

1  
2  
3 **CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE LAS TRAQUEIDAS DE**  
4 **PINO HÍBRIDO DE RÁPIDO CRECIMIENTO**

5  
6 **MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF FAST GROWTH**  
7 **HYBRID PINE TRACHEIDS**

8  
9 **Rosa Angela Winck<sup>1</sup>♦**

10 <https://orcid.org/0000-0002-2302-3219>

11 **Maria Cristina Area<sup>2</sup>**

12 <https://orcid.org/0000-0002-2227-5131>

13 **Ector Cesar Belaber<sup>1</sup>**

14 <https://orcid.org/0000-0003-4859-0292>

15 **Diego Rolando Aquino<sup>1</sup>**

16 <https://orcid.org/0000-0003-2849-5159>

17 **Hugo Enrique Fassola<sup>1</sup>**

18 <https://orcid.org/0000-0002-2770-1101>

19 **María Elena Gauchat<sup>1</sup>**

20 <https://orcid.org/0000-0002-1141-5653>

21 ♦Corresponding author: [winck.rosa@inta.gob.ar](mailto:winck.rosa@inta.gob.ar)

22 Received: July 18, 2021

23 Accepted: May 31, 2022

24 Posted online: May 31, 2022

25  
26 **RESUMEN**

27 El objetivo de este trabajo fue evaluar la variación radial de la morfología de las  
28 traqueidas de pinos híbridos. Se extrajeron tarugos radiales de árboles de pino híbrido “F<sub>1</sub>  
29 INTA-PINDO”, en dos ensayos. Las muestras se tomaron a 1,30 m de altura, se disociaron  
30 y se midieron las características anatómicas de las traqueidas individuales obtenidas de la  
31 fracción de madera tardía de los anillos de crecimiento 4, 7, 10 y 11 mediante microscopía  
32 óptica con análisis de imagen. Para la obtención del ángulo microfibrilar se utilizó la técnica  
33 "a través de las puntuaciones en traqueidas individuales". Para el ángulo microfibrilar dentro  
34 de cada edad, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre sitios y familias  
35 para un nivel de confianza del 95 %, mientras que las variaciones no fueron significativas  
36 para las demás propiedades estudiadas. Se observaron cambios importantes en la morfología  
37 celular de las traqueidas para las edades consideradas. Los valores medios de ángulo  
38 microfibrilar, ancho del lumen y ancho total de las traqueidas disminuyeron con la edad,  
39 independientemente del sitio y las familias evaluadas. Los valores medios de espesor y la  
40 proporción de pared celular aumentaron con la edad. Estos resultados indican que las  
41 propiedades de la madera no serían uniformes en el sentido radial y deben ser tenidas en  
42 cuenta al momento de utilizarlas para determinados usos. Se identificaron familias con mejor  
43 performance en crecimiento y parámetros deseables para la calidad estructural de la madera,  
44 las mismas pertenecen a las mejores posiciones del ranking genético de crecimiento. Se

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Montecarlo, Montecarlo, Misiones, Argentina.

<sup>2</sup>IMAM, UNaM, CONICET, FCEQYN, Programa de Celulosa y Papel (PROCYP), Posadas, Misiones, Argentina.

45 concluye que, a los 11 años de edad este taxón produce madera madura, debido a las  
46 características de su morfología celular.

47

48 **Palabras clave:** Ancho de las traqueidas, ancho del lumen de las traqueidas, ángulo  
49 microfibrilar, espesor de pared celular, madera tardía, pino híbrido.

50

51

### ABSTRACT

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

### INTRODUCCIÓN

75

76

77

78

79

80

81

82

83

De acuerdo a la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (DNDFI), Argentina cuenta con 1,37 millones de hectáreas de plantaciones forestales, de las cuales un 78 % se encuentran en las provincias de las regiones Mesopotámica y Delta del Paraná. Dentro de las principales especies forestales cultivadas se encuentran los géneros *Pinus* (62 %); *Eucalyptus* (26 %); *Salix* (10 %) y el resto agrupa a otras especies (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca 2019). Las coníferas de importancia económica en la región, han sido *Pinus taeda* y *Pinus elliottii*, demostrando buen crecimiento y adaptación. Además, se ha incorporado la F<sub>2</sub> del híbrido interespecífico entre *P. elliottii* var. *elliottii* y *P. caribaea* Morelet var. *hondurensis* (PEE × PCH), más recientemente se han establecido plantaciones

84 con material F<sub>1</sub> de este híbrido generados en Argentina. La F<sub>2</sub> australiana ha sido introducida  
85 en la región mesopotámica desde la década del '90, demostrando excelente crecimiento y  
86 extraordinarias cualidades de rectitud de fuste, diámetro de ramas y estructura de copa  
87 (Cappa *et al.* 2013). En Argentina, las propiedades de la madera en la F<sub>2</sub> australiana no han  
88 sido estudiada exhaustivamente, pero existen antecedentes donde se abordaron la calidad de  
89 la madera (Pereyra *et al.* 2007 y 2008).

90 En los últimos años se incrementó la demanda de material de propagación del híbrido  
91 PEE × PCH para la generación de nuevas plantaciones en la Mesopotamia Argentina  
92 (Gauchat *et al.* 2005). En consecuencia, en el año 2004 el Instituto Nacional de Tecnología  
93 Agropecuaria (INTA) inició junto a la empresa PINDO S.A. un programa de hibridaciones  
94 para la obtención de material F<sub>1</sub> del híbrido PEE × PCH (F<sub>1</sub> INTA-PINDO). En el marco de  
95 dicho programa, se estimaron parámetros genéticos para el crecimiento, la rectitud del fuste  
96 y calidad de ramas (Belaber *et al.* 2018). Y, por otro lado, se estudiaron algunas propiedades  
97 mecánicas de la madera de dicho material genético (Acevedo *et al.* 2016).

