

## **CASO DE ESTUDIO: ANGULO MICROFIBRILAR Y SU RELACIÓN CON LA DENSIDAD BÁSICA DE LA MADERA DE PINUS TAEDA L. CON MANEJO SILVOPASTORIL**

### **CASE STUDY: MICROFIBRIL ANGLE AND ITS RELATIONSHIP WITH BASIC DENSITY IN *PINUS TAEDA* L. WOOD FROM SILVOPASTORAL SYSTEMS**

Winck, Rosa Angela<sup>1,2</sup>, Fassola, Hugo Enrique<sup>1</sup>, Tomazello, Mario Filho<sup>3</sup>, Area, María Cristina<sup>4,5</sup>

(1) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Av. Libertador 2472 (3384). Montecarlo, Misiones, Argentina.

(2) Maestría en Ciencias de Madera, Celulosa y Papel, UNaM, Argentina.

(3) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias N°11. 13418-900. Piracicaba, SP, Brasil.

(4) Programa de Celulosa y Papel, Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1552 (3300) Posadas, Misiones, Argentina.

(5) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

#### **Resumen**

La región NE de la Argentina se caracteriza por cultivar especies forestales de rápido crecimiento con la finalidad de atender a los diferentes mercados de madera. En este sentido, los sistemas silvopastoriles han ido aumentando su participación, entre otras cosas, para obtener madera libre de nudos. Se presume que la materia prima resultante de estas plantaciones presentará un alto porcentaje de leño juvenil, gran ángulo microfibrilar (AMF) y baja densidad básica, lo cual influiría negativamente en las propiedades tecnológicas de la madera. El objetivo de este trabajo fue medir el AMF, empleando la técnica de la orientación de las puntuaciones y de los campos de cruzamiento en la pared de las traqueidas, determinar la densidad básica y verificar la correlación entre ambas variables. Se empleó madera de *Pinus taeda* de 15 años de edad proveniente de un rodal con manejo silvopastoril. Se emplearon muestras de madera de 3 posiciones radiales de la base del árbol. Las puntuaciones de las traqueidas del leño temprano presentaron una forma más redondeada y más abundante respecto a las del leño tardío. El AMF decrece de 56,2 a 42,1 grados y la densidad básica aumenta de 0,31 a 0,42 g/cm<sup>3</sup> de la médula a la corteza. Los altos valores de AMF podrían explicarse en parte por material genético, con bajo grado de mejora, y también por el gran espaciamiento entre árboles, lo que favorece su rápido crecimiento, aunque también podría deberse a la metodología empleada. Los coeficientes de correlación entre las mediciones realizadas mediante esta técnica con respecto a las obtenidas con Luz Polarizada y Difracción de rayos X son 0,83 y 0,56 respectivamente. La correlación entre AMF y densidad en este estudio es moderada y negativa ( $R = -0.59$ ), lo que indicaría que la densidad no sería un parámetro suficiente para inferir sobre la calidad estructural de la madera.

**Palabras Clave:** ángulo microfibrilar; densidad básica, sistema silvopastoriles; *Pinus taeda*; puntuaciones.

#### **Abstract**

The region NE of Argentina is characterized by the culture of fast-growing species, with the objective of serving the different markets for timber. In this regard, silvopastoral systems have been increasing their participation, among other things, for clear wood. The material resulting from these plantations is presumed to present a high percentage of juvenile wood, with high microfibril angle (MFA) and low basic density which would negatively affect the technological properties of wood. The objective of this study was to measure the AMF, using the technique of bordered and cross-field pit apertures of the tracheids walls, determine basic density and verify the correlation between the two variables. Was used *Pinus taeda* wood of 15 years old from a stand with silvopastoral management. Samples of wood from 3 radial positions of the base of the tree were used. The pit apertures of the earlywood tracheids showed to be more rounded and abundant compared to those of latewood. The MFA decreased from 56.2 to 42.1 degrees and wood density increased from 0.31 to 0.42 g/cm<sup>3</sup> from the pith to the bark. The high values of AMF could be explained by the genetic material, with low degree of breeding, and also by the wide spacing

**Corresponding author:** Winck, Rosa Angela<sup>1</sup>: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Av. Libertador 2472 (3384). Montecarlo, Misiones, Argentina Tel. +54 3751 482512. awinck@montecarlo.inta.gov.ar

between trees, which favors the fast growth, but could also be due to the employed methodology. The correlation coefficients between the measurements made by this technique with respect to those obtained by Polarized Light and X-ray diffraction methods, are 0.83 and 0.56 respectively. The correlation between MFA and density in this study is moderate and negative ( $R = -0.59$ ), indicating that the density would not be a parameter sufficient to infer about the structural quality of the wood.

**Keywords:** microfibril angle; basic density ; silvopastoral systems; *Pinus taeda*; pits

## 1. INTRODUCCIÓN

La región NE de la Argentina se caracteriza por cultivar especies forestales de rápido crecimiento con la finalidad de atender a los diferentes mercados de madera. En este sentido, los sistemas silvopastoriles han ido aumentando su participación, entre otras cosas, para obtener madera libre de nudos. Se presume que la materia prima resultante de estas plantaciones presentarían un alto porcentaje de leño juvenil, gran ángulo microfibrilar (AMF) y baja densidad básica, lo cual influiría negativamente en las propiedades tecnológicas de la madera (Brown y Mc Williams, 1990).

