

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMIA



MADERA JUVENIL EN *Pinus elliottii* (Engelm),  
CULTIVADO EN URUGUAY

por

FACULTAD DE AGRONOMIA



DEPARTAMENTO DE  
DOCUMENTACION Y  
BIBLIOTECA

Juan Fadrique MAC GREGOR PORTA

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2003

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor agradece a los ingenieros agrónomos: Carlos Mantero, Luis Soria, Estela Priore, Luis Gallo y Rafael Escudero.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS, GRAFICOS Y FIGURAS .....	V
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISION BIBLIOGRAFICA</b> .....	<b>3</b>
2.1. FORMACION DE LA PARED CELULAR .....	3
2.2. EFECTOS AMBIENTALES .....	4
2.2.1. Densidad de plantación .....	4
2.2.2. Locación Geográfica .....	5
2.3. EFECTOS SILVICULTURALES .....	5
2.3.1. Raleo .....	5
2.3.2. Poda .....	5
2.4. MADERA JUVENIL .....	6
2.5. ANGULO MICROFIBRILAR .....	7
2.5.1. Variación del ángulo microfibrilar .....	8
2.5.2. Propiedades de la madera y ángulo microfibrilar .....	9
<b>3. MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>10</b>
3.1. INTRODUCCION .....	10
3.2. DESCRIPCION DE LA ESPECIE .....	10
3.3. TRABAJO DE CAMPO .....	11
3.3. TRABAJO DE GABINETE .....	11
3.4. PROCESAMIENTOS DE LOS DATOS .....	15
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>16</b>
4.1. ANALISIS DE DATOS .....	17
4.1.1. Análisis para altura 1.3 metros .....	17
4.1.2. Análisis con altura como factor y sin considerar anillo 35 .....	19
<b>5. DISCUSION</b> .....	<b>22</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>23</b>
<b>8. SUMMARY</b> .....	<b>25</b>
<b>9. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>26</b>
<b>10. ANEXOS</b> .....	<b>29</b>

## LISTA DE CUADROS, GRAFICOS Y FIGURAS

	Página
<b>Cuadro N°1.</b> Angulo Microfibrilar promedio por anillo según tratamiento.....	16
<b>Cuadro N°2.</b> Análisis de varianza: Altura 1.3 metros .....	17
<b>Cuadro N°3.</b> Análisis de varianza .....	19
<b>Cuadro N°4.</b> Angulo microfibrilar promedio por anillo según tratamiento y sus promedios.....	20
<b>Grafico N° 1.</b> Características de la madera en función del tiempo.....	4
<b>Grafico N°2.</b> Angulo microfibrilar con poda y sin poda en altura 1.3 metros.....	18
<b>Grafico N°3.</b> Angulo microfibrilar sin poda según altura.....	19
<b>Grafico N°4.</b> Angulo microfibrilar con poda según altura .....	21
<b>Figura N° 1.</b> Esquema del procedimiento. ....	12
<b>Figura N° 2.</b> Esquema de obtención de medidas.....	13
<b>Figura N° 3.</b> Foto sección de traqueada anillo 20 de árbol sin poda.....	14
<b>Figura N° 4.</b> Foto sección de traqueada anillo 5 de árbol sin poda.....	14

## 1. INTRODUCCION

Crecimiento acelerado y alta productividad son los objetivos fundamentales que se desean en la mayoría de los medios de producción. La forestación con el género *Pinus* no escapa a esta regla y se deben tomar medidas para alcanzar dichas metas.

Sin embargo, al tratarse de entidades biológicas, se debe realizar un exhaustivo estudio para conocer los mecanismos de desarrollo y como poder influenciarlos sin sufrir consecuencias negativas. Por lo tanto a través de los años se ha ido estudiando más a fondo las características que determinan las propiedades del desarrollo de los árboles y con esto las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

La calidad de la madera puede ser definida como atributos que la hacen valiosa para determinado uso final. La densidad de la madera y el ángulo microfibrilar de la capa S2 de la pared celular han demostrado ser determinantes de la calidad de la madera.

El peso específico puede ser afectada por el ancho de la pared celular, el diámetro de las células, el leño temprano y tardío, el contenido químico de las células, etc. Esta propiedad de la madera se ha estudiado en profundidad en trabajos anteriores.

El criterio más utilizado para la evaluación de la calidad de la madera es el peso específico. Expresa la cantidad de madera que se encuentra en un determinado volumen. El peso específico se ha utilizado como predictor de la calidad y propiedades mecánicas de la madera y los diferentes estudios que se han realizado intentan encontrar relación entre condiciones de crecimiento y esta propiedad física.

Al comienzo, los investigadores suponían que las maderas de lento crecimiento, con anillos angostos, eran superiores en calidad a aquellas que se desarrollan más rápidamente. Muchos de estos estudios estaban basados en ensayos realizados en bosques naturales y plantaciones de alta densidad en Europa (Larson, 1962) y en Estados Unidos (Paul 1930, 1932). Estos estudios fueron revocados en 1950 cuando los investigadores en Africa del Sur y Australia, comenzaron a analizar madera de rápido crecimiento, en plantaciones de menores densidades. Las investigaciones arrojaron que el ancho de los anillos *per se*, no es un criterio valido para evaluar la calidad de la madera.

El porcentaje de leño tardío, que está directamente correlacionado con el peso específico, se incrementa radialmente hacia afuera de la médula. Este crecimiento se da tanto en árboles de crecimiento lento como rápido. Sin embargo esta correlación aunque es inherente no es invariable, ya que puede ser afectada por factores del entorno y silviculturales.

El ángulo microfibrilar viene siendo estudiado en diferentes especies y sitios geográficos, y sería importante analizarlo en la especie *Pinus elliottii*, presente en Uruguay.

Como se ha observado en trabajos anteriores (Donaldson,1996) el ángulo microfibrilar de la capa S2 es uno de los determinantes de las propiedades mecánicas de la madera, aumentando el módulo de elasticidad y módulo de ruptura a medida que este disminuye, así como también un importante impacto en las propiedades del papel.

Walker y Butterfield (1994) encontraron que el ángulo microfibrilar tiene una fuerte influencia en la rigidez de la madera. Meylan y Probine (1969) también concluyeron que el ángulo microfibrilar de la capa S2 de la pared celular es el principal indicador de la calidad maderera.

Estos estudios y los posteriores que se realicen contribuirán en la selección de árboles con madera de mayor rigidez (Walker y Butterfield, 1996 ; Cave, 1968).

Con el ángulo microfibrilar hay más variación en las características de la madera juvenil que en la madera adulta y por lo tanto la selección sería más beneficiosa (Walker y Butterfield, 1996).

También se ha sugerido que la selección por ángulo microfibrilar sería un método que superaría la selección por densidad para obtener mayor calidad (Walker y Butterfield, 1996; Donaldson, 1992; Donaldson, 1996).

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. FORMACION DE LA PARED CELULAR

La madera es producida por el cambium, zona de división celular que se encuentra entre la madera propiamente dicha y la corteza más interna. La división y diferenciación celular está regulada por procesos fisiológicos originados en las hojas. Por lo tanto las características de la madera estarán determinadas por el tamaño, distribución y eficiencia de los órganos foliares. Estos a su vez están afectados por las condiciones de crecimiento como son la temperatura, el espacio para su desarrollo, la humedad, la disponibilidad de nutrientes, etc.

En las especies del género *Pinus*, el comienzo de la actividad del cambium en la primavera (finalización de la dormancia) es dependiente de la temperatura. En este momento se genera el denominado leño temprano. La transición a leño tardío coincide con la disminución de la humedad del suelo, por lo tanto en verano es cuando se produce dicho leño.

La pared celular de las traqueidas, posee determinadas propiedades que estarán determinando las propiedades de la madera. Dentro de las características más importantes están el ancho de las paredes y el lumen que posean estas células.

La formación de las traqueidas es influenciada por el efecto de la temperatura, la intensidad de la luz y la longitud del día. El diámetro del lumen esta fuertemente afectado por la producción de hormonas, en verano la producción de hormonas disminuye provocando la formación de células de lumen estrecho.

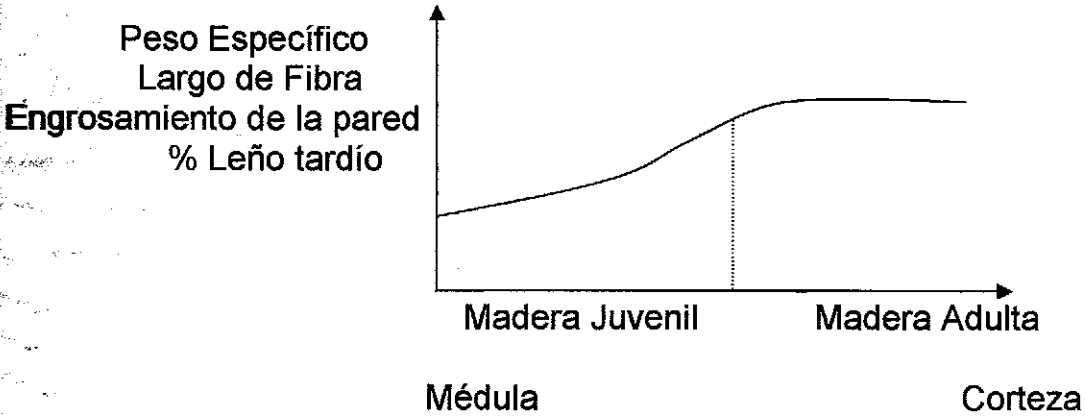
El engrosamiento de las paredes es regulado por los procesos de fotosíntesis. Al comienzo del verano, la producción de fotosintatos a cargo de los brotes de años anteriores es usada principalmente para el crecimiento de nuevos brotes.