98 Dada la importancia de contar con un leño lo más homogéneo posible en el proceso de  
99 industrialización de la madera, numerosos estudios relacionados a la aptitud de la misma se  
100 concentran en la variación radial de sus propiedades (Zobel y Van Buijtenen 1989). Entre  
101 las diferentes características estudiadas, el ángulo microfibrilar (AMF) es una de las  
102 propiedades anatómicas más influyentes en el comportamiento físico-mecánico de la madera  
103 (Donaldson 1996, Long *et al.* 2000, Deresse *et al.* 2003, Yin *et al.* 2011, Hein *et al.* 2013,  
104 Winck *et al.* 2013). Algunos estudios demostraron que el AMF es más sensible al clima que  
105 el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad de la madera (Xu *et al.* 2012, 2013). Más  
106 recientemente, Xu *et al.* (2015) destacan que la variación anual en el AMF y el diámetro de  
107 las traqueidas están fuertemente ligados a factores climáticos, como temperaturas y  
108 precipitaciones. Estos autores, indicaron que los árboles podrían cambiar sus características

109 internas para adaptarse al clima cambiante. Otros aspectos que contribuyen a la variación  
110 del AMF están relacionados al sitio (Larson *et al.* 2001; Gorman *et al.* 2017), a la densidad  
111 de plantación (Winck *et al.* 2013), al manejo silvícola (Winck *et al.* 2015) y a la edad del  
112 árbol (Donaldson 1996, Long *et al.* 2000, Harding *et al.* 2004, Wu *et al.* 2009). Estas  
113 variaciones del AMF, pueden tener una influencia trascendental en las características físicas-  
114 mecánicas de la madera limitando su uso estructural. La madera de coníferas producida en  
115 su etapa juvenil, apreciada en la construcción por su relación resistencia densidad, se  
116 caracteriza por presentar un cambio progresivo en la forma y dimensiones de las células del  
117 leño y también en sus propiedades (Panshin y De Zeeuw 1980). El AMF es una de las  
118 características más utilizada para la determinación del límite entre la madera juvenil y  
119 madura (Bhat *et al.* 2001, Kojima y Yamamoto 2004). Además, la variación del AMF  
120 influye en otras propiedades de la madera. Y, si bien existen algunos antecedentes referido  
121 al AMF para el pino híbrido (Wu *et al.* 2009, Lee *et al.* 2019), no se han publicado estudios  
122 para la F<sub>1</sub> INTA-PINDO relacionados a esta temática. Consecuentemente, dada la relevancia  
123 del AMF, este trabajo propone conocer el grado de variación radial de las propiedades  
124 anatómicas de 15 familias híbridas “F<sub>1</sub> INTA-PINDO”, obtenidas de 3 posiciones (superior,  
125 media e inferior) del ranking genético de crecimiento determinado al séptimo año, como así  
126 también el límite entre madera juvenil y madura.

## 127 MATERIALES Y MÉTODOS

### 128 **Caracterización de los ensayos y selección de los árboles**

129 El material genético utilizado, pino híbrido PEE × PCH, en adelante “F<sub>1</sub> INTA-PINDO”,  
130 proviene de 2 ensayos. El primero, implantado en el campo del INTA (26° 33' latitud S y  
131 54° 40' longitud O, sitio 1) y el segundo establecido en propiedad de la empresa PINDO SA  
132 (26° 09' latitud S y 54° 26' longitud O, sitio 2). El diseño de plantación correspondió al de  
133 bloques completos, con tratamientos distribuidos al azar en parcelas lineales conformadas

134 por 5 hermanos completos. Mayores detalles respecto al material genético y características  
 135 de estos ensayos pueden verse en Belaber *et al.* (2018). El clima de la región de estudio se  
 136 caracteriza por presentar una precipitación media anual de 1864,5 mm, con temperaturas  
 137 medias en los meses más cálidos y fríos de 26,4 °C y 14,9 °C, en enero y julio,  
 138 respectivamente, con valores extremos de temperaturas de 40,6 °C y -5,6 °C (Silva *et al.*,  
 139 2019).

140 A los 11 años de edad se midió el diámetro a la altura de pecho (DAP) y altura total de  
 141 todos los árboles de ambos ensayos. En base al ranking genético de crecimiento del 7<sup>mo</sup> año,  
 142 15 de las 66 familias fueron seleccionadas para este estudio, 5 de la posición superior del  
 143 ranking (R1), 5 intermedias (R2) y 5 inferior (R3). Luego se tomó una muestra constituida  
 144 por 150 árboles (Pérez López 2005), 75 individuos de cada ensayo, abarcando la variabilidad  
 145 en DAP. De cada árbol muestreado se extrajo un tarugo radial de 5 mm de diámetro tomado  
 146 a la altura del DAP (Tabla 1).

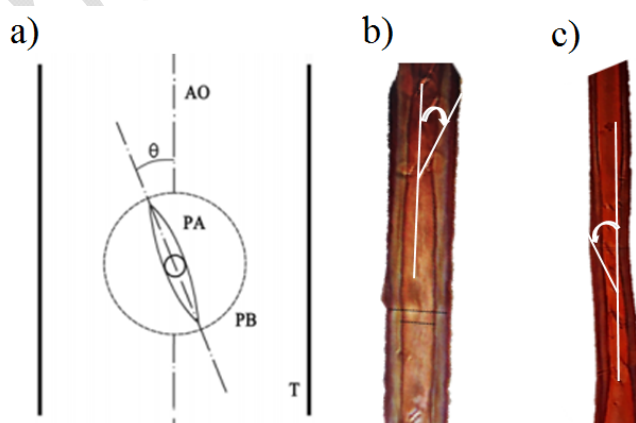
147 **Tabla 1:** Ranking genético de crecimiento para las 15 familias de ambos sitios.

| Posición en el Ranking | Crecimiento | Familia | Código Familia |
|------------------------|-------------|---------|----------------|
| R1                     | Superior    | F19     | 01             |
|                        |             | F51     | 02             |
|                        |             | F20     | 03             |
|                        |             | F28     | 04             |
|                        |             | F29     | 05             |
| R2                     | Intermedio  | F49     | 06             |
|                        |             | F4      | 07             |
|                        |             | F5      | 08             |
|                        |             | F13     | 09             |
|                        |             | F33     | 10             |
| R3                     | Inferior    | F11     | 11             |
|                        |             | F23     | 12             |
|                        |             | F59     | 13             |
|                        |             | F6      | 14             |
|                        |             | F35     | 15             |