El AMF tiene un efecto significativo en las propiedades mecánicas, determina en gran medida la resistencia de la madera (Walker y Butterfield, 1995) y la contracción longitudinal (Donaldson, 1996), y como tal es un parámetro indicador de la calidad de productos de madera maciza (MacDonald y Hubert 2002). El AMF junto a la densidad son los indicadores más importantes de la calidad de la madera para la industria forestal y papelera (Meylan y Probine, 1969; Donaldson, 1996 y Jordan et al., 2006).

La principal razón de interés en estudiar el AMF de la pared celular en maderas de coníferas es debido a su influencia en la resistencia y en la contracción longitudinal. En maderas duras, por su relación con las tensiones de crecimiento y la contracción (Donaldson, 2008).

El AMF también se utiliza para la selección de árboles con madera de mayor resistencia (Cave, 1968, Walker y Butterfield, 1995), la inclusión de esta variable dentro de un programa de mejora, superaría a la selección por densidad (Donaldson, 1992; Walker y Butterfield, 1995; Donaldson, 1996).

La pared secundaria de las traqueidas consta de 3 capas, la S1, S2 y S3. La celulosa está dispuesta en la pared celular formando microfibrilas que proveen soporte estructural a la misma. Las microfibrilas se encuentran alineadas en hélice y el ángulo que forman con el eje de la pared celular es llamado ángulo microfibrilar (Treacy et al., 2000). Los autores Josza y Middleton (1994) definen el ángulo microfibrilar como un promedio del ángulo helicoidal (espiral) que las fibrilas de la capa S2 de la pared celular forma con el eje longitudinal de la planta.

La orientación de las puntuaciones y de los campos de cruzamiento en la pared de las traqueidas indica a menudo la alineación de las microfibrilas y ha sido empleado por varios autores para medir el AMF (Bailey y Vestal, 1937; Pillow et al., 1953; Cockrell, 1974; Senft y Bendtsen, 1985; Donaldson, 1991; Huang, 1995; Huang et al., 1997 y Wang et al., 2001).

Pese a su influencia en las propiedades de la madera, las investigaciones relacionadas al AMF son limitadas debido a lo dificultosa que resulta su medición.

El objetivo de este trabajo fue medir el AMF, empleando la técnica de la orientación de las puntuaciones y de los campos de cruzamiento en la pared de las traqueidas, determinar la densidad básica y verificar la correlación entre ambas variables.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La especie empleada en el estudio fue *Pinus taeda* de 15 años de edad, proveniente de un rodal con manejo silvopastoril, ubicado a los 26°58.81' y 55°13.44', perteneciente a la empresa Tabay S.A. Los suelos son de tipo Kandiuultes. El clima del área estudiada, según la clasificación de Köppen, es de tipo Cfa, macrotérmico, constantemente húmedo y subtropical

(Rodríguez et al., 2004). La precipitación media durante el período 1981-1990, fue de 1947 mm en Posadas, ciudad más próxima al área considerada. La temperatura media anual fue de 21,5° C (Servicio Meteorológico Nacional, 2008) para el mismo período.

El Rodal fue establecido en el año 1999, con una densidad inicial de plantación de 1666 plantas/hectárea. En el año 2000 se realizó la implantación de “pasto jesuita gigante” (*Axonopus catarinensis* (sp.nov. inéd).

El sistema silvopastoril, involucró un régimen de podas y raleos intensivos, permitiendo alcanzar a los 7 años de edad un diámetro promedio a la altura de pecho del rodal (DAP) de 25,9 cm, una altura de poda entre 8-8,5 m, y 373 plantas/ha luego de raleos perdidos y uno comercial. A partir del año 2007 se estableció un sistema de inventario permanente que permitió evaluar la evolución del recurso maderero y su respuesta al manejo silvícola. En la figura 1a se puede observar la variación en el número de plantas por hectárea y en la figura 1b la evolución del DAP. Con sistema de manejo el DAP medio del rodal a los 15 años de edad fue de 43,9 cm y una densidad final de 150 plantas/ha.

Los árboles fueron clasificados en estratos según su posición fitosociológica en suprimidos, codominantes y dominantes (Köhl et al., 2006), se apearon 6 árboles en total, 2 de cada estrato. El fuste del árbol se trozó en largos comerciales. En la tabla 1 se presentan la descripción de los 6 árboles utilizados para este estudio.