Mas tarde en esta estación los fotosintatos producidos por viejos y nuevos brotes se encuentran disponibles para la formación de madera, es en este momento que se produce el engrosamiento celular típico del leño tardío (Larson 1964; Gordon y Larson 1970). El ensanchamiento de las paredes, además de ser mayor en el leño tardío, se incrementa desde la médula hacia el cambium.

Como se señalo en párrafo anterior el engrosamiento de la pared celular y la expansión del lumen celular esta regulado por diferentes procesos fisiológicos, los cuales pueden variar independientemente, esta variación es la responsable de la formación de leño juvenil.

El gráfico N° 1, simplifica las características que se han señalado y la evolución de ciertas características de la madera que van a estar ligadas al desarrollo de la misma.

**Gráfico N° 1. Características de la madera en función del tiempo**



## **2.2. EFECTOS AMBIENTALES**

### **2.2.1. Densidad de plantación**

La regulación de la densidad es una de las herramientas más poderosas con las que cuenta el silvicultor para el control de la formación de la madera.

En el manejo de las plantaciones, la densidad es determinada por la densidad inicial y por los raleos que se realicen a lo largo del desarrollo. Estos tratamientos afectan tanto la cantidad como la calidad de los productos obtenidos.

El efecto de la densidad de plantación puede ser observado comparando varias densidades iniciales de plantación como realizaron Clark y Saucier (1989) con *Pinus elliottii*. Los resultados demostraron que las altas densidades de plantación provocaban competencia a tempranas edades y por lo tanto las ramas de la base del árbol mueren, como consecuencia se producen menos fotosintatos y el desarrollo del tronco se ve reducido. En el otro extremo, las plantaciones de baja densidad presentan menor competencia, desarrollándose extensamente teniendo un ancho de leño juvenil superior al caso anterior.



Clark y Saucier (1991), reportaron que el *Pinus elliottii* produce madera juvenil en los primeros 10 anillos en cualquiera de las densidades de plantación. A su vez analizando el incremento radial en las diferentes densidades se observa que el diámetro del leño juvenil esta inversamente relacionado con la densidad inicial de plantación.

A pesar de lo antedicho, Clark y Saucier observaron que la densidad de plantación no afecta significativamente la edad de transición de leño juvenil a adulto, simplemente lo confina a una zona más chica.

### **2.2.2. Locación Geográfica**

Diversos estudios han demostrado la tendencia general de la densidad a disminuir de sur a norte y de este a oeste en *Pinus taeda* en los Estados Unidos.

La influencia climática es presumiblemente la responsable del hallazgo de Clark y Saucier (1989), quienes reportaron que el periodo juvenil en *Pinus elliottii*, y *taeda* se incrementa de 6 años en "The Gulf Coastal Plain" a 14 años en el "Piedmont".

## **2.3. EFECTOS SILVICULTURALES**

### **2.3.1. Raleo**

El efecto del raleo en la calidad de la madera es variable. Depende de la densidad de plantación, edad de los árboles, época del año, sitio, y otros factores que influyen en el crecimiento.

La principal finalidad del raleo es la concentración de los nutrientes y demás factores de crecimiento en determinados individuos seleccionados.

### **2.3.2. Poda**

La poda consiste en eliminar artificialmente las ramas seleccionadas, este proceso simula la poda natural. El efecto que se persigue es la reducción del incremento radial de tronco y la eliminación de los nudos que se producirían por el desarrollo natural de las ramas.

En árboles jóvenes, la poda tiende a acelerar la transición de madera juvenil a adulta. Bocage *et al.* (2000), señalan que existe un claro efecto poda en *Pinus taeda*, acelerando la transición de leño juvenil a adulto.

## 2.4. MADERA JUVENIL

La madera juvenil puede ser definida como la zona de la madera que se extiende desde la médula hacia afuera, sufriendo cambios rápidos en anillos sucesivos hasta alcanzar el leño maduro. Se diferencia de este por tener: menor porcentaje de leño tardío, menor peso específico, traqueidas más cortas con ángulo microfibrilar mayor. Hiller (1954) afirma que en algunos árboles en el periodo juvenil los anillos son enteramente de leño temprano.

La verdadera madera juvenil se forma durante los primeros tres años de crecimiento y luego existe una zona de transición hasta llegar al leño maduro, pero actualmente se utiliza el término madera juvenil haciendo referencia a dicha zona. La extensión de esta puede ser definida con criterios arbitrarios. Bendtsen y Senft (1986) estimaron el periodo juvenil para *Pinus taeda*, en 12 años basándose en valores de peso específico, modulo de elasticidad y modulo de ruptura. Sin embargo, el largo de traqueida continuó incrementándose rápidamente hasta los 18 años, y el ángulo microfibrilar no alcanzó un valor constante pasado los 30 años. Taras, 1965; Larson, 1956 y Zobel, 1984 señalan que el *Pinus elliottii* tiene un periodo de leño juvenil de 6 a 8 años.

Algunos autores no coinciden sobre el concepto de madera juvenil, afirmando que este no es determinado únicamente por el crecimiento del árbol, sino que es influenciado por los tratamientos silviculturales como es la densidad de plantación, pero se ha demostrado en diversos estudios que el crecimiento lento no elimina el leño juvenil, simplemente lo concentra en un menor diámetro.

La madera del genero pinus cuenta con diferentes elementos anatómicos, pero el presente trabajo tratara sobre los elementos que afectan las traqueidas. Estas cumplen dos funciones principales; sostén del árbol y transporte de agua y nutrientes. Las traqueidas que desarrollan estas funciones se diferencian estructuralmente. Las del leño temprano poseen lúmenes anchos y paredes finas, cualidades que le permiten transportar eficientemente desde las raíces a los nuevos brotes. El leño tardío posee traqueidas con lúmenes de menor calibre y paredes más gruesas.

La transición de leño temprano a tardío es abrupta en madera adulta, por lo contrario en madera juvenil, esta es difusa, lo cual crea dificultades en la diferenciación.

El porcentaje de leño tardío es el más fácil de determinar, y el más utilizado, para la determinación de la calidad de madera, ya que está altamente correlacionado con el peso específico de la madera y provee un índice visual de dureza y propiedades estructurales (Koch 1972).

## 2.5. ANGULO MICROFIBRILAR

La pared celular esta formada por múltiples capas: una capa primaria: P, y tres capas secundarias: S1, S2 y S3. Las capas secundarias consisten en microfibrillas de celulosa cristalina embebidas en una matriz amorfa de hemicelulosa y lignina. Las microfibrillas están ordenadas en forma helicoidal alrededor del eje de la traqueida. Dado que la capa más gruesa de las secundarias es la S2 y más aun en el leño tardío, se asume que sus propiedades dominan las de la capa S1 y S3 (Megraw 1985).

Las microfibrillas de las capas S1 y S3 se encuentran aproximadamente perpendicular al eje de la traqueida, mientras que la orientación de las microfibrillas en la S2 posee determinado ángulo característico con respecto al eje. En el caso de madera juvenil varía ampliamente dentro y entre árboles, afectando el comportamiento de la madera (Megraw, 1986).

El ángulo microfibrilar (AMF) es el ángulo formado entre las microfibrillas de celulosa orientadas en hélice en la capa S2 y el eje de la traqueida. La orientación del ángulo tiene una importante influencia en las propiedades de la madera: dureza, rigidez, contracción (Wardrop, 1951; Cave, 1968, Harris y Meylan, 1965). También esta relacionado con las propiedades de la pulpa de papel ( Watson y Dadwell, 1964).

Walker y Butterfield (1996) reportaron que el AMF tiene una importante influencia en la dureza de la madera. Cave y Walker (1994) reafirmando este concepto, observaron que la única característica física de la madera capaz de afectar la dureza de la madera es el AMF de la capa S2 de las traqueidas.

Junto a la médula se encontraron ángulos grandes y van disminuyendo hacia la corteza. (Phillips, 1941; Preston, 1948; Preston y Wardrop, 1949; Wardrop y Dadswell, 1950; Pillow et al., 1953; Echols 1955; Manwiller, 1972, Bendtsen y Senft, 1986; Donaldson, 1993; Donaldson y Burdon, 1995). Existe variación también en altura, disminuyendo el ángulo al aumentar la altura.