148

149 **Preparación de muestras y medición de caracteres anatómicos**

150 Los tarugos radiales fueron secados en estufa a 70 °C por un período de 72 horas hasta  
151 alcanzar un contenido de humedad del 12 %. Posteriormente, se pulieron los tarugos, y se  
152 tomaron muestras del leño tardío de los anillos de crecimiento 4, 7, 10 y 11 se disociaron  
153 utilizando una solución de ácido acético y agua oxigenada en partes iguales (Franklin 1937),  
154 y luego se tiñeron con safranina al 1 %. Los disociados fueron observados empleando un  
155 microscopio óptico trinocular marca Nikon modelo Eclipse LV100DA-U con iluminación  
156 por luz transmitida. El sistema cuenta con una cámara digital color modelo DS-FI2-U3 cuyo  
157 software de operación para procesamiento de imágenes es NIS-Elements D versión 4.13.00  
158 64-bit. Para determinar el AMF se empleó la técnica denominada “a través de la apertura de  
159 las puntuaciones presentes en traqueidas” (Huang *et al.* 1997). El ángulo microfibrilar se  
160 midió sobre traqueidas individuales seleccionadas al azar y obtenidas del leño tardío,  
161 trazando una línea paralela al eje de la misma que pase por el centro de la puntuación (Figura  
162 1). El ángulo formado ( $\theta$ ) entre la línea que pasa por el centro de la puntuación y la  
163 orientación axial (AO) de las traqueidas indica la orientación de las microfibrillas (AMF) en  
164 la capa S2 de la pared celular secundaria.



166 **Figura 1:** (a) Diagrama del método utilizado para medir el ángulo microfibrilar de la capa  
167 S2 de la pared celular de las traqueidas, PA= apertura de la puntuación, PB= borde de la  
168 puntuación, T= traqueida (tomado de Yin *et al.* 2011), (b) y (c) fotos de traqueidas con  
169 indicación de AMF medido.

170

171 Sobre el material disociado, se realizaron 15000 mediciones para cada una de las tres  
172 características anatómicas evaluadas en las traqueidas (es decir: ancho total, ancho de lumen  
173 y ángulo microfibrilar) constituidas por 25 repeticiones evaluadas en 4 anillos de 5 árboles  
174 pertenecientes a 15 familias muestreadas en 2 sitios, siguiendo las recomendaciones de las  
175 normas IAWA (2004). El valor promedio para el ancho total, ancho de lumen y AMF para  
176 cada anillo se determinó a partir de mediciones sobre 25 traqueidas individuales. Mientras  
177 que, el espesor de pared celular se obtuvo mediante la diferencia entre el ancho total y el  
178 ancho del lumen dividido por dos.

179 Los datos se analizaron con modelos lineales mixtos. Se incluyó al árbol, como fuente de  
180 variación de efecto aleatorio, y para cada sitio y edad se tomó la familia como fuente de  
181 efecto fijo. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el software Infostat (Di Rienzo  
182 *et al.* 2020), fijando un nivel de confianza del 95 %. Se utilizó la técnica de análisis  
183 multivariado denominado “*Conglomerados o Análisis de Cluster*” para agrupar familias por  
184 características anatómicas similares y para diferenciar el límite entre madera juvenil/madura.

## 185 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

186 Los valores de diámetros a la altura de pecho de los árboles muestreados estuvieron entre  
187 11,5 cm y 40,1 cm. Mientras que la altura total tomó valores entre 12,5 m y 26,8 m. En la  
188 Tabla 2 se presenta las medidas resúmenes para las características morfológicas de las  
189 traqueidas para cada sitio. El sitio 2 presentó menores valores medios de AMF, ancho y  
190 lumen de traqueidas, y mayor valor medio de espesor y proporción de pared celular; con  
191 mayor homogeneidad, representadas mediante un menor coeficiente de variación para las  
192 distintas variables.

193

194

195

196

**Tabla 2:** Medidas resúmenes de las características morfológicas de las traqueidas.

| <b>Características de traqueidas de leño tardío</b>                               | <b>Sitio</b> | <b>n</b> | <b>Media</b> | <b>C.V.</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|---|--------------|----------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| AMF (°)   | 1            | 7500     | 29,4         | 36,6        | 5,1           | 64,6          |
|   | 2            | 7500     | 27,8         | 33,8        | 3,1           | 68,0          |
| Ancho (µm)  | 1            | 7500     | 41,9         | 21,5        | 12,5          | 96,2          |
|   | 2            | 7500     | 41,3         | 18,5        | 21,2          | 76,8          |
| Lumen (µm)  | 1            | 7500     | 27,4         | 31,3        | 6,1           | 86,3          |
|   | 2            | 7500     | 26,6         | 30,9        | 6,6           | 63,6          |
| Espesor de pared (µm)   | 1            | 7500     | 7,3          | 36,3        | 0,8           | 25,6          |
|   | 2            | 7500     | 7,4          | 32,4        | 0,8           | 17,8          |
| Proporción de pared celular (%)   | 1            | 7500     | 35,1         | 33,4        | 4,0           | 82,1          |
|   | 2            | 7500     | 36,4         | 32,6        | 4,3           | 78,5          |
| AMF= ángulo microfibrilar; n=número de mediciones; C.V.=coeficiente de variación. |              |          |              |             |               |               |

197

198

### **Variación de ángulo microfibrilar entre familias para cada sitio y edad**

199

200

201

202

203

204

205

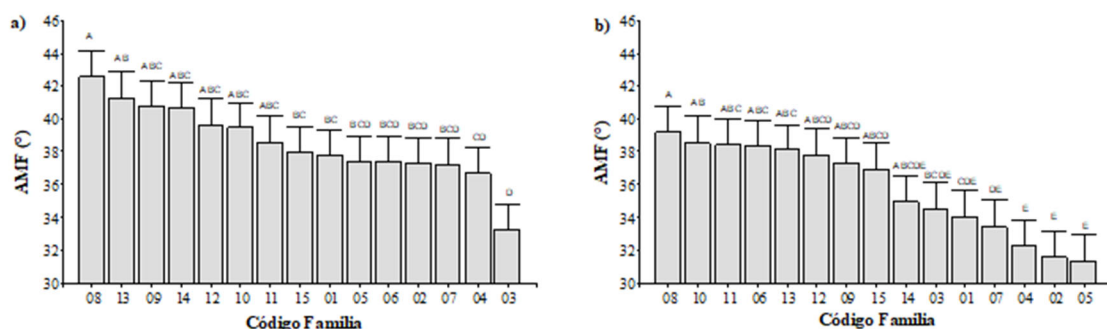
206

207

A los 4 años de edad (anillo 4), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre familias para el AMF en los sitios estudiados (valor- $p \leq 0,022$ ). Los valores medios de AMF registrados para el sitio 2 fueron menores en un 7,1 % respecto al sitio 1. Los mayores valores de AMF encontrados para el sitio 1 podrían ser atribuidos a una alta velocidad de crecimiento inicial propiciado por una disponibilidad privilegiada de recursos minerales asociados al uso anterior de la tierra. Para el sitio 1 las familias con menores valores de AMF fueron la 02, 03, 04, 05, 06 y 07, arrojando un valor medio de 36,5° (Figura 2a). Por otra parte, para el sitio 2, presentaron menores valores de AMF las familias 01, 02, 03, 04, 05, 07, con una media de 32,9° (Figura 2b). Estas familias pertenecen a la posición 1 y 2 del