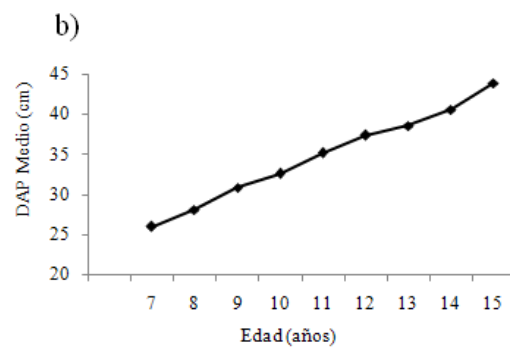
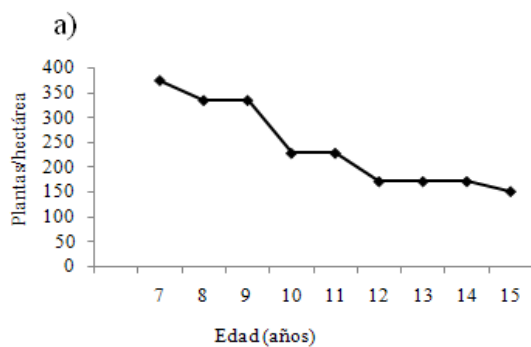


Figura 1a: Variación en el número de plantas/ha del rodal de los 7 a los 15 años de edad

Figura 1b: Evolución del DAP medio del rodal de los 7 a los 15 años de edad.

Tabla1: Datos de las variables de los árboles apeados

Nº Árbol	Dap (cm)	hbcv (m)	Ht (m)	Estrato
3	36,6	11,2	24,7	S
22	39,0	12,2	24,3	S
25	45,0	9,1	24,3	CD
20	47,0	8,8	23,5	CD
26	50,0	8,6	24,3	D
7	56,3	8,4	24,1	D

Donde Dap=diámetro del árbol a la altura de pecho, hbcv=Altura hasta la base de la copa viva del árbol, Ht=altura total, S=suprimido, CD=codominante, D=dominante.

De la base de cada árbol (a 10 cm del suelo) fueron extraídos y correctamente identificados discos de 2,5 cm de espesor. De cada uno de los discos se extrajo un listón central con largo equivalente al diámetro del mismo para evaluar el ángulo microfibrilar y la densidad básica.

### 2.1 Ángulo Microfibrilar

Del listón central se tomaron bloques de 2x2x2cm de tres sectores radiales, desde la médula hacia la corteza, que se identificaron como: interno (A: bloque inmediato a la médula), medio (B: aproximadamente al 50% del radio) y externo (C: el bloque adyacente a la corteza). Los bloques se hirvieron durante 24 horas (hasta lograr el ablandamiento del material) y posteriormente se obtuvieron cortes tangenciales longitudinales de 5mm de espesor, de tipo

“palillos”. Este material se trató en tubos de ensayos con una solución de maceración de Franklin (1:1 de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno 130 vol.), tapados con papel de aluminio y llevados a estufa a 60°C durante 30 horas (el tiempo fue modificado) para separar los elementos celulares. Luego de la deslignificación se realizó un lavado con agua destilada para extraer toda la solución. El material se colocó sobre portaobjetos y se tiñó con safranina al 1% para promover la coloración de las traqueidas y consecuentemente, facilitar la visualización de las mismas al microscopio. Una pequeña fracción de traqueidas coloreadas se transfirió con la ayuda de una aguja histológica a otro portaobjeto, agregándole media gota de glicerina y se cubrió con cubre objeto. Se confeccionaron 5 láminas temporarias por cada una de las posiciones radiales, de manera de asegurar la obtención de por lo menos 5 mediciones del AMF por lámina, con un mínimo de 25 mediciones para cada muestra.

Con el auxilio de un microscopio triocular, acoplado a una cámara digital, se fotografiaron 30 traqueidas utilizando un aumento de 400X, que fueron empleadas posteriormente para medir el AMF a través de las puntuaciones, utilizando el software UTHSCSA “Image Tool” para Windows versión 3.0 (Wilcox et al., 2002) previamente calibrado. En la fotografía de cada traqueida se midieron todas las puntuaciones, obteniéndose para cada una de las muestras más de 90 mediciones de AMF, con un total de 1.410 mediciones.

## 2.2 Densidad Básica

Sobre el listón central, desde la médula a la corteza (hacia la derecha y la izquierda), se marcaron probetas 2x2x2cm (IRAM 9544, 1973), alcanzando un total de 131 muestras. El volumen de las mismas se determinó mediante el método de desplazamiento volumétrico, aplicando el principio de Arquímedes y luego las probetas fueron llevadas a estufa a una temperatura de  $103 \pm 2$  °C hasta peso constante para estimar densidad básica (DB), aplicando la ecuación (1)

$$\text{Ecuación (1)} \quad DB = \frac{P_A}{V_S}$$

Donde DB= densidad básica ( $\text{g/cm}^3$ ),  $P_A$ =peso anhidro (g),  $V_S$  =volumen saturado ( $\text{cm}^3$ ).

Para el análisis estadístico, las probetas fueron agrupadas en tres secciones relativas a la longitud radial. La sección interna (A) de 0-33% del radio, media (B) de 33,1 a 67% y externa (C) de 67,1 a 100% del radio.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al observar las microfotografías de las traqueidas (figura 2a y 2b), podemos percibir que en las traqueidas obtenidas de la sección interna las puntuaciones son más abundantes y de forma redondeada, en cambio, en las traqueidas de la sección externa son más escasas y con forma alargada.