Charlotee Hiller (1965), agrega a las observaciones anteriores que la velocidad de crecimiento también altera el AMF, disminuyendo este más rápido en el caso de árboles de crecimiento lento.

En *Pinus taeda*, por ejemplo, el AMF en madera adulta es pequeño (5 a 10 grados), en el leño juvenil es mayor alcanzando valores de 25 a 30 grados, observándose valores de hasta 50 en los anillos junto a la médula. (Megraw, 1986, Bendtsen y Senft, 1986). En *Pinus elliottii*, Hiller (1965) reporto valores de AMF de 15° a los 20 años.

Como se señaló, el AMF disminuye del centro hacia fuera, por lo tanto cuanto más gruesa la pared secundaria, más chico es el ángulo. Hiller (1964) encontró que el ancho de la pared secundaria aporta de un 64 a 81 % de la variación en el ángulo.

Pillow (1953), observó que los ángulos microfibrilares en leño juvenil en plantaciones de baja densidad eran superiores a los de alta, hasta 20° por encima.

El AMF de las traqueidas del leño temprano es mayor que en leño tardío, ésta diferencia se corresponde con el hecho de que los ángulos microfibrilares han sido reportados como negativamente correlacionados con el leño tardío (Pillow, 1965).

Dada las características anteriores se asume que el AMF es un indicador importante en la determinación del leño juvenil.

### **2.5.1. Variación del ángulo microfibrilar**

La variación en la calidad de la madera puede ser atribuida a la variación dentro del árbol, entre árboles en un sitio determinado, entre diferentes sitios y entre diferentes regímenes silviculturales (Tsehaye *et al.*, 1995). El AMF varía disminuyendo desde la médula hacia la corteza (Preston y Wardrop, 1949; Wardrop y Dadswell, 1950; Bendtsen y Seft, 1986; Donaldson, 1993; Donaldson y Burdon, 1995). Variando también con la altura.

#### **2.5.1.1. Variación dentro del árbol**

El ángulo microfibrilar varía con cada anillo de crecimiento. Cava y Walker (1994) reportaron que el AMF disminuye desde la primera célula del leño temprano a la última del leño tardío, al igual que Walker y Butterfield (1996). Harris y Meylan (1965) afirmaron que el ángulo era mayor en el leño temprano que en el tardío. Donaldson (1993) y Pedini (1992) reportaron que los mayores ángulos se dan en los primeros cinco a diez anillos de crecimiento. El AMF disminuye con la altura (Walker y Butterfield, 1996; Donaldson, 1992).

#### **2.5.1.2. Variación entre procedencias**

La variación en el AMF entre árboles aparenta ser controlada genéticamente pero el grado de heredabilidad no está estudiado a fondo (Zobel y Jett, 1995). Sin embargo, existen estudios limitados sobre la variación entre procedencias. En un estudio realizado por Donaldson y Burdon (1995) en clones de pino, se concluyó que hay un componente genético en la variación de AMF.

## **2.5.2. Propiedades de la madera y ángulo microfibrilar**

El AMF de la capa S2 de la pared de las células de las traqueidas, actúa sobre las propiedades mecánicas de la madera, incluyendo el módulo de elasticidad (Donaldson, 1996). Watson y Dadswell (1964) también reportaron que el AMF tiene impacto en las propiedades de la madera.

### **2.5.2.1. Angulo microfibrilar y rigidez**

La rigidez depende de la densidad, del AMF y del ángulo del grano (Cave, 1969), así como también depende del contenido de celulosa y la forma en que esta celulosa se distribuye dentro de la pared celular (Cave y Walker, 1994).

Walker y Butterfield (1996) reportaron que el AMF tiene una importante influencia en la rigidez de la madera. Cave y Walker (1994) reafirmando lo antedicho, observaron que la única característica física de la madera capaz de producir grandes cambios en la rigidez es el AMF de la capa S2.

En ensayos realizados por Walker y Butterfield (1996) se observó que la rigidez del leño temprano en *Pinus radiata* se incrementa cinco veces cuando el AMF disminuye de 40° a 10°.

### **2.5.2.2. Angulo microfibrilar y contracción**

La contracción de la madera es afectada por la estructura de la madera y por lo tanto por la orientación de las microfibrillas de la pared celular. Walker y Butterfield (1996) reportaron que la contracción longitudinal se incrementa cuando aumenta el AMF. Harris y Meylan (1965) encontraron que la relación entre contracción longitudinal y AMF era curvilínea y que la contracción tiende a ser mayor cuando el AMF es mayor. Ying *et al.* (1994) reportaron que el ángulo microfibrilar y la densidad son buenas propiedades para predecir la contracción longitudinal.

### **2.5.2.3. Angulo microfibrilar y densidad**

Harris y Meylan (1965) y Walker y Butterfield (1996) encontraron que la densidad de la madera y el largo de las traqueidas varían independientemente entre árboles. Como resultado, no se esperaría una alta correlación entre la densidad y el ángulo microfibrilar.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. INTRODUCCION

La especie que se utilizó en este estudio es *Pinus elliottii* var. *Elliottii* (Engelm). Los árboles ensayados se encuentran en Cerro Largo, Uruguay. Están ubicados en la Estación Experimental "Bañado de Medina", de la Facultad de Agronomía, y sus coordenadas geográficas son: Longitud 60° 35-40' Oeste, Latitud 36° Sur. Dentro de la Estación Experimental están ubicadas en el potrero 8.

La plantación fue establecida en 1966 por el Ing. Agr. José Krall y tenía como finalidad realizar ensayos de orígenes. Estas plantaciones se realizaron con una densidad inicial de 1666 árboles/hectárea (3 metros x 2 metros). Las muestras se obtuvieron en la última semana de Diciembre del 2002, y se comenzó su evaluación la primera de Enero del 2003.

El método que se utilizó para la observación de la capa S2 es el de *tinción con iodo*. Es un método que tiene muy buena precisión, es de lectura relativamente simple, fácil preparación de la muestra y simplicidad de manejo del equipo (Chin-Lin Huang *et al.*, 1997; Elena Bocage *et al.*, 2000).

#### 3.2. DESCRIPCION DE LA ESPECIE

*Pinus elliottii* Engelm."Slash Pine"

Es uno de los pinos indígena del sureste de los Estados Unidos, y se clasifica dentro de los "yellow pines". Su epíteto específico es en honor al botánico Stephen Elliott (1771-1830). Otros nombres que se utilizan para esta especie en su lugar de origen son "southern pine", "yellow slash pine", "swamp pine", "pitch pine", y "Cuban pine". Es una de las dos especies de southern pine más utilizadas en Norte America. Se reconocen dos variedades: *Pinus elliottii* var. *elliottii*, y *Pinus elliottii* var. *densa*, siendo el primero el más comúnmente utilizado.

El *Pinus elliottii* tiene el menor rango de dispersión entre los más frecuentes "southern pines", en su distribución natural. Este pino es nativo de las costas al sur de Carolina del Sur hasta el sur de Florida.

### 3.3. TRABAJO DE CAMPO

Para el análisis se separaron dos parcelas, las cuales tuvieron diferentes tratamientos silviculturales en cuanto a poda, una nunca fue podada y en otra se realizaron dos podas entre los 4 y 8 años.

El material con el que se contaba era limitado, dado que las parcelas no fueron implantadas con la finalidad de este estudio, por lo tanto no fue posible encontrar dos parcelas con diferente tratamiento de poda con la misma procedencia. Se trabajó con Alabama no podado y Georgia podado.

De cada una de las parcelas se obtuvieron muestras de 5 individuos (de acuerdo con el estudio de Donaldson, 1997; Bocage *et al.*, 2000) a 1,3 metros (altura del pecho) y a 3,3 metros.

Las muestras se obtuvieron con Calador de Pressler, con el cual se extrae una muestra del tronco de 5 milímetros de diámetro y un largo variable, que permite obtener datos desde la médula hasta la corteza.

Para la determinación de la altura de 3.3 metros se utilizó cinta métrica. Utilizando una escalera para la obtención de las muestras a esta altura.

Dado que las probetas son muy frágiles y no se contaba con ningún elemento para el transporte de los mismos, se confeccionaron tubos de papel los cuales permitieron su traslado en condiciones adecuadas.