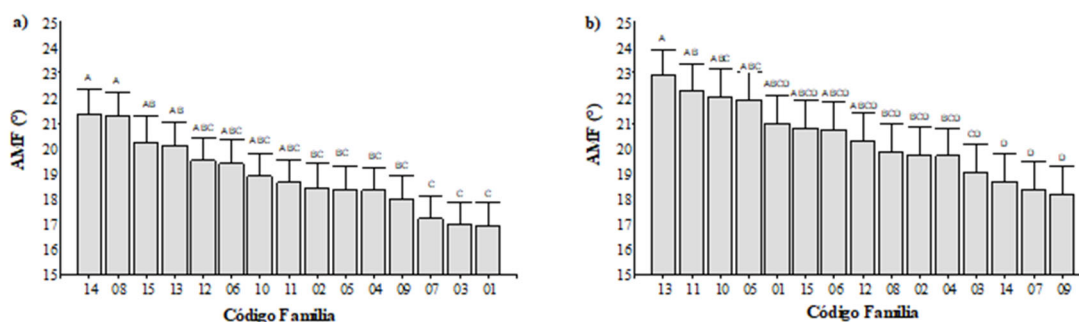
208 ranking genético de crecimiento, indicando que, al seleccionar por crecimiento,  
209 indirectamente se estaría eligiendo los ejemplares con mejor desempeño en cuanto al AMF.  
210  
211



212 **Figura 2:** AMF a los 4 años para (a) el sitio 1 y (b) el sitio 2.

213 A los 7 años de edad (anillo 7), no se encontraron diferencias estadísticamente  
214 significativas para el AMF entre las familias del sitio 1 (valor-p = 0,111), mientras que sí  
215 fueron detectadas para el sitio 2 (valor-p = 0,012). Los valores medios de AMF para el sitio  
216 1 y 2 fueron de 32,8° y 29,5°, respectivamente. Para el sitio 2 los menores valores de AMF  
217 ocurrieron para las familias 01, 03, 04, 05, 07, 08 y 14, alcanzando en estas un promedio de  
218 28,1°. Se identificaron 4 familias (03, 04, 05 y 07), con menores valores medios de AMF a  
219 los 4 y 7 años de edad. A los 10 años de edad (anillo 10), no se detectaron diferencias  
220 estadísticamente significativas para el AMF entre familias dentro del sitio 1 y 2, (valores-p  
221  $\geq 0,179$ ). Sin embargo, se mantuvo la tendencia de un menor valor de AMF para el sitio 2  
222 (25,5°) respecto del sitio 1 (27,1°). A los 11 años de edad (anillo 11) se evidenciaron  
223 diferencias estadísticamente significativas para el AMF entre familias en ambos sitios  
224 (valores-p  $\leq 0,046$ ). Los valores medios para el sitio 1 y 2 fueron de 18,9° y 20,4°,  
225 respectivamente. Los menores valores medios de AMF, en el sitio 1 incluyó a las familias  
226 01, 02, 03, 04, 05, 07 y 09 (Figura 3a). Mientras que para el sitio 2, estuvieron las familias

227 02, 03, 04, 07, 08, 09 y 14 (Figura 3b). Se identificaron 5 familias con menores valores AMF  
228 que son comunes a ambos sitios: 02, 03, 04, 07 y 09 (Figura 3a y 3b).



229 **Figura 3:** AMF a los 11 años para (a) el sitio 1 y (b) el sitio 2.

230 En resumen, los valores promedios de AMF del sitio 2 fueron menores a los del sitio 1,  
231 la excepción se dio a la edad de 11 años (Figura 3a y 3b). Esto puede deberse al uso anterior  
232 de la tierra previo a la instalación del ensayo, el cual correspondió a monte nativo para el  
233 sitio 1 y plantación de pino para el sitio 2. Las mejores condiciones físicas y de fertilidad del  
234 sitio 1, por provenir de monte nativo, pudieron haber contribuido al desarrollo inicial en los  
235 primeros años de crecimiento, resultando en un mayor incremento radial de los árboles y  
236 repercutiendo en esta característica anatómica que está muy ligada a la velocidad de  
237 crecimiento y por lo tanto al tamaño del individuo. En el caso del sitio 2, el contenido de  
238 nutrientes del suelo pudo verse disminuido debido al uso anterior de la tierra, la exportación  
239 de nutrientes producto de la cosecha y preparación del terreno para el establecimiento de la  
240 nueva plantación (Martirena *et al.* 2007). Siendo, el contenido de fósforo el más afectado  
241 por estas actividades, limitante del crecimiento por su baja disponibilidad en el suelo de la  
242 provincia Misiones (Goya *et al.* 2003).