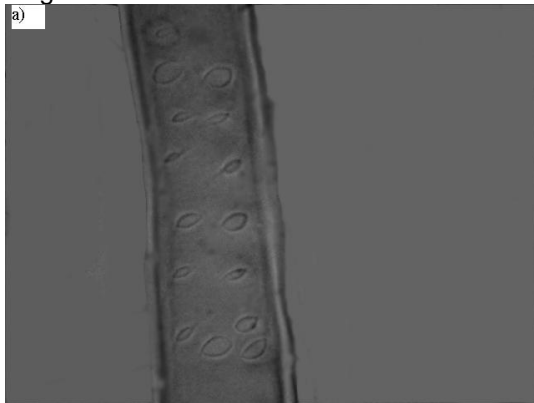


Figura 2a: árbol 22-sección A. Aumento 400X

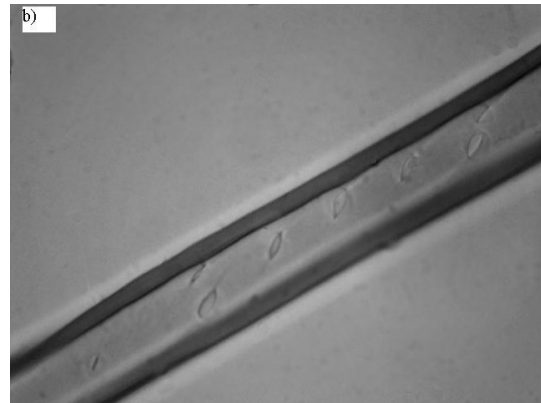


Figura 2b: árbol 22-sección C. Aumento 400X

En el caso particular del árbol 25 se observó un comportamiento diferente, es decir, las puntuaciones de las traqueidas de la sección externa fueron mayores que las puntuaciones de las traqueidas de la sección interna. Dado que las muestras de las traqueidas fueron tomadas al azar, sin separar dentro del anillo de crecimiento, en leño temprano y tardío, esto podría deberse a que la figura 3a correspondiera a una traqueida del leño tardío en la sección interna y la figura 3b a una traqueida de leño temprano de la sección externa. Sin embargo, este árbol

también presentó un mayor AMF promedio (figura 4a) y menor DB promedio (figura 4b) con respecto a los otros árboles.

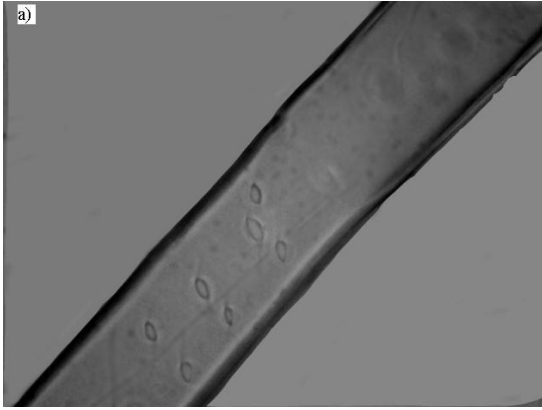


Figura 3a: árbol 25-sección A. Aumento 400X

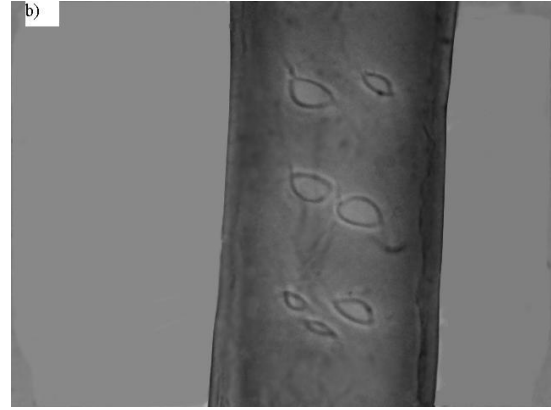


Figura 3b: árbol 25-sección C. Aumento 400X

El AMF decrece desde la médula a corteza, con valores promedios de  $56,24^\circ$ ,  $54,62^\circ$  y  $42,06^\circ$  para la sección interna (A), media (B) y externa (C) respectivamente (figura 5), siendo las 3 secciones estadísticamente diferentes para un nivel de confianza del 95%. El decrecimiento radial en el valor del AMF también fue señalada por otros autores (Megraw, 1985; Herman et al., 1999; Larson et al., 2001; Jones et al., 2005), valores similares para *Pinus taeda* fueron encontrados por Huang et al. 1997.

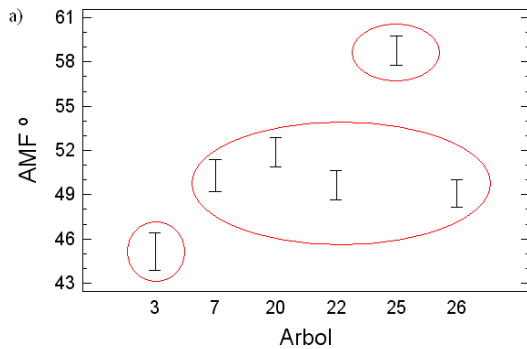


Figura 4a: Variación del AMF para los 6 árboles empleados en el estudio.