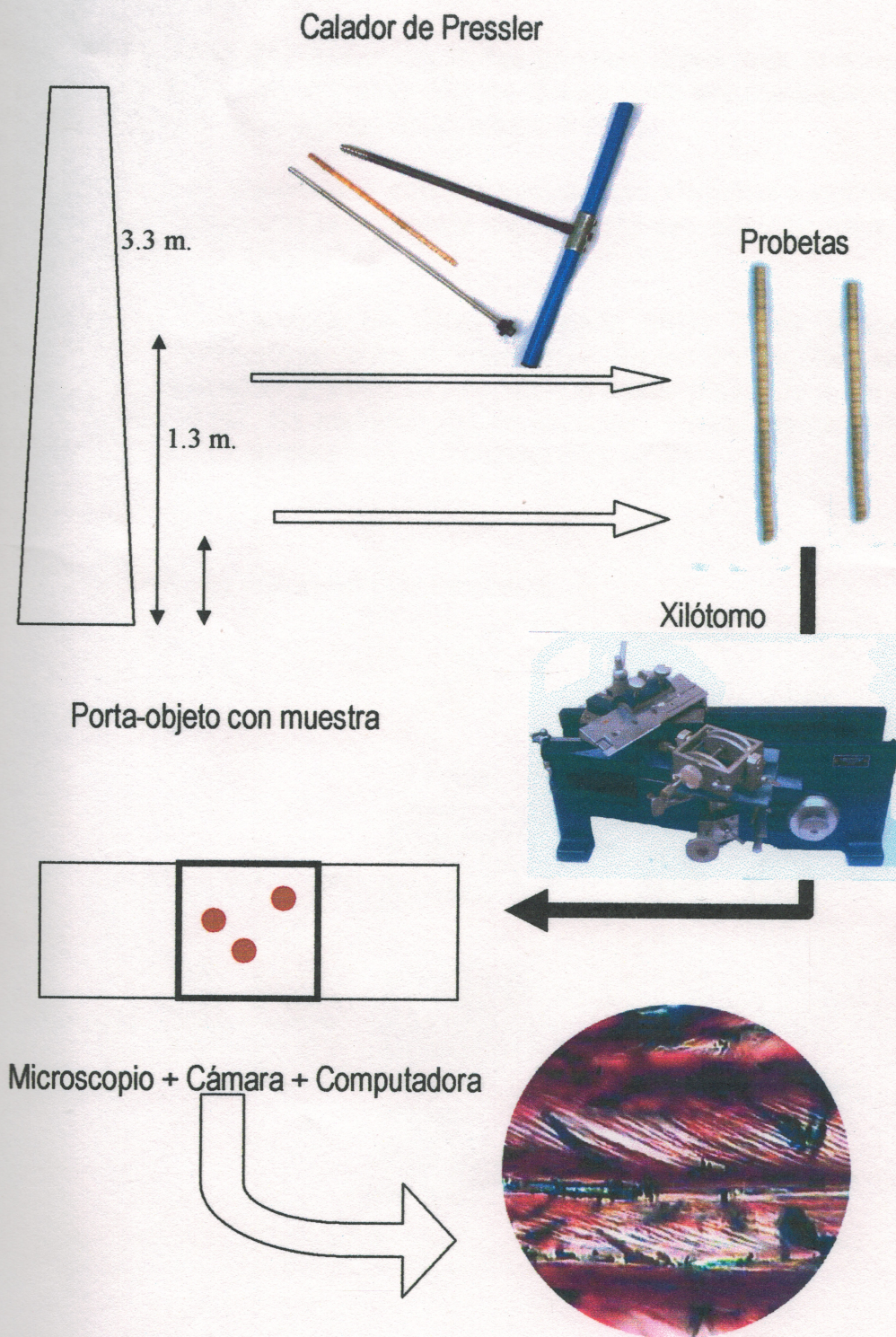
A cada muestra se le asignó una letra y un número; la letra corresponde a la parcela con poda o sin poda y el número identifica un árbol y una altura determinada.

### 3.3. TRABAJO DE GABINETE

La obtención de secciones para su posterior observación con microscopio se realizó con un xilótomo Reichert Wien. Las secciones de leño tardío que se estudiaron fueron las correspondientes a los anillos 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 a la altura de 3,3 metros y para la altura de 1,3 se agregó el anillo 35.

El método para la observación y medición del AMF fue, como ya se mencionó el de tinción con iodo. Este método consiste en combinar el efecto de dos soluciones: yoduro de potasio y ácido nítrico. Las probetas primero son colocadas en tubos de ensayo con agua para humedecerlas durante 24 horas y de esta forma facilitar el seccionado de las mismas.

Figura N° 1. Esquema del procedimiento.





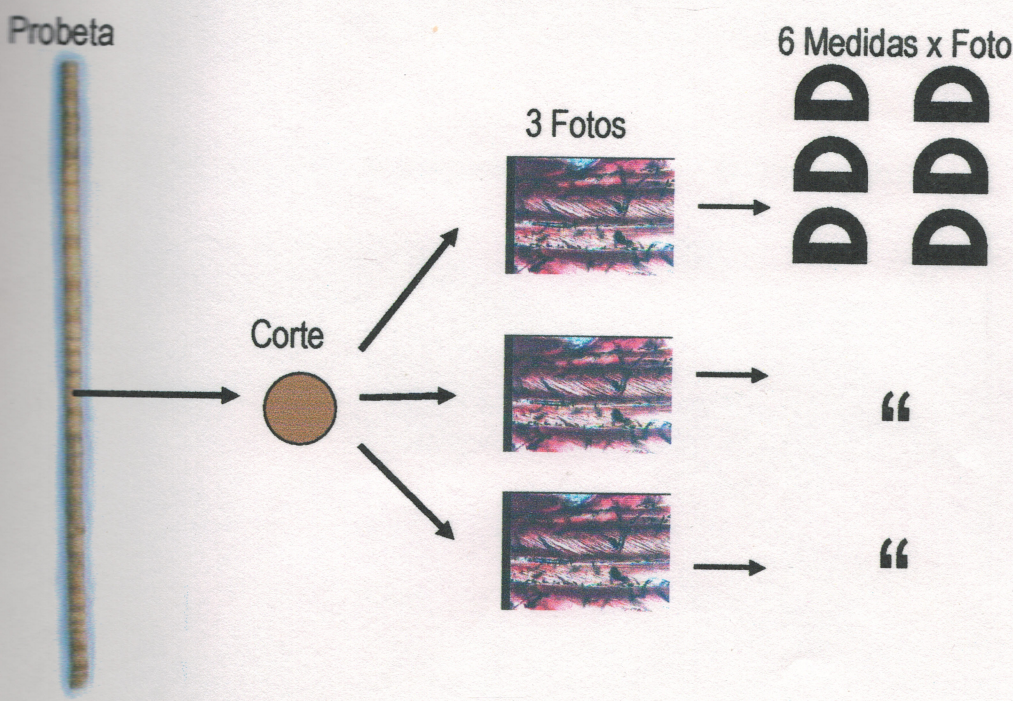
Luego de 24 horas en agua se obtienen los cortes tangenciales con el micrótomo, el cual tiene un ángulo de corte de  $14^\circ$ .

Las secciones obtenidas fueron colocadas en porta objeto y se le agregó yoduro de potasio (Iugol) dejando actuar al mismo durante 5 segundos aproximadamente, luego se secó con papel secante y se le agregó ácido nítrico al 60 %.

Los cortes fueron observados con un microscopio Olympus modelo New Vanox AH-3 el cual fue equipado con una cámara digital. Esta fue utilizada para capturar las imágenes de las secciones (Fig. N° 1).

Se obtuvieron 3 imágenes de fibras por cada anillo. Estas imágenes fueron corregidas en brillo y contraste para luego imprimirlas. En las impresiones se marco una línea paralela a las traqueidas y luego se marcaron 6 líneas paralelas a las microfibrillas de la pared secundaria S2. Se midieron los ángulos que forman estas 6 líneas con la paralela a la traqueida y se confeccionó una planilla (Fig. N° 2).

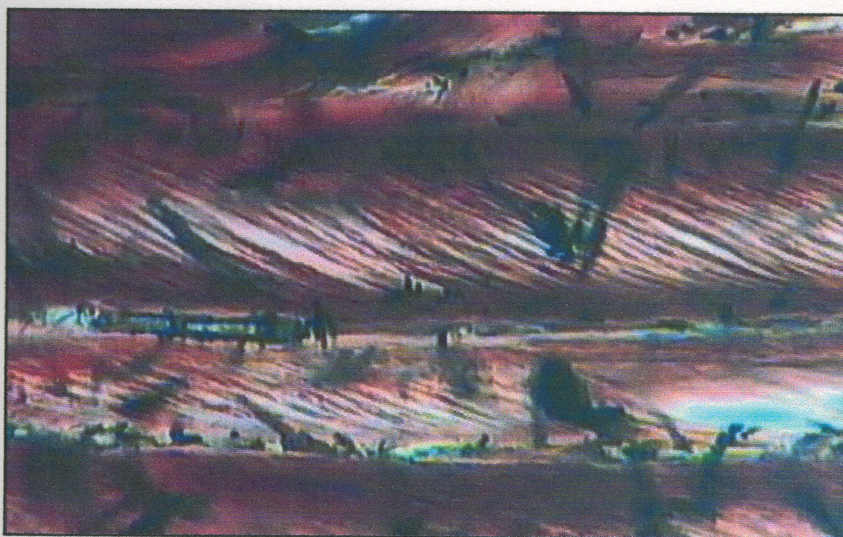
Figura N° 2. Esquema de obtención de medidas.