### 243 **Variación de ángulo microfibrilar del material híbrido para cada sitio y edad**

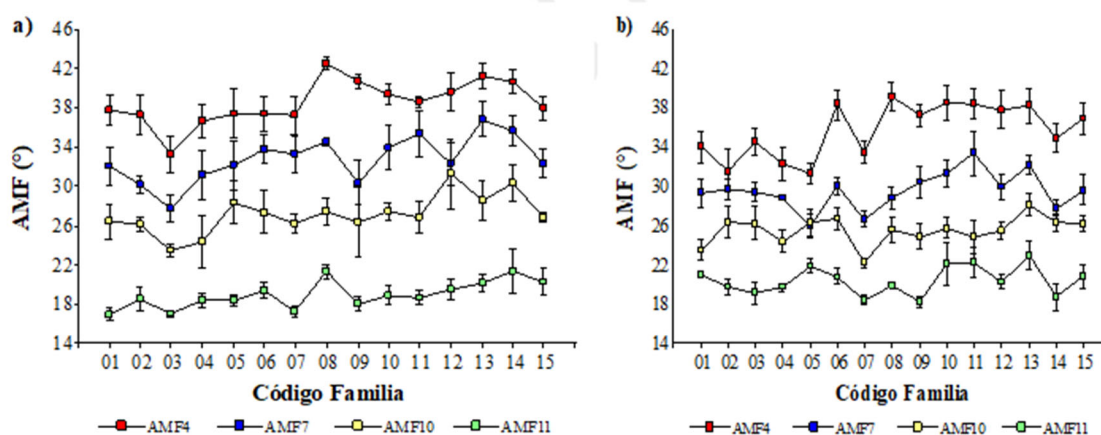
244 Para esta sección del análisis se consideró a todas las familias como un único material  
245 genético. Para las edades evaluadas, los valores medios de AMF variaron aproximadamente  
246 en 20° y 15° para el sitio 1 y 2, respectivamente. Entre los 4 y 11 años de edad los valores  
247 de AMF variaron entre 38,5° y 18,9° para el sitio 1 y entre 35,8° y 20,4° para el sitio 2,

248 siendo estas diferencias significativas (valores- $p \leq 0,0001$ ). En ambos sitios existió una  
249 disminución del AMF con la edad, observándose menores variaciones para el sitio 2. Para  
250 los períodos comprendidos entre los 4 y 7 años, y 7 a 10 años el descenso anual en el AMF  
251 fue de aproximadamente 2 °/año. Mientras que, entre los 10 y 11 años el AMF disminuyó  
252 en promedio aproximadamente 7 °/año. Considerando ambos sitios, el AMF presentó una  
253 reducción porcentual de 38,2 % en su valor promedio.

254 Valores similares a los encontrados en este estudio fueron reportados por Wu *et al.*  
255 (2009). Estos autores observaron que el AMF disminuyó entre 34° y 17° entre la médula y  
256 la corteza en árboles de 11 años de edad de PEE, PCH y en la F<sub>1</sub> PEE × PCH australiana. El  
257 menor valor de AMF medio fue para el híbrido F<sub>1</sub> PEE × PCH. También observaron una  
258 estabilización en el valor del mismo a partir de los 8 años de edad. Asimismo, Harding *et al.*  
259 (2004), reportaron para los 11 mejores clones australianos F<sub>1</sub> de pino híbrido PEE × PCH a  
260 los 5 años de edad, valores ponderados de AMF obtenidos con Silviscan de 19,8°, 25,4° y  
261 29,1° mínimos, medios y máximos, respectivamente. Por su parte, Long *et al.* (2000)  
262 indicaron que, a partir de los 10 años el valor de AMF se aproxima a los 10°, (esta variación  
263 depende de la especie), proporcionando madera más estable y homogénea en sus propiedades  
264 mecánicas. Sugiriendo, que a partir de los 11 años se obtendría un leño más estable  
265 dimensionalmente y con propiedades estructurales sustancialmente mejoradas. Asimismo,  
266 Long *et al.* (2000), mencionan que en varios trabajos teóricos y experimentales se ha  
267 demostrado que el módulo de elasticidad de la madera y la resistencia de las fibras se  
268 mantienen constantes para valores bajos de AMF (5°-10°), y que en maderas con AMF de  
269 40°, su resistencia en la dirección longitudinal es reducida a un tercio (1/3) y su rigidez a un  
270 quinto (1/5) de su valor, respecto a las maderas que presenten valores entre 0° a 10° de AMF.

271 Para el crecimiento en diámetro a la altura de pecho y la altura total de los árboles no se  
272 detectaron diferencias importantes entre los ensayos 1 y 2. Mientras que fue notable el efecto

273 del sitio sobre el AMF. Contrariamente, Donaldson (1996) no detectó efecto del sitio sobre  
274 el AMF en el material examinado de *Pinus radiata*, pero sí de la edad fisiológica;  
275 remarcando que el envejecimiento fisiológico produjo una disminución significativa en los  
276 valores de AMF en la madera juvenil. Por su parte, para *Pinus taeda*, Bendtsen y Senft  
277 (1986) determinaron valores de 31,1° en madera juvenil y 18,9° en madera madura. También  
278 para *Pinus taeda*, Groom *et al.* (2001) establecieron un valor promedio de AMF de 15,4°  
279 grados, con valores de 26,8° y 6,1° en los anillos de crecimiento 5 y 48, respectivamente. En  
280 este trabajo, se observó que a los 11 años los valores de AMF fueron más uniformes que a  
281 edades más tempranas (Figura 4a y 4b), verificado por los menores desvíos respecto al valor  
282 medio de cada familia, lo que estaría indicando una estabilización en las características del  
283 leño y posiblemente con presencia de madera con mejores rasgos para usos sólidos, con un  
284 mayor valor de densidad, rigidez y resistencia.



285 **Figura 4:** Variación del ángulo microfibrilar por familias a los 4 (AMF4), 7 (AMF 7),  
286 10 (AMF10) y 11 (AMF11) años de edad para (a) sitio 1 y (b) sitio 2.

287 Finalmente, a través del análisis de conglomerados se reconocieron 4 familias (01, 03, 04  
288 y 07), que independientemente de la edad evaluada y del sitio en el que se encontraban,  
289 arrojaron menores valores medios de AMF. Esta es una de las características deseable de  
290 selección, que suele ser utilizada como indicador de la calidad estructural de la madera, a  
291 edades tempranas.

292 **Variación del ancho y lumen de traqueidas entre familias para cada sitio y edad**

293 No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas para el ancho de traqueidas  
294 entre las familias a las edades 4, 7, 10 y 11 años en los sitios evaluados (valores- $p \geq 0,063$ ).  
295 El valor medio de ancho de traqueidas del leño tardío fue de 41,6  $\mu\text{m}$ , con mínimos de 30,3  
296  $\mu\text{m}$  y máximos de 65,3  $\mu\text{m}$ . Además, no hubo variaciones significativas entre familias para  
297 el lumen de traqueidas para las edades y sitios considerados (valores- $p \geq 0,107$ ). Los valores  
298 promedios para el lumen de traqueidas para ambos sitios oscilaron entre 38,8  $\mu\text{m}$  a los 4  
299 años y 19,7  $\mu\text{m}$  a los 11 años de edad.