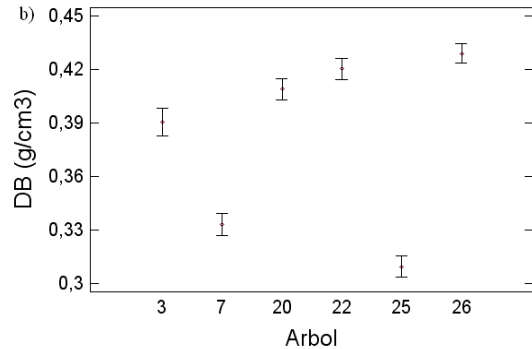


Figura 4b: Variación de la BD para los 6 árboles empleados en el estudio

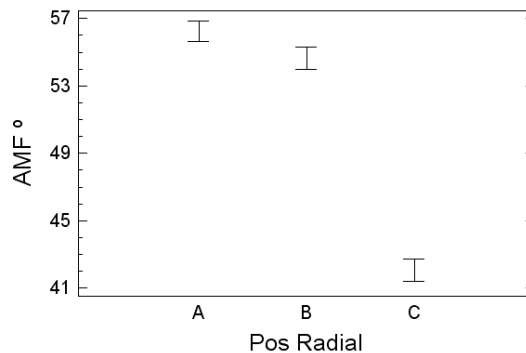


Figura 5: Variación radial del AMF medio, sección A, B y C.

Los resultados podrían estar indicando que la madera está compuesta apenas por leño juvenil. Bendtsen (1978), Senft et al. (1985) y Ballarín (2003), al comparar la madera juvenil con la madura, afirman que los ángulos microfibrilares de la capa S2 y otros caracteres como el diámetro del lumen, el contenido de lignina, el leño de reacción y la contracción longitudinal son mayores en madera juvenil. Sin embargo el largo de traqueidas, el espesor de pared celular, el contenido de celulosa, la densidad, la resistencia y la rigidez son mayores en la madera madura.

Por otro lado dado, Jankowski (1979), considera que a mayor ángulo microfibrilar mayor contracción longitudinal, disminuyendo desde la médula hacia la corteza, siendo ese cambio acentuado en la región de madera juvenil y gradual en la madera madura. Vidaurre et al. (2011) sostienen que la contracción longitudinal en madera juvenil puede ser un 9% superior (o más) que en la madera madura, lo que puede afectar la estabilidad dimensional de los productos constituidos con ese tipo de madera. Además de favorecer la aparición de torceduras, rajaduras y grietas, durante y después del aserrado.

La orientación de las microfibrillas en la capa S2 de la pared celular de la traqueida de madera juvenil varía ampliamente dentro y entre los diferentes árboles (Megraw, 1985). En la figura 4a se puede observar que, a pesar de que los 6 árboles empleados en el estudio han recibido igual tratamiento silvícola, el individuo 3 presenta menor AMF promedio y una densidad media relativamente alta (figura 4b) respecto a los demás individuos, mientras que el árbol 25 presenta mayor AMF promedio (figura 4a) y una menor densidad media (figura 4b). En la figura 4a podemos visualizar que el valor medio para el AMF forma 3 grupos, el árbol 3 con menor AMF, el árbol 25 con mayor AMF y los 4 árboles restantes se ubican entre estos valores. Entonces podríamos sugerir que el árbol 3 sería el mejor ejemplar debido a su menor AMF y buena densidad, presentaría la madera de mayor resistencia, más estable estructuralmente, con menores contracciones longitudinales, mayor rendimiento en el pulpado y con fibras de mejor calidad. En este sentido, este árbol sería potencialmente el mejor para la selección genética. El árbol número 25 proporcionaría madera de calidad inferior con respecto al resto.

Si bien los valores de AMF en todas las secciones son muy elevados, indicando que se trataría de madera juvenil en todos los casos, es notable la disminución radial del AMF entre la sección interna y la externa (figura 5).

La estabilización del AMF indica la finalización del período juvenil y de una importante mejora de las propiedades de la madera desde el punto de vista tecnológico (Gorisek y Torelli, 1999). Bendtsen y Senft (1986) reportaron que los ángulos microfibrilares de *Pinus taeda* no habían alcanzado todavía valores estables a los 30 años de edad.

Jones et al. (2005) a los efectos de caracterizar la madera de *Pinus taeda* de edades comprendidas entre los 21 y 26 años, provenientes de diferentes sitios y regiones fisiográficas determinaron el AMF a través de espectroscopia NIR (Near infrared) obteniendo los valores 10,98°; 45,21° y 26,64° de mínimo, máximo y media respectivamente. Posteriormente Schimleck et al. (2007), aumentando el tamaño de la muestra obtuvieron para la misma especie valores de AMF de 9,6°; 51,0° y 26,3° de mínimo, máximo y media respectivamente. Por otro lado Donaldson (2008) menciona que varios autores concuerdan en que el AMF promedio de la capa S2 de la madera madura de coníferas se encuentra entre 5 y 20° respecto al eje de la fibra, sin embargo señala que la madera juvenil presenta AMF entre 25° a 35° en promedio. Valores de 50° en anillos más próximos a la médula fueron reportados por Megraw (1985), Bendtsen y Senft (1986), particularmente en la base de los árboles, contribuyendo a una baja resistencia en los rollos basales. Valores similares fueron encontrados por Jordan et al. (2006) y por Isik et al. (2008).