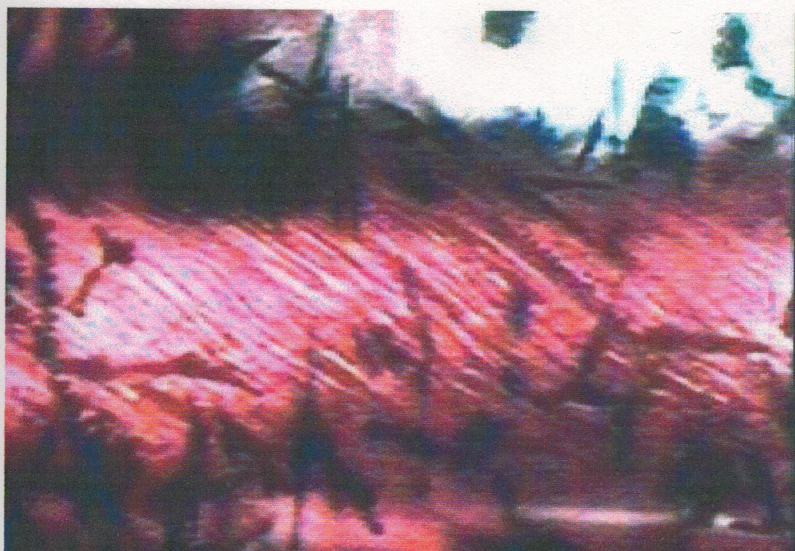
El total de valores obtenidos fue 2700: 6 medidas/foto x 3 fotos/anillo x 7 anillos/probeta a 3,3 x 8 anillos a 1,3 x 2 alturas x 10 árboles.

En la altura 3,3 no es posible medir el anillo 35 debido a que no está presente o esta muy sobre la corteza.

**Figura N° 3. Foto sección de traqueida anillo 20 de árbol sin poda.**



**Figura N° 4. Foto sección de traqueida anillo 5 de árbol sin poda.**



### **3.4. PROCESAMIENTOS DE LOS DATOS**

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó utilizando el software Statistical Analysis System (SAS). Se realizó análisis de varianza y pruebas LSMEANS de comparación de medias, para ver si existen diferencias estadísticas entre las fuentes de variación; poda, altura y anillo.

#### 4. RESULTADOS

A continuación se presentan los datos obtenidos de ángulo microfibrilar. Los datos corresponden a la media por anillo para cada tratamiento de altura y poda. O sea que cada valor se obtuvo del promedio de 6 medidas en 3 traqueidas realizadas en 5 individuos.

En la tabla, en la altura 3,3 metros, el anillo 35 no existe debido a que éste a esta altura no está presente por razones naturales del desarrollo del tronco.

**Cuadro N°1. Ángulo microfibrilar promedio por anillo según tratamiento de poda y altura.**

Altura	Poda	Anillo	AMF
1,3	Con Poda	2	31,59444
		5	29,48333
		10	25,77222
		15	21,18933
		20	21,28333
		25	20,50000
		30	18,43333
		35	14,06667
	Sin Poda	2	34,51667
		5	33,51111
		10	32,34444
		15	26,33889
		20	22,93333
		25	22,05556
3,3	Con Poda	2	32,48889
		5	28,83333
		10	22,19444
		15	21,20556
		20	19,80556
		25	18,81111
		30	16,02222
		Sin Poda	2
	5		30,56111
	10		27,83444
	15		25,91667
	20		22,66667
	25		21,37000
		30	19,76111

## 4.1. ANALISIS DE DATOS

El análisis de los datos presentó el inconveniente de la falta en la altura 3.3 metros del anillo 35, como ya se ha señalado. Por lo tanto, primero se realiza el análisis para altura 1.3 metros. El mismo se creyó conveniente dado que se desea encontrar la transición a leño adulto, y por lo tanto cuanto mayor cantidad de anillos se estudian mejoran las posibilidades de encontrar dicha transición.

Por otro lado se realiza el análisis incorporando el factor altura, sacando el anillo 35.

### 4.1.1. Análisis para altura 1.3 metros

**Cuadro N°2. Análisis de varianza: Altura 1.3 metros**

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	Pr > F
Arbol	4	1305,87816	127,97	< 0,0001
Poda	1	4965,46944	486,6	< 0,0001
Anillo	7	6223,18189	609,85	< 0,0001
Poda * Anillo	7	167,42991	16,41	< 0,0001

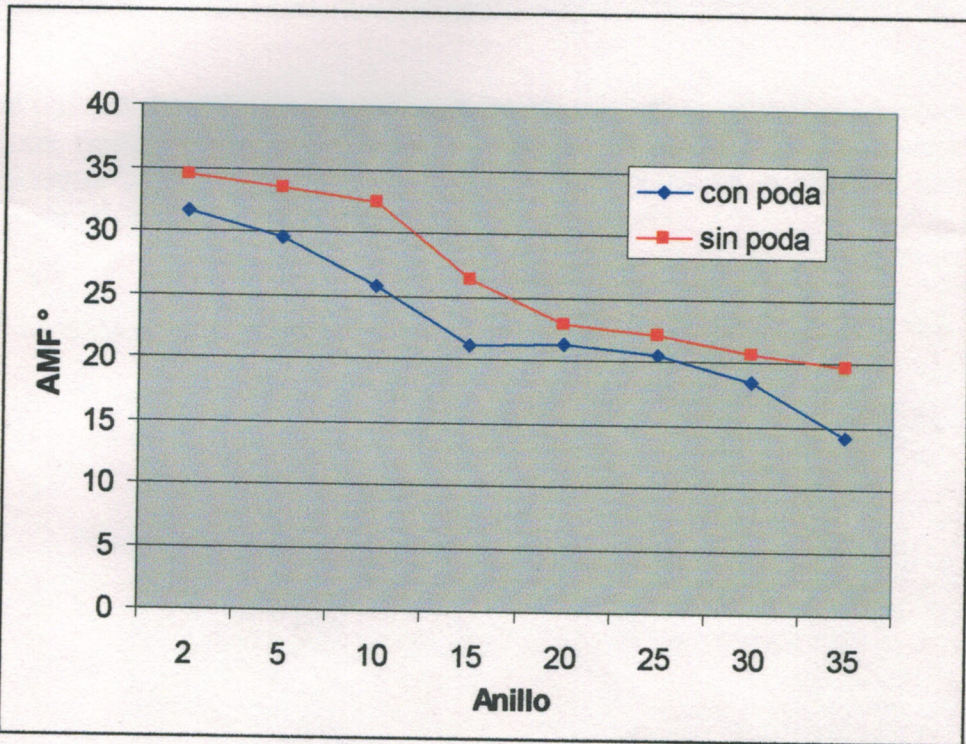
La interacción Poda x Anillo es significativa, por lo tanto se realizaron pruebas de la comparación de medias LSMeans (Anexo 1) para poder investigar el efecto conjunto que tienen los factores poda y anillo sobre el AMF.

Los árboles podados tienen una disminución del AMF más adelantada lo que llevaría a una maduración más rápida. Esto se puede observar en el caso de los anillos 15, 25, 30 y 35 sin poda con respecto a los anillos 10, 15, 20 y 25 respectivamente en los cuales no se observó diferencia significativa. O sea que los árboles podados se estarían adelantando de 5 a 10 años en su maduración.

En el gráfico N°2 se nota una gran diferencia en los anillos 5, 10 y 15 lo que señalaría a que edad es más intenso el efecto de la poda.

En los anillos 20, 25 y 30 se observa una tendencia a la estabilización del AMF, sin embargo en el caso de los árboles podados en el anillo 35 continúa disminuyendo, hecho que demostraría que la transición hacia leño maduro no ha terminado. En el caso de los podados la disminución del AMF también continúa pero menos acentuadamente.

**Grafico N°2. Angulo microfibrilar con poda y sin poda en altura 1.3 metros**



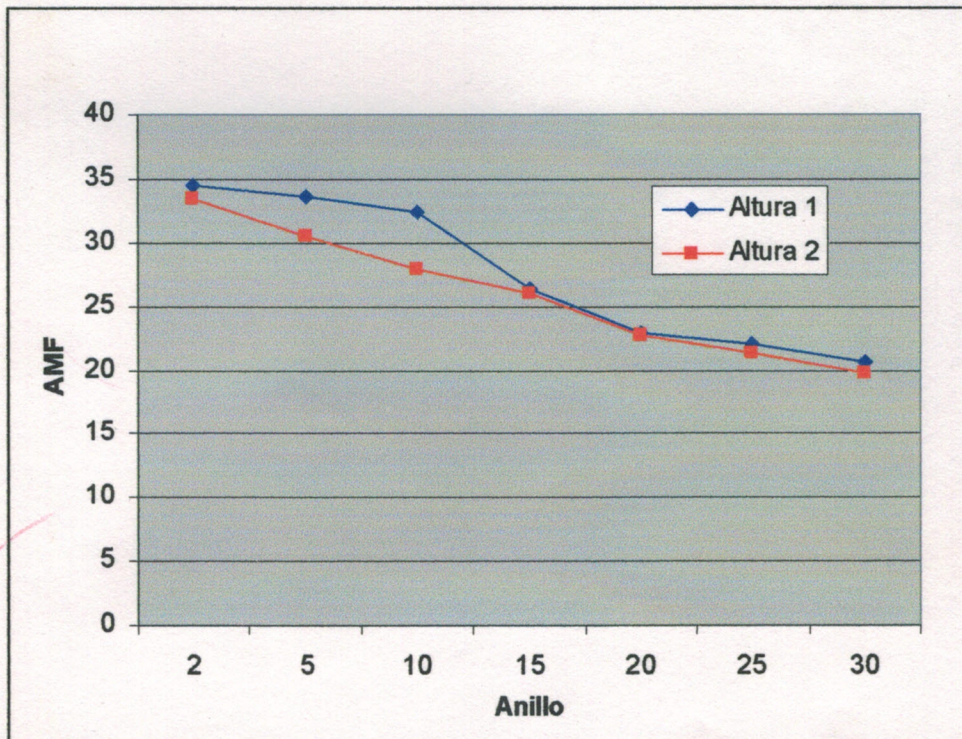
#### 4.1.2. Análisis con altura como factor y sin considerar anillo 35