300 Considerando a todas las familias como un único material genético, se evidenció una  
301 disminución estadísticamente significativa del ancho y del lumen de traqueidas con la edad  
302 del árbol (valor- $p \leq 0,000$ ). La reducción fue más marcada entre los 10 y 11 años,  
303 representando un 46,8 % de la variación total en el ancho, lo que podría estar indicando  
304 presencia de madera madura a los 11 años. Los valores expresados en este estudio se  
305 encuentran dentro del rango determinado para este taxón (Núñez 2018) y menores a los  
306 determinados por Boschiero (2009) para madera adulta de PCH. Mientras que, para *P. taeda*  
307 Winck *et al.* (2019) encontraron patrones contradictorios a este, reportaron que el ancho de  
308 traqueidas no varió significativamente con la posición social del árbol ni con los tratamientos  
309 de poda. Por otro lado, de los 4 a los 11 años, el descenso en el valor promedio de lumen  
310 celular fue de 10,3  $\mu\text{m}$ , este comportamiento fue más pronunciado entre los 10 y 11 años de  
311 edad, donde la merma fue 36,9 % (3,8  $\mu\text{m}$ ). Los valores expresados en este estudio se  
312 encuentran dentro del rango determinados por Núñez (2018) para el híbrido “F<sub>1</sub> INTA-  
313 PINDO” quien determinó un valor promedio de 27,7  $\mu\text{m}$  para el ancho del lumen del leño  
314 de verano, siendo muy similar a los alcanzados en este trabajo (25,7  $\mu\text{m}$ ). Por otro lado,  
315 fueron menores a los determinados por Boschiero (2009) para madera adulta de PCH.

316 **Variación del espesor y proporción de pared celular entre familias para cada sitio**  
317 **y edad**

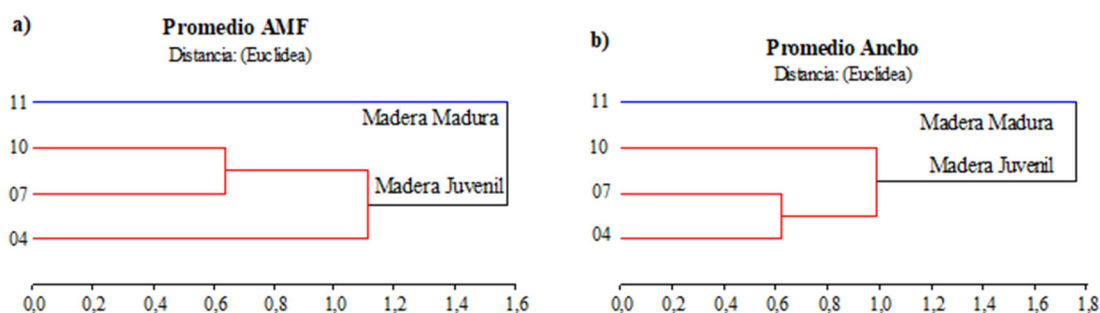
318 Para la mayoría de las edades, no se evidenciaron diferencias estadísticamente  
319 significativas entre familias para el espesor y proporción de pared celular en los sitios para  
320 las edades consideradas (valores- $p \geq 0,103$ ), salvo para el espesor de pared en sitio 2 a los  
321 10 años (valor- $p = 0,036$ ) y para la proporción de pared celular en sitio 1 a los 7  
322 (valor- $p = 0,041$ ) y 10 (valor- $p = 0,005$ ) años de edad. De todas maneras, el sitio 2 presentó  
323 mayores valores medios de espesor de pared en las edades 4, 7 y 10, excepto a los 11 años.

324 Considerando a todas las familias de ambos sitios como un único material genético, el  
325 espesor y la proporción de pared presentaron diferencias estadísticamente significativas  
326 entre edades (valor- $p = 0,000$ ), aumentaron con el transcurso del tiempo. Este  
327 comportamiento fue más notorio entre los 10 y 11 años para ambas variables, donde el  
328 incremento porcentual representó un 31,2 % y 37,0 % de la variación total, para el espesor  
329 y proporción de pared celular, respectivamente. Los valores medios de espesor de pared del  
330 leño tardío estuvieron entre 5,5  $\mu\text{m}$  a los 4 años y 8,8  $\mu\text{m}$  a los 11 años de edad, con valor  
331 mínimo y máximo de 3,4  $\mu\text{m}$  y 12,4  $\mu\text{m}$ , respectivamente. No obstante, estos valores podrían  
332 variar, si las mediciones se realizan sobre cortes obtenidos con micrótopo, debido a que en  
333 las fibras disociadas pueden sufrir un aplastamiento como consecuencia de la técnica  
334 utilizada. Por otra parte, los valores medios de proporción de pared celular permanecieron  
335 entre el 26,1 % y 45,0 %, a los 4 y 11 años, respectivamente, registrándose valores extremos  
336 de 13,7 % y 62,1 % para el rango de edades evaluadas. La proporción de pared a los 11 años  
337 fue similar en ambos sitios. La tendencia encontrada para estas variables es inversa a la del  
338 AMF, esto podría indicar la posibilidad de contar con madera de calidad estructural más  
339 homogénea, ya que también en el sitio 2 se registraron menores valores medios de AMF y  
340 mayores valores medios de espesor y proporción de pared de celular. No se encontraron

341 antecedentes para el espesor y proporción de pared celular para el pino híbrido “F<sub>1</sub> INTA  
342 PINDO”. Sin embargo, para leño adulto del parental masculino (PCH) Boschiero (2009)  
343 reportó valores entre 14,2  $\mu\text{m}$  y 26,5  $\mu\text{m}$  para espesor de pared celular. Por otro lado, para  
344 *Pinus taeda* de 16 años de edad, Winck *et al.* (2019) reportaron valores similares de espesor  
345 de pared celular (8,1  $\mu\text{m}$ ).