Según Macdonald y Hubert (2002) los árboles con espaciamientos amplios tienden a poseer, entre otras características, menor densidad media, mayor ángulo fibrilar, lo que resulta en madera aserrada de propiedades mecánicas inferiores y menor estabilidad dimensional. Los altos valores de AMF encontrados en este trabajo podrían explicarse en parte, por el material genético utilizado, con bajo grado de mejora y por el gran espaciamiento entre árboles, lo que favorece su rápido crecimiento. Sobre esta base, las prácticas silviculturales que minimicen el valor de AMF, acompañadas de una apropiada selección del material genético, tal vez sería la estrategia más adecuada para evitar efectos indeseables en la madera causados por altos valores de AMF, contribuyendo a la mejora de las propiedades de la madera.

Los elevados valores de AMF obtenidos en este trabajo también podrían deberse a la metodología empleada. Huang et al. (1997), menciona que empleo de las puntuaciones de las traqueidas para estimar AMF tiende a sobrestimar el AMF de las traqueidas de la madera temprana. Senft y Bendtsen (1985) consideran que esta metodología presenta la desventaja de

que las puntuaciones no siempre se pueden encontrar en cantidades suficientes o en puntos específicos para satisfacer las necesidades del investigador. En algunas zonas puede presentarse un número relativamente elevado de puntuaciones fácilmente observables y en otras pueden observarse esporádicamente o pueden estar ausentes. En algunas especies las puntuaciones directamente no son visibles. En este estudio, trabajando con *Pinus taeda*, se presentan abundantes puntuaciones en algunas traqueidas y en menor cantidad en otras; lo que nos permitiría inferir que las primeras pertenecen al leño temprano y la segunda al leño tardío respectivamente

Esta metodología, a pesar de sus limitaciones, es de fácil aplicación, no requiere de gran inversión y permite evaluar rápidamente la orientación de las microfibrilas en la capa S2 de pared secundaria de la madera de *Pinus taeda*. Se estima que podría no ser recomendable esta técnica para medir AMF en especies de latifoliadas.

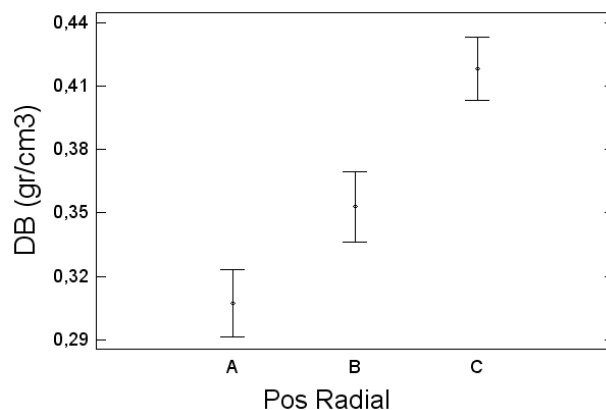
Huang *et al.* (1997) hizo determinaciones de AMF de *Pinus taeda* con diferentes técnicas de medición. En la tabla 2 se presentan los coeficientes de correlación entre los valores de AMF determinado con diferentes técnicas.

**Tabla 2: Coeficientes de correlación entre los valores de AMF determinado con diferentes técnicas**

	Puntuaciones de la capa S <sub>2</sub> de la pared 2º de las Traqueidas
Luz Polarizada	0,83
Técnica lodo (Cortes con Micrótopo)	0,71
Técnica lodo (Macerados)	0,78
Ultrasonido	0,79
Difracción de Rayos X	0,56

Fuente: Huang *et al.* (1997)

La DB de la madera varía entre árboles (figura 4b) y aumenta en sentido radial (figura 6), con valores promedios de 0,31, 0,35 y 0,42 g/cm<sup>3</sup> en las secciones A, B y C respectivamente, siendo estadísticamente significativa las diferencias entre estos valores, para un nivel de confianza del 95%. Este patrón es comparable con otros estudios (Megraw, 1985; Muñiz-Bolzon, 1993; Pereyra y Gelid, 2002; Weber, 2005; Von Wallis *et al.*, 2007).



**Figura 6: Variación de la DB media según las posiciones radiales A, B, C**

Además la DB puede ser afectada por la composición química de las células, el ancho de la pared celular, el diámetro de las células y el porcentaje de leño temprano y tardío. Por otra parte, la DB está directamente relacionada con el porcentaje de leño tardío y aumenta radialmente hacia la corteza. Este comportamiento se da tanto en árboles de crecimiento lento como rápido.

La correlación entre AMF y DB en este estudio moderada y negativa ( $R = -0.59$ ), siendo significativa para un nivel de confianza del 95% ( $p\text{-valor} = 0,0095$ ), lo que indicaría que la DB no

sería un parámetro suficiente para inferir sobre la calidad estructural de la madera, dado que un 41% de la variación en AMF no es explicada por esta variable.

Isik et al. (2008), sostiene que la DB actúa como un predictor variable y explica el 36% de la variación en el AMF. Para valores elevados de AMF y valores bajos de DB en *Pinus taeda*, la relación entre ambas variables es débil, mientras que mejora para valores de DB superiores a 500 kg/m<sup>3</sup> (Schimleck et. al, 2007).

#### 4. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se concluye que en los árboles de *Pinus taeda* evaluados, el AMF disminuye desde la médula a la corteza y la DB aumenta en el mismo sentido.