Cuadro N°3. Análisis de varianza

Fuente de variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Arbol	4	1995,29850	187,54	< 0,001
Altura	1	1251,14977	117,60	< 0,001
Poda	1	6848,69326	643,72	< 0,001
Altura*Poda	1	12,09174	1,14	0,2865
Anillo	6	10224,72796	961,04	< 0,001
Poda*Anillo	6	231,48372	21,76	< 0,001
Altura*Poda*Anillo	12	107,29218	10,08	< 0,001

En el cuadro de análisis de varianza se ve que es significativa la interacción de los factores altura, poda y anillo, por lo cual se procedió a realizar pruebas de comparación de medias LSMeans (Anexo 2). Para un estudio más claro se graficó el factor poda por separado, para poder observar claramente el factor altura.

Gráfico N°3. Angulo microfibrilar en función del anillo y en árboles sin poda según altura



En el gráfico N°3 se observa que el AMF es superior en el caso de la altura 1 (1.3 metros), esto se puede concluir comparando iguales pares de tratamientos de poda y anillo en las diferentes alturas. En los gráficos se observa que la curva de la altura 1 se encuentra por encima de la altura 2.

En el caso de igual altura, el AMF es inferior en el caso del tratamiento con poda. Este hecho se ve en la comparación de medias, cuando se analiza igual altura con los dos tratamientos de podas, las diferencias resultan significativas.

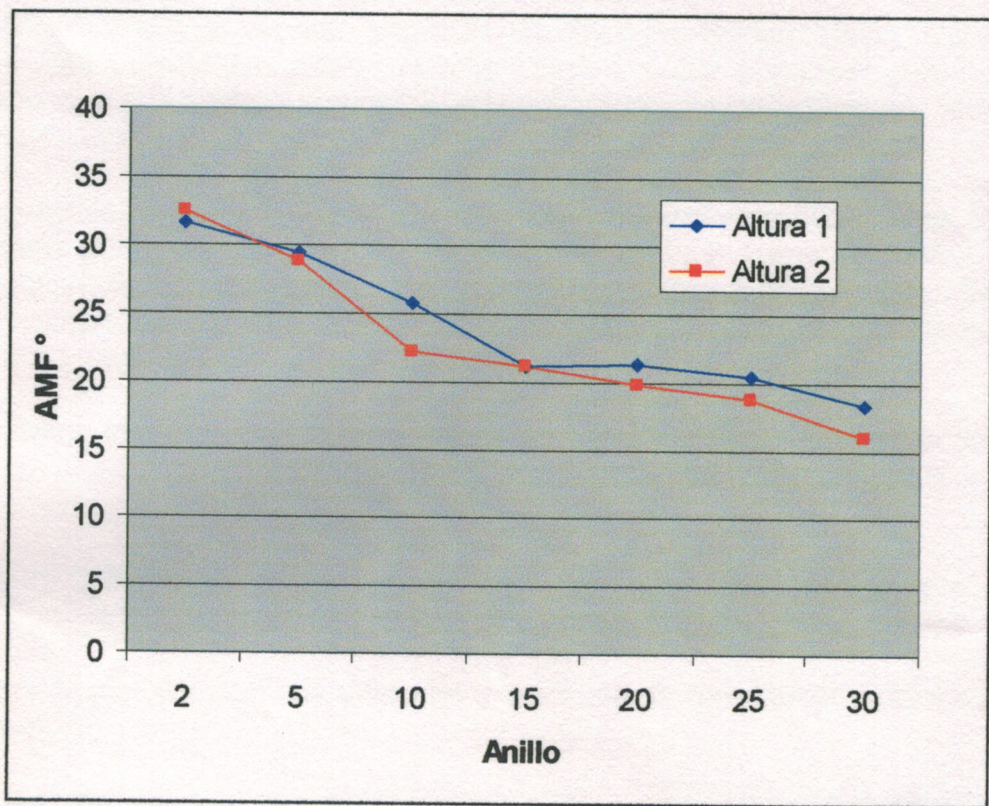
El efecto que produce la poda en la disminución del AMF queda notablemente claro en el caso del anillo 30 sin poda y el anillo 15 con poda, en los cuales no se encontró diferencia significativa. Por lo tanto el árbol podado alcanzará la maduración antes.

**Cuadro N°4. Angulo microfibrilar promedio por anillo según tratamiento y sus promedios.**

	Altura 1.3 metros		Altura 3.3 metros		AMF medio/anillo
	Sin Poda	Con Poda	Sin Poda	Con Poda	
2	34,51	31,59	33,36	32,48	32,99
5	33,51	29,48	30,56	28,83	30,59
10	32,34	25,77	27,83	22,19	27,03
15	26,33	21,18	25,91	21,20	23,66
20	22,93	21,28	22,66	19,80	21,67
25	22,05	20,50	21,37	18,81	20,68
30	20,60	18,43	19,76	16,02	18,70
AMF Prom. Según poda y altura	27,47	24,03	25,92	22,76	
AMF Prom. Según altura	25,75		24,34		



**Gráfico N°4. Angulo microfibrilar con poda según altura**



En los anillos 15, 20, 25 y 30 no se ve diferencias significativas en el caso del tratamiento sin poda en las diferentes alturas. Cuando se aplica poda no se observa diferencias significativas entre los anillos 2, 5 y 15 en las diferentes alturas.

En el tratamiento sin poda se estaría observando una etapa del anillo 2 al 15 en la cual las diferencias de AMF en las alturas son acentuadas, luego a partir del anillo 15 estas diferencias desaparecen, o sea que el tronco tendería a estabilizar su AMF y por lo tanto su madera. Sin embargo el AMF muestra una tendencia a continuar descendiendo.

Cuando se analiza el tratamiento con poda las diferencias entre las alturas son menos marcadas a través del tiempo, observando que a diferencia de los árboles no podados el AMF se iguala en las dos alturas a edades tempranas. Además la curva del AMF tiende a la horizontalidad lo que demostraría que se está estabilizando, aunque luego continúe descendiendo.

## 5. DISCUSION

El AMF, como era de esperar, según lo reportado por Philips (1941); Wardrop (1949); Bendtsen y Seft (1986); Donaldson (1993); Burdon, Cava y Walker (1994), Butterfield (1996), disminuye a medida que avanza el tiempo. Esto ocurre en las dos alturas y en el caso que haya poda o no.

En el análisis de la altura 1,3 metros, se observó cierta estabilización en el AMF tanto en los árboles podados como en los no podados, aunque luego del anillo 30 el AMF continuó descendiendo. Este hecho ya fue señalado por Bendtsen and Senft (1986) quienes afirmaron que en *Pinus taeda*, no se encontraron valores constantes de AMF pasados los 30 años.

Los valores mínimos de 15° de AMF en el caso del tratamiento con poda a la altura 1.3 metros en el anillo 35 coinciden con los reportados para el anillo 20 por Hiller (1965) en montes de rápido crecimiento.

La altura 3.3 metros presentó menores valores de AMF hecho que reafirma lo expresado por Walker y Butterfield (1996) y Donaldson (1992).

La disminución del AMF es diferente y presenta comportamiento diferencial, según altura y poda.

La poda produce una aceleración de la maduración del leño representado por la disminución más marcada del ángulo microfibrilar. Hecho que se corresponde con lo afirmado por Bocage *et al.* en *Pinus taeda*.

En el tratamiento sin poda se observó que el AMF en ambas alturas confluye en valores iguales a partir del anillo 15. Las diferencias del AMF, dentro del tratamiento poda entre diferentes alturas son menores.

En todos los casos de diferentes podas y alturas, se observó que el descenso del AMF hasta el anillo 15 fue muy marcado y luego la caída se suaviza sin llegar a estabilizarse.

## 6. CONCLUSIONES

El ángulo microfibrilar disminuyó en el rango de anillos estudiados. En el caso de la altura 1,3 metros fue posible estudiar hasta el anillo 35, en la altura 3,3 metros hasta el anillo 30, en ambos casos el ángulo microfibrilar disminuyó hasta el último anillo. Este comportamiento se observó tanto en los árboles podados como en los no podados.