### 346 **Transición de madera juvenil a madera madura**

347 La evaluación de las características anatómicas en su conjunto es considerada de  
348 importancia, para definir un uso más adecuado de la materia prima. Sin embargo, para  
349 especificar parámetros indicadores de la calidad estructural de la madera se aconseja tener  
350 en cuenta al AMF y el espesor de pared celular como valor de diagnóstico (Donaldson 1996;  
351 Long *et al.* 2000; Hein *et al.* 2013), dado que están íntimamente relacionados con su  
352 comportamiento físico-mecánico, y por lo tanto, con su procesamiento tecnológico (Winck  
353 2015). A través del análisis de conglomerado se pudieron observar 2 regiones bien  
354 demarcadas por los valores de AMF y ancho de traqueidas, indicando la formación de  
355 madera madura a partir de los 10 años de edad (Figura 5a y 5b). Sin embargo, cuando se  
356 realiza el dendrograma para el lumen, espesor y proporción de pared celular, el límite ocurre  
357 a los 7 años de edad.



358 **Figura 5:** Dendrograma del límite entre madera juvenil y madura en base a (a) AMF y  
359 (b) ancho de traqueidas.

360 La edad de demarcación entre madera juvenil y madura no es la misma para cada  
361 propiedad, sino que varía según la característica que se considere, coincidiendo con Larson

362 *et al.* (2001); Nawrot *et al.* (2014) y Wang *et al.* (2021). Esto indica que el control fisiológico  
363 del proceso de maduración de las variables anatómicas está determinado por el desarrollo  
364 del fuste y de la copa durante el crecimiento del árbol (Zobel y Sprague 1998). Para las  
365 familias de pino híbrido “F<sub>1</sub> INTA-PINDO” utilizadas este estudio, la edad de transición  
366 varía entre los 7 y 10 años, según la variable considerada. No obstante, este rango de edades  
367 para la transición entre madera juvenil y madura es muy similar al registrado para uno de los  
368 parentales de este taxón. Por ejemplo, Sackser *et al.* (2018) en base a la densidad básica de  
369 la madera, determinaron que para *Pinus elliottii*, se encuentra entre los 7 y 9 años de edad,  
370 según Zobel y Sprague (1998) entre los 5-8 años, para Clark y Saucier (1989) la producción  
371 de madera juvenil se genera entre los 10 y 14 años. Mientras que, para *Pinus taeda*, se  
372 encuentra entre los 7 y 11 años (Clark y Saucier 1989 y Tasissa y Burkhart 1998). Además,  
373 la edad de transición varía entre especies y entre árboles de una misma especie. Lee *et al.*  
374 (2019) determinaron a través del módulo de elasticidad dinámico, que la edad de transición  
375 para el híbrido PEE × PCH ocurre entre los 5 y 10 años de edad. También Meza y Romero  
376 (1999) para PCH, indicaron que la madera juvenil se forma hasta los 11 años, coincidiendo  
377 con las deducciones del presente estudio para el híbrido “F<sub>1</sub> INTA-PINDO”.

378 En este sentido, se reconoce que la madera juvenil representa las células del xilema  
379 formadas por un cambium inmaduro durante los primeros años de vida del árbol. Este tipo  
380 de leño exhibe elementos longitudinales más cortos y paredes celulares más delgadas, con  
381 una mayor variabilidad. Por lo tanto, las propiedades de la madera juvenil difieren de las del  
382 resto del árbol, con cualidades mecánicas inferiores respecto a la madera madura (Winck *et*  
383 *al.* 2013; Gorman 2018). Por su parte, Zobel (1984) sostiene que el leño juvenil en las  
384 especies de coníferas no es de mala calidad, sino simplemente diferente. Por lo tanto, se debe  
385 adaptar al destino final para que pueda cumplir con los requisitos relacionados al uso y la  
386 satisfacción de las necesidades de los consumidores Zobel (1984). Este autor también hace



387 referencia a que la madera juvenil en algunas ramas de la industria (particularmente en la  
388 industria de la pulpa y el papel) alcanza propiedades de rendimiento igual o superior al de la  
389 madera madura. Consecuentemente, no puede tratarse como un producto de bajo valor, sino  
390 más bien es necesario buscar nuevas alternativas para su procesamiento y utilización más  
391 racional. También Nawrot *et al.* (2014) indica que la presencia de madera juvenil no puede  
392 ser eliminada, debido a que es producto del proceso de crecimiento y desarrollo de los  
393 árboles, y que solo se puede reducir su proporción dentro de ciertos límites, utilizando  
394 medidas silvícolas apropiadas. En concordancia con esto, Larson *et al.* (2001) y Gorman *et*  
395 *al.* (2018) encontraron diferencias significativas en el período de transición de la madera  
396 juvenil a madura entre sitios, y, atribuyeron períodos de transición más largos en los rodales  
397 en el que los árboles exhibieron ramas inferiores persistentes. Por ello indicaron que las  
398 condiciones de la masa forestal pueden tener una influencia sustancial en las características  
399 físicas y mecánicas del material cuando el mismo es utilizado como madera estructural y/o  
400 productos aserrados sólidos. En el material estudiado la poda fue realizada a los 3 años, si se  
401 hubieran efectuado una segunda poda, la madera podría haber alcanzado una mayor  
402 uniformidad en el sentido radial.

### 403 CONCLUSIONES

404 Los valores medios de ángulo microfibrilar del sitio 2 fueron menores a los del sitio 1, la  
405 excepción se dio para los 11 años. Dado que los sitios son cercanos y de características  
406 similares, esto puede deberse a un efecto relacionado al uso anterior de la tierra, previo a la  
407 instalación del ensayo.

408 Ocurrió una disminución del ángulo microfibrilar con la edad, independientemente de la  
409 familia evaluada y del sitio considerado. Este decrecimiento anual fue más marcado en el  
410 último período evaluado, indicando posiblemente la presencia de madera madura. Se

411 recomienda constatar este comportamiento, tomando barrenas de los árboles en pie de ambos  
412 ensayos y para evaluar anualmente dichas características en los años consecutivos.

413 El ancho total de traqueidas, el ancho del lumen, el espesor y la proporción de pared  
414 celular no variaron significativamente según sitios y familias consideradas. Sin embargo,  
415 para las distintas variables analizadas existió una diferenciación, con un patrón más marcado  
416 entre los 10 y 11 años de edad.