Los resultados encontrados para el AMF pueden ser preocupantes ya que árboles con valores altos de ángulos microfibrilares presentan altos valores de contracción longitudinal. Esta última propiedad favorece la aparición de defectos, tales como torceduras, encorvaduras, rajaduras y grietas antes, durante y después del procesamiento mecánico de la madera como así también dificulta el proceso de secado.

Existe una relación moderada y negativa entre el AMF y la DB, por lo que estas propiedades, acompañadas de otros caracteres de la madera (espesor de pared, largo de fibra, proporción de leño temprano y tardío, madera juvenil y madura podrían ser excelentes indicadores de la calidad de la madera.

Dado que estos estudios son incipientes para materiales de nuestra zona, se deben realizar nuevos experimentos con *Pinus taeda*, provenientes de otros sistemas de manejos, de material genético mejorado y de mayores edades.

#### 5. AGRADECIMIENTOS:

Se agradece a Eduardo DeCoulon por facilitarnos su propiedad para la instalación de parcelas permanentes. Al Ing. Nahuel Pachas, quien realizó oportunamente la instalación de dichas parcelas de donde obtuvimos la materia prima, a los alumnos de maestría y doctorado en Tecnología de la Madera de la Escuela Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Mariana, Vinicios y Tasio por su colaboración en tareas de laboratorio y preparados microscópicos.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, I.W. and Vestal, M.R. "The Orientation of cellulose in the secondary wall of tracheary cells". *J. Arnold Arb* 18: 185-195. (1937).
- Bendtsen, B.A. "Properties of wood from improved and intensively managed trees". *Forest Products Journal* 28 (10):61-72. (1978).
- Bendtsen, B.A.; and Senft, J.F. "Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine". *Wood and Fiber Science*. 18 (1): 23-38 (1986).
- Brown, M.J.; Mc Williams, W.H. "Pine stands across the South - trends and projections", In: *Proceedings of the Southern Plantation Wood Quality Workshop; 1989; Athens*. Asheville: Southeastern Forest Experiment Station, United States Department of Agriculture. pp. 1-15. (1990).
- Cave, I.D."Anisotropic elasticity of the plant cell wall". *Wood Science and Technology*. 2: 268-278. (1968).
- Cockrell, R. A. "A comparison of latewood pits, fibril orientation and shrinkage of normal and compression wood of giant sequoia". *Wood Sci. Technol.* 6: 58. (1974).
- Cown, D.J.; Young, G.D.; and Burdon, R.D. "Variation in wood characteristics of 20 year old half sib families of *Pinus radiata*". New Zealand. *Journal of Forestry Science* 22(1): 63-76. (1992).
- Donaldson, L.A. "The use of pit apertures as windows to measure microfibril angle in chemical pulp fibres". *Wood Fibre Sci.* 23: 290 - 295. (1991).
- Donaldson, L. A. "Within and between tree variation in microfibril angle in *Pinus radiata*". *New Zealand Journal of Forestry Science*. 22(1):77-86. (1992).
- Donaldson, L. A. "Effect of Physiological Age and Site on Microfibril Angle in *Pinus radiata*". *IAWA Journal*. 17(4):421-429. (1996).
- Donaldson, L. A. "Microfibril angle: measurement, variation and Relationships – a review". *IAWA Journal*, Vol. 29 (4), 345–386. (2008).
- Gorisek, Z. y Torelli, N. "Microfibril angle in juvenile, adult and compression wood of spruce and silver fir". *Department of Wood Science and Technology*. Vol. 39. Fasc. 3. P 129 - 132 (1999).