Los árboles que fueron sometidos a poda tuvieron menor ángulo microfibrilar, lo que origina una más rápida transición a leño adulto.

La altura 1,3 metros presentó con respecto a la altura 3,3, mayor ángulo microfibrilar para un mismo número de anillo, este hecho se observó en todos los pares de anillos. A partir del anillo 15 estas diferencias se vieron disminuidas, llegando a igualarse los ángulos.

No se pudo observar, al menos en forma clara el inicio del leño adulto, sin embargo se puede señalar que el ángulo microfibrilar desciende desde el anillo 2 en forma marcada hasta el anillo 15 y luego continúa descendiendo pero en forma menos acentuada, esto podría estar señalando una etapa de transición previa al leño adulto, dicha conducta se vio tanto en los árboles podados como en los no podados.

Para poder afirmar cuándo finaliza la transición a leño adulto sería necesario evaluar más anillos pero esto es imposible dada la edad de los árboles.

## 7. RESUMEN

Se estudió el leño juvenil de *Pinus elliottii* (Engelm) cultivado en la Estación Experimental Bañado de Media, Cerro Largo, Uruguay (Longitud 60° 35-40' Oeste, Latitud 36° Sur). Se extrajeron probetas de incremento radial a dos alturas: 1,5 metros y 3,3 metros de 5 individuos podados y 5 no podados. Las probetas son de 5 milímetros de diámetro y un largo que va desde la médula hasta la corteza. Se midió el ángulo microfibrilar de la capa S2 de la pared celular de las traqueidas en los anillos 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 35. Se constató una disminución del ángulo microfibrilar al aumentar el número de anillo. El ángulo disminuye desde el anillo 2 hasta el 15 en forma marcada y luego continua descendiendo pero en forma menos acentuada, esto puede estar señalando una etapa de transición previa al leño adulto. Los árboles podados tienen menor ángulo microfibrilar lo que indica una maduración más temprana. En la altura 3,3 metros el ángulo microfibrilar es menor que en 1,3 para el mismo número de anillo desde la médula.

## 8. SUMMARY

Juvenile wood was studied in *Pinus elliottii* (Engelm) cultivated in the Experimental Station of Bañado de Medina, Cerro Largo, Uruguay (Longitude 60° 35-40' West, Latitude 36° South). Test increment cores were extracted from two heights: 1,5 meters and 3,3 meters of 5 pruned individuals and 5 non pruned. The test increment cores have 5 millimeters diameter and a long from pith to bark. The microfibril angle was measured in the S2 layer of the cellular wall of tracheids in rings: 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35. A decrease of the microfibril angle was found when increasing the ring number. The angle diminishes from the ring 2 up to the 15 in marked and then from ring 15 to ring 35 MFA diminished continuously but in a gradual way, this can be pointing out a stage transition to mature wood. The pruned trees have smaller microfibril angle which indicates an earlier maturation. In the height 3,3 meters the microfibril angle is smaller than in 1,3 for the same number of ring from the pith.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- BARNETT J.R.; CHAFFEY N.J.; BARLOW P.W. 1997. Cortical microtubules and microfibril angle. *In* Microfibril angle in wood. B.G. Butrerfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 253-265.
- BENDSTEN B.A.; Senft J.F. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood and Fiber Science* 18(1): 23-28.
- BOCAGE E.; BORAGNO L.; ENRIQUE A. 2000. Madera juvenil en *Pinus taeda*, cultivado en Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 70 p.
- CHIH-LIN HUANG; KUTSHA N.P.; LEAF J.G.; MEGRAW R.A. 1997. Comparison of microfibril angle measurement techniques. *In* Microfibril angle in wood. B.G. Butterfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 177-205.
- CAVE I.D. 1968. Anisotropic elasticity of the plant cell wall. *Wood Science Technology*. 2: 268-278.
- CAVE I.D.; WALKER J.C.F. 1994. Stiffness of wood in fast grown plantation softwood: influence of microfibril angle. *Forest Products Journal*. 44(5): 43-48.
- CORONEL E.O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas; Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades, y sus aplicaciones. Santiago del Estero, Facultad de Ciencias Forestales. 187 p.
- CLARK, A; SAUCIER, J; 1986, Comparision of juvenil wood in planted loblolly and slash Pine, Athens, Georgia.
- DONALDSON L.A. 1997. Between-tracheid variability of microfibril angles in radiata pine. *In* Microfibril angle in wood. B.G. Butterfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 206-224.
- HARRIS, J.M. Y MEYLAN, B.A. 1965. Influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*. *Holzforschung*, pp 144-153
- HILLER C. 1954. Variations in fibril angles in slash pine. United States Departament of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison 5, Wisconsin. 6 p.

- LARSON P.R.; KRETSHMANN D.E.; CLARK A.; ISEBRANDS J.G. 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 42 p.
- \_\_\_\_\_. 1960. Longitudinal shrinkage of wood. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 8 p.
- McALISTER R.; CLARK A.; 1995. Effect of initial spacing on mechanical properties of lumber sawn from unthinned slash pine at age 40. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 6 p.
- MEGRAW R.A.; LEAF J.G.; BREMER D.; WEYERHAEUSER Co. 1997. Longitudinal shrinkage and microfibril angle in loblolly pine. In Microfibril angle in wood. B.G. Butterfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 27-61.
- MEYLAN, B.A.; PROBINE, M.C. 1969. Microfibril angle as a parameter in timber quality assessment. *Forest Products Journal* 19 (4): 30 – 33.
- PAUL B.H. 1930. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. Tech. Bull. 168. U.S. Department of Agriculture. 20p.
- PAGE D.H. 1969. A method for determining the fibrillar angle in wood tracheids. *Pulp and paper research institute of Canada Journal of Microscopy*, 90 (2): 137-143.
- PILLOW M.; TERRELL B.; HILLER C.; 1959. Patterns of variation in fibril angles in loblolly pine. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison 5, Wisconsin. 11 p.
- SPHEPHERD K.R. 1986. *Plantation Silviculture*. Dordrecht, The Netherlands. Martinus Nihjoff. 322 p.
- TREACY M.; EVERTSEN J.; NI DHUBHAIN A. 2000. A comparison of mechanical and physical wood properties of a range of Sit ka spruce provenances. National Council for Forest Research & Development. 30 p.

TUSET R ; DURAN F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 688 p.

WALKER J.C.F.; WOOLLONS R.C. 1997. Cell wall organization and the properties of xylem – a speculative review. In Microfibril angle in wood. B.G. Butterfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 13-26.

YOUMING XU; HAN LIN; CHUNYUN XIANG. 1997. Genetic and geographic variation in microfibril angle of loblolly pine in provenances. In Microfibril angle in wood. B.G. Butterfield. Westport, New Zealand. University of Canterbury. pp. 388-395.

ZOBEL B. 1961. Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae genetica* 10 (3): 65-70

\_\_\_\_\_; Mc.ELWEE R. 1958. Natural variation in wood specific gravity of loblolly pine, and an analysis of contributing factors. *Tappi* 41: 158-161.

\_\_\_\_\_; JETT, J.B. 1995. *Genetics of Wood production*. Springer-Verlag. Berlin. 337 pp.



## **10. ANEXOS**

## Anexo 1. Análisis estadístico Altura 1.3 metros con anillo 35.

```

----- Altura=1 -----
                                The GLM Procedure
                                Class Level Information

Class          Levels    Values
Arbol          5         1 2 3 4 5
Poda           2         0 1
Anillo         8         2 5 10 15 20 25 30 35
Foto          3         1 2 3
Medida         6         1 2 3 4 5 6

Number of observations    1440
The SAS System

```

```

----- Altura=1 -----
                                The GLM Procedure

```

Dependent Variable: AMF

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	19	54923.26466	2890.69814	283.28	<.0001
Error	1420	14490.36387	10.20448		
Corrected Total	1439	69413.62853			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	AMF Mean
0.791246	12.96064	3.194445	24.64728

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Arbol	4	5223.51263	1305.87816	127.97	<.0001
Poda	1	4965.46944	4965.46944	486.60	<.0001
Anillo	7	43562.27324	6223.18189	609.85	<.0001
Poda*Anillo	7	1172.00935	167.42991	16.41	<.0001

----- Altura=1 -----

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Poda	Anillo	AMF LSMEAN	LSMEAN Number
0	2	34.5166667	1
0	5	33.5111111	2
0	10	32.3444444	3
0	15	26.3388889	4
0	20	22.9333333	5
0	25	22.0555556	6
0	30	20.6055556	7
0	35	19.7282222	8
1	2	31.5944444	9
1	5	29.4833333	10
1	10	25.7722222	11
1	15	21.1893333	12
1	20	21.2833333	13
1	25	20.5000000	14
1	30	18.4333333	15
1	35	14.0666667	16

Least Squares Means for effect Poda\*Anillo  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0.0349	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	0.0349		0.0144	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	<.0001	0.0144		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.0655	<.0001	<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0655		0.0024	<.0001
7	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0024		0.0656
8	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0656	
9	<.0001	<.0001	0.1155	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
10	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
11	<.0001	<.0001	<.0001	0.2343	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
12	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	0.0691	0.2204	0.0022
13	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0005	0.1051	0.1549	0.0011
14	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0011	0.8246	0.1053
15	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0066
16	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

----- Altura=1 -----

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Least Squares Means for effect Poda\*Anillo  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	9	10	11	12	13	14	15	16
1	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	0.1155	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	0.2343	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	0.0691	0.1051	0.0011	<.0001	<.0001
7	<.0001	<.0001	<.0001	0.2204	0.1549	0.8246	<.0001	<.0001
8	<.0001	<.0001	<.0001	0.0022	0.0011	0.1053	0.0066	<.0001
9		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
10	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
11	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
12	<.0001	<.0001	<.0001		0.8435	0.1480	<.0001	<.0001
13	<.0001	<.0001	<.0001	0.8435		0.1002	<.0001	<.0001
14	<.0001	<.0001	<.0001	0.1480	0.1002		<.0001	<.0001
15	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
16	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.