417 Este estudio indica que las familias pertenecientes a la posición 1 del ranking de  
418 crecimiento son más prometedoras, tanto por su crecimiento como por sus características en  
419 cuanto al valor de ángulo microfibrilar, además porque mantuvieron su superioridad a lo  
420 largo del tiempo. Estas fueron las familias 01, 03, 04 y 07. Esto sugiere la factibilidad de  
421 realizar la propagación del material genético en base a su crecimiento volumétrico, sin que  
422 sean afectadas negativamente las características relacionadas a la calidad estructural. Sin  
423 embargo, con los análisis de los perfiles de microdensidad de todos anillos de crecimiento y  
424 la caracterización de las propiedades físico-mecánicas de los materiales genéticos y sus  
425 relaciones con la morfometría celular se podrán obtener conclusiones concretas.

426 Las familias pertenecientes a la posición 3 del ranking genético, de menor crecimiento,  
427 presentaron un mayor valor de ángulo microfibrilar. Por estas dos razones no se recomienda  
428 invertir recursos en su reproducción.

#### 429 **AGRADECIMIENTOS**

430 Agradecemos a la empresa Pindó S.A. quien nos facilitó el sitio donde oportunamente se  
431 instaló uno de los ensayos de progenies, además por su colaboración en el mantenimiento y  
432 el cuidado del mismo. Al Proyecto INTA 2019-PE-E6-I146-001: Mejoramiento genético de  
433 especies forestales cultivadas de rápido crecimiento: un desarrollo clave para el  
434 fortalecimiento de la foresto industria nacional, por el financiamiento brindado para

435 desarrollar la investigación. Y a Elsa Figueredo por la cooperación en las tareas de  
436 laboratorio.

437

## REFERENCIAS

438 **Acevedo, P.; Winck, R.A.; Suirezs, M.T.; Gauchat, M.E.; Belaber, E. 2016.**  
439 Compresión paralela y tracción perpendicular de la madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x  
440 *P. caribaea* var. *hondurensis*. En XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia,  
441 Argentina. 5p. <https://maderamen.com.ar/desarrollo-forestal/2016/09/26/xxx-jornadas-forestales-de-entre-rios-concordia-29-y-30-de-septiembre-2016/>.

442  
443 **Belaber, E.C.; Gauchat, M.E.; Reis, H.D.; Borralho, N.M.; Cappa, E.P. 2018.**  
444 Genetic Parameters for Growth, Stem Straightness, and Branch Quality for *Pinus*  
445 *elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F<sub>1</sub> Hybrid in Argentina. *For Sci*  
446 64(6): 595–608. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxy021>.

447 **Bendtsen, B.A.; Senft, J. 1986.** Mechanical and anatomical properties in individual  
448 growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood Fiber Sci*  
449 18(1): 23-38. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/990/990>.

450 **Bhat, K.M.; Priya, P.B.; Rugmini, P. 2001.** Characterization of juvenile wood in  
451 teak. *Wood Fiber Sci* 34: 517– 532. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs002260000067>.

452  
453 **Boschiero Ferreira A.T. 2009.** Caraterização da estrutura anatómica do lenho, dos anéis  
454 de crescimento e dos canais de resina de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr,  
455 et Golf. Teses de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brazil.

456 **Cappa, P.; Marcó, M.A.; Nikles, D.G.; Last, I.A. 2013.** Performance of *Pinus elliottii*,  
457 *Pinus caribaea*, their F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the  
458 Mesopotamia región, Argentina. *New For* 44: 197-218. <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9311-2>.

459  
460 **Clark, A. y Saucier, J.R. 1989.** Influence of initial planting density, geographic location,  
461 and species on juvenile Wood formation in southern pines. *For Prod J* 39: 42-48.

462 **Deresse, T.; Shepard, R.K.; Shaler, S.M. 2003.** Microfibril angle variation in red pine  
463 (*Pinus resinosa* Ait.) and its relation to the strength and stiffness of early juvenile wood.  
464 *For Prod J* 53: 34– 40. <http://kb.forestprod.org/Main/ind/?id=67004>.

465 **Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M.;**  
466 **Robledo, C.W. 2020.** InfoStat versión 2020. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional  
467 de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=46>.

468 **Donaldson, L.A. 1996.** Effect of physiological age and site on microfibril angle in *Pinus*  
469 *radiata*. *IAWA J* 17(4): 421-429. [https://brill.com/view/journals/iawa/17/4/article-p421\\_8.xml](https://brill.com/view/journals/iawa/17/4/article-p421_8.xml).

471 **Franklin, G.L. 1937.** Permanent preparations of macerated wood fibers. *Tropical Woods*  
472 49: 21-2.

473 **Gauchat, M.E.; Rodríguez, G.H.; Belaber, E.; Bischoff, D. 2005.** Híbridos de alta  
474 productividad combinando crecimiento y forma: *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea*  
475 var. *hondurensis*. *Idia XXI* 5(8): 162-164.  
476 <http://catalogosuba.sisbi.uba.ar/vufind/Record/KOHA-OAI-AGRO:25537>.

477 **Gorman, T.M.; Kretschmann, D.E.; Green, D.W.; Wiemann, M.C. 2018.** Effect of  
478 site characteristics on juvenile wood transition in lodge pole pine in the inland northwest.  
479 *Wood Fiber Sci* 50(2): 180- 192. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/2686>.

480 **Goya, J.; Pérez, C.; Frangi, J.; Fernández, R. 2003.** Impacto de la cosecha y destino  
481 de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda*

- 482 L. Ecol. austral. *Asociación Argentina de Ecología* 13(2): 139-150.  
483 <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42428>.
- 484 **Groom, L.; Shaler, S.; Mott, L. 2002.** Mechanical Properties of Individual Southern  
485 Pine Fibers. Part III: Global Relationships Between Fiber Properties and Fiber Location  
486 Within an Individual Tree. *Wood Fiber Sci* 34(2): 238-250.  
487 <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1884>.
- 488 **Harding, K.J., Copely, T.R., Toon, P.G.; Dieters, M.J. 2004.** Improving wood quality  
489 in a hybrid pine clonal forestry program in Queensland, Australia. IUFRO Forest  
490 Genetics Meeting Proceedings 59- 371. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:101610>.
- 491 **Hein, P.R.G.; Silva, J.R.M.; Brancheriau, L. 2013.** Correlations among microfibril  
492 angle, density