- Herman, M.; Dutilleul, P. and Avella-Shaw, T. "Growth rate effects on intra-ring and inter-ring trajectories of microfibril angle in Norway spruce (*Picea abies*)". *IAWA J.* 20: 3-21. (1999).
- Huang, C.L. "Revealing fibril angle in wood sections by ultrasonic treatment". *Wood Fibre Sci.* 27: 49-54. (1995).
- Huang, C.L.; Kutscha, N.P.; Leaf, G.J.; and Megraw, R.A. "Comparison of microfibril angle measurement techniques". In: B.G. Butterfield (ed.), *Microfibril angle in wood: 177-205. IAWA and IUFRO*, Christchurch, New Zealand. (1997).
- IRAM 9544. "Norma para métodos de determinación de densidad aparente en maderas". *Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.* 6 p. (1973).
- Isik, F.; Gumpertz, M.; Li, B.; Goldfarb, B.; Sun, X. "Analysis of cellulose microfibril angle using a linear mixed model in *Pinus taeda* clones. *Can. J. For. Res.* Vol. 38: p.1676-1689 (2008)
- Jankowsky, I.P. "Madeira juvenil: formação e aproveitamento industrial". *Circular Técnica IPEF*, Piracicaba, v.81, p. 1-18, (1979).
- Jones, P.D.; Schimleck, L.R.; Peter, G.F.; Daniels, R.F. and Clark, A.III. "Nondestructive estimation of *Pinus taeda* L. wood properties for samples from a wide range of sites in Georgia". *Can. J. For. Res.* 35: 85-92 (2005).
- Jordan, L.; Hall, D. B.; Clark, A. III; Daniels, R. F. "Variation in loblolly pine cross-sectional microfibril angle with tree height and physiographic region". *Wood and Fiber Science*, 38(3), pp. 390-398. (2006).
- Jozsa, L.A.; Middleton, G.R. "A discussion of wood quality attributes and their practical implications". *Special publication No SP-34. Forintek Canada Corp. Vancouver. B.C.*, 42p. (1994).
- Köhl, M.; Magnussen, S.; Marchetti, M. *Sampling Methods. "Remote Sensing and GIS". Multiresource Forest Inventory.* Ed. Springer. Berlin. Heidelberg. Serie Tropical Forestry. p. 17-69. (2006).
- Lara Palma HA, Ballarin AW. "Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L". *Scientia Forestali* (64): 13-22. (2003).
- Larson, P. R.; Kretschmann, D.E.; Clark, A III.; and Isebrands, J. G. "Formation and properties of juvenile wood in southern pines: A synopsis". Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. *USDA, Forest Serv.*, Forest Prod. Lab, Madison, WI. 42 pp. (2001).
- Macdonald, E., and J. Hubert. "A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka spruce". *Forestry* 75 (2):107-138. (2002).
- Megraw, R. A. "Wood Quality Factors in Loblolly Pine", The influence of tree age, position in tree, and cultural practice on wood specific gravity, fiber length, and fibril angle. *TAPPI PRESS.* Printed in the United States of America. Copyright (1985).
- Meylan, B.A.; Probine, M.C. "Microfibril angle as a parameter in timber quality y assessment". *Forest Products Journal.* 19 (4): 30-33. (1969).
- Muñiz Bolzon, G. "Caracterización e desenvolvimento de Modelos para estimar as propiedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L". Tese doutoral em *Ciências Florestais.* Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 252 pp. (1993).
- Pereyra, O. y Gelid, M. "Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* para plantaciones de Misiones y norte de Corrientes". *Revista Floresta* 33 (1) 3 – 19. (2002).
- Pillow, M.Y., Terrell, B.Z. and Hiller, C.H. "Patterns of variation in fibril angles in loblolly pine". *USDA Forest Service FPL Report no. D1935.* (1953).
- Rodriguez, M. E. Cardozo, A.; Ruiz Díaz, M.; Prado, D. E "Los bosques nativos misioneros: estado actual de su conocimiento y perspectivas". Disponible en: *Ecología y Manejo de los Bosques de Argentina.* Ed.: Arturi M.; Frangi J.; Goya. J. EDULP. La Plata. p. 3-33. (2004).
- Schimleck, L.R.; Tyson, J.A.; Jones, P.D.; Peter, G.F.; Daniels, R.F. and Clark III, A. " *Pinus taeda* L. wood property calibrations based on variable numbers of near infrared spectra per core and cores per plantation". *Near Infrared Spectrosc.* 15, 261-268 (2007).
- Senft, J.F.; Bendtsen, B.A. "Measuring microfibrillar angles using light microscopy", *Wood and Fiber Science*, 17(4), pp. 564-567. (1985).
- Senft, J.F.; Bendtsen, B.A. Galligan WL. "Weak wood". *Journal of Forestry.* (83):476-485. (1985).
- Servicio Meteorológico Nacional. Datos Estadísticos. "Período 1981-1990. Ciudades de Iguazú y Posadas". (2008). Disponible en: <<http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Posadas>; <http://www.smn.gov.ar/?mod=clima&id=30&provincia=Misiones&ciudad=Iguazú>> Acceso en: 09 de abril de 2012.
- Treacy, M.; Evertsen, J.; Ní Dhubháin, A. "A Comparison of Mechanical and Physical Wood Properties of a Range of Sitka Spruce Provenances". David Nevins. Chairman. *COFORD.* September (2000).

- Vidaurre, G., Lombardi, L.R., Oliveira, J. T. da S., Chaves Arantes, M.D. "Lenho Juvenil e Adulto e as Propriedades da Madeira" *Floresta e Ambiente*. 18(4):469-480. (2011). Disponible en: [http://www.floram.org/volumes/vol18%20n4-2011/Vol18\\_no4\\_469A480.pdf](http://www.floram.org/volumes/vol18%20n4-2011/Vol18_no4_469A480.pdf) (acceso: 31-05-12).
- Von Wallis, A.; Martiarena, R.; Pinazo, M. A. "Densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L. Marion en función de la densidad arbórea del rodal y posición transversal en el fuste". *III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales*. IBEROMADERA. 9 páginas. Publicado en cd de actas. (2007).
- Walker, J.C.F. y Butterfield, B.G. "The Importance of Microfibril Angle for the Processing Industries". *New Zealand Forestry*. 4(4):34-40. November (1995).
- Wang, H.H.; Drummond, J.G.; Reath, S.M.; Hunt, K.; Watson, P.A. "An improved fibril angle measurement method for wood fibres". *Wood Sci. Technol.* 34: 493-503. (2001).
- Weber, M. E. "Densidad básica de la madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina". *Revista FLORESTA*. v. 35, n. 3. Páginas 487 – 494. (2005).
- Wilcox CD, Dove SB, McDavid, WD and Greer DB. "UTHSCSA Image Tool". (2002) Disponible en: <http://compdent.uthscsa.edu/dig/itdesc.html>. Acceso: Mayo (2012).