentaje de leño tardío, mayor longitud de traqueidas.



Gráfica 17: Correlación entre largo de traqueidas y porcentaje de leño tardío.

4. CONCLUSIONES.

- 1) La gran mayoría de las relaciones analizadas entre los diferentes índices presentaron coeficientes de correlación altos. Esto posibilitaría que mediante el estudio de un indicador se pueda estimar otras características de la madera. Todos los índices estudiados son de gran utilidad para poder determinar la calidad de la madera de *Pinus taeda* de plantaciones de nuestro país.
- 2) Observando la variación dentro de los árboles de los cuatro índices estudiados, se puede decir que la calidad de la madera aumenta desde la médula a la corteza. A partir de la zona de transición (entre madera adulta y madera juvenil), encontramos madera de mejor calidad (madera adulta) y más homogénea (los índices tienden a mantenerse constantes luego de esta zona).
- 3) La zona de transición se detectó entre los anillos 8 y 12, encontrándose estos a una distancia desde la médula de entre 11 y 16 centímetros aproximadamente.
- 4) Todos los índices analizados presentaron mejores características en la zona de madera adulta que en la zona de madera juvenil.
- 5) La correlación entre los dos métodos para el cálculo de densidad aparente básica mostró un coeficiente de correlación muy alto, lo que implica que el método de infradensidad es útil para evaluar la calidad de la madera.
- 6) El efecto que los diferentes tratamientos silviculturales (preparación de sitio, espaciamiento, plantación, raleos, podas, fertilizaciones, riego, etc.) provocan en los índices de calidad estudiados, y a su vez en otras propiedades físicas y mecánicas, deberá ser investigado para así lograr productos de mayor calidad y por consiguiente de mayor precio en los diferentes mercados.
- 7) Por otra parte, este tipo de estudios se deberá tener en cuenta en el momento de planificar el manejo silvicultural que se realizará en un determinado monte, para así por ejemplo, poder lograr madera de mejor calidad (madera adulta) lo antes posible. Esta mejora de la calidad de la madera posibilitará la obtención de productos finales de mejor calidad.
- 8) Se deberá investigar la variación de estos índices en montes de otras regiones, otras edades, otras procedencias y con otros tratamientos silviculturales.
- 9) Este informe de investigación deberá servir de introducción a futuras investigaciones que tengan como objetivo la mejora en la calidad de la madera obtenida en las plantaciones de nuestro país, tanto en *Pinus taeda* como en las otras especies de prioridad forestal.

5. BIBLIOGRAFÍA.

1. Agriculture Handbook 72, *Wood Handbook*, Wood as an engineering material, USDA, 1999.
2. BAMBER, K.; BURLEY, J. / The wood properties of Radiata pine, *Commonwealth Agricultural Bureaux*, Australia 1983.
3. BOCAGE, E; BORAGNO, L; ENRIQUE, A; Madera juvenil en *Pinus taeda* cultivado en Uruguay; *Tesis final de Facultad de Agronomía*, 2000, 70 p.
4. CORONEL, E./ Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas, *Universidad Nacional de Santiago del Estero*, 1994: 187 p.
5. JOZSA, L.A.; MIDDLETON, G.R. / A discussion of wood quality attributes and their practical implications, *Forintek Canada Corp. Western Laboratory*, 1994: 42 p.
6. OHTA, S./ The mechanical properties of juvenile wood in Sugi and Hinoki, *Bulletin of the Experimental Forest of Kyushu University*, N°45, 1972, 115 p.
7. PÉREZ DEL CASTILLO, A.; DE CASTRO, R.; OHTA, S./ Ensayos de propiedades mecánicas de *Pinus taeda* por seis métodos no destructivos, *Informe de investigación N°1 LATU-JICA LATU*, 2000: 24 p.
8. TUSET, R.; DURÁN, F./ Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización, 1986. *Editorial hemisferio Sur*. 688 p.
9. URUGUAY. ALTERNATIVAS PARA LA TRANSFORMACIÓN INDUSTRIAL DEL RECURSO FORESTAL; Unidad de desarrollo sostenible y medio ambiente, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 1996, 168 p.

Laboratorio Tecnológico del Uruguay

Sector Productos Forestales

Av. Italia 6201- CP. 11500-Montevideo, Uruguay
Tel. (+598-2)601.3724 Int. 321 Fax:(+598-2)601.8554
e-mail: rdecas@latu.org.uy