## Anexo 2. Análisis estadístico con Altura 1.3 metros y 3.3 metros y sin anillo 35.

The GLM Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Arbol	5	1 2 3 4 5
Altura	2	1 2
Poda	2	0 1
Anillo	7	2 5 10 15 20 25 30
Foto	3	1 2 3
Medida	6	1 2 3 4 5 6

Number of observations 2520

The SAS System

The GLM Procedure

Dependent Variable: AMF

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	31	80117.9050	2584.4485	242.92	<.0001
Error	2488	26470.5325	10.6393		
Corrected Total	2519	106588.4375			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	AMF Mean
0.751657	13.02124	3.261791	25.04978

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Arbol	4	7981.19399	1995.29850	187.54	<.0001
Altura	1	1251.14977	1251.14977	117.60	<.0001
Poda	1	6848.69326	6848.69326	643.72	<.0001
Altura*Poda	1	12.09174	12.09174	1.14	0.2865
Anillo	6	61348.36777	10224.72796	961.04	<.0001
Poda*Anillo	6	1388.90230	231.48372	21.76	<.0001
Altura*Poda*Anillo	12	1287.50617	107.29218	10.08	<.0001

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Altura	H0:LSMean1= LSMean2	
	AMF LSMEAN	Pr >  t
1	25.7543968	<.0001
2	24.3451587	

Poda	H0:LSMean1= LSMean2	
	AMF LSMEAN	Pr >  t
0	26.6983333	<.0001
1	23.4012222	

Altura	Poda	AMF LSMEAN	LSMEAN Number
1	0	27.4722222	1
1	1	24.0365714	2
2	0	25.9244444	3
2	1	22.7658730	4

Least Squares Means for effect Altura\*Poda  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	1	2	3	4
1		<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001		<.0001	<.0001
3	<.0001	<.0001		<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001	

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.

Anillo	AMF LSMEAN	LSMEAN Number
2	32.9902778	1
5	30.5972222	2
10	27.0363889	3

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Anillo	AMF LSMEAN	LSMEAN Number
15	23.6626111	4
20	21.6722222	5
25	20.6841667	6
30	18.7055556	7

The SAS System

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Altura	Poda	Anillo	AMF LSMEAN	LSMEAN Number
1	0	2	34.5166667	1
1	0	5	33.5111111	2
1	0	10	32.3444444	3
1	0	15	26.3388889	4
1	0	20	22.9333333	5
1	0	25	22.0555556	6
1	0	30	20.6055556	7
1	1	2	31.5944444	8
1	1	5	29.4833333	9
1	1	10	25.7722222	10
1	1	15	21.1893333	11
1	1	20	21.2833333	12
1	1	25	20.5000000	13
1	1	30	18.4333333	14
2	0	2	33.3611111	15
2	0	5	30.5611111	16
2	0	10	27.8344444	17
2	0	15	25.9166667	18
2	0	20	22.6666667	19
2	0	25	21.3700000	20
2	0	30	19.7611111	21
2	1	2	32.4888889	22
2	1	5	28.8333333	23
2	1	10	22.1944444	24
2	1	15	21.2055556	25
2	1	20	19.8055556	26
2	1	25	18.8111111	27
2	1	30	16.0222222	28

Least Squares Means for effect Altura\*Poda\*Anillo  
 Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		0.0387	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	0.0387		0.0165	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	<.0001	0.0165		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1231	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.2440
5	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.0712	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0712		0.0029	<.0001	<.0001	<.0001
7	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0029		<.0001	<.0001	<.0001
8	<.0001	<.0001	0.1231	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
9	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001
10	<.0001	<.0001	<.0001	0.2440	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	
11	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	0.0750	0.2300	<.0001	<.0001	<.0001
12	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0007	0.1124	0.1635	<.0001	<.0001	<.0001
13	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0014	0.8282	<.0001	<.0001	<.0001
14	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
15	0.0176	0.7577	0.0366	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001	<.0001
16	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0337	0.0267	<.0001
17	<.0001	<.0001	<.0001	0.0021	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0007	<.0001
18	<.0001	<.0001	<.0001	0.3853	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.7664
19	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.5834	0.2089	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
20	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0013	0.1587	0.1160	<.0001	<.0001	<.0001
21	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0826	<.0001	<.0001	<.0001
22	<.0001	0.0356	0.7664	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0660	<.0001	<.0001
23	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1814	<.0001
24	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1287	0.7752	0.0011	<.0001	<.0001	<.0001
25	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	0.0806	0.2173	<.0001	<.0001	<.0001
26	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1000	<.0001	<.0001	<.0001
27	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001
28	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Least Squares Means for effect Altura\*Poda\*Anillo  
 Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0176	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.7577	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0366	0.0002	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0021	0.3853	<.0001	<.0001
5	0.0003	0.0007	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.5834	0.0013



The GLM Procedure  
Least Squares Means

Least Squares Means for effect Altura\*Poda\*Anillo  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
6	0.0750	0.1124	0.0014	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.2089	0.1587
7	0.2300	0.1635	0.8282	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.1160
8	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0003	0.0337	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
9	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0267	0.0007	<.0001	<.0001	<.0001
10	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.7664	<.0001	<.0001
11		0.8467	0.1564	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0024	0.7103
12	0.8467		0.1073	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0045	0.8585
13	0.1564	0.1073		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0737
14	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
15	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
16	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
17	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001
18	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001
19	0.0024	0.0045	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001		0.0077
20	0.7103	0.8585	0.0737	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0077	
21	0.0033	0.0018	0.1287	0.0064	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0010
22	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0730	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
23	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0004	0.0400	<.0001	<.0001	<.0001
24	0.0388	0.0611	0.0005	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.3316	0.0901
25	0.9734	0.8729	0.1469	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0027	0.7352
26	0.0045	0.0024	0.1534	0.0048	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0013
27	<.0001	<.0001	0.0005	0.4373	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
28	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Least Squares Means for effect Altura\*Poda\*Anillo  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	21	22	23	24	25	26	27	28
1	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
2	<.0001	0.0356	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
3	<.0001	0.7664	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
4	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
5	<.0001	<.0001	<.0001	0.1287	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001
6	<.0001	<.0001	<.0001	0.7752	0.0806	<.0001	<.0001	<.0001
7	0.0826	<.0001	<.0001	0.0011	0.2173	0.1000	0.0002	<.0001
8	<.0001	0.0660	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
9	<.0001	<.0001	0.1814	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
10	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

The GLM Procedure  
Least Squares Means

Least Squares Means for effect Altura\*Poda\*Anillo  
Pr > |t| for H0: LSMean(i)=LSMean(j)

Dependent Variable: AMF

i/j	21	22	23	24	25	26	27	28
11	0.0033	<.0001	<.0001	0.0388	0.9734	0.0045	<.0001	<.0001
12	0.0018	<.0001	<.0001	0.0611	0.8729	0.0024	<.0001	<.0001
13	0.1287	<.0001	<.0001	0.0005	0.1469	0.1534	0.0005	<.0001
14	0.0064	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0048	0.4373	<.0001
15	<.0001	0.0730	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
16	<.0001	<.0001	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
17	<.0001	<.0001	0.0400	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
18	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
19	<.0001	<.0001	<.0001	0.3316	0.0027	<.0001	<.0001	<.0001
20	0.0010	<.0001	<.0001	0.0901	0.7352	0.0013	<.0001	<.0001
21		<.0001	<.0001	<.0001	0.0030	0.9272	0.0508	<.0001
22	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
23	<.0001	<.0001		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
24	<.0001	<.0001	<.0001		0.0421	<.0001	<.0001	<.0001
25	0.0030	<.0001	<.0001	0.0421		0.0040	<.0001	<.0001
26	0.9272	<.0001	<.0001	<.0001	0.0040		0.0409	<.0001
27	0.0508	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0409		<.0001
28	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	

NOTE: To ensure overall protection level, only probabilities associated with pre-planned comparisons should be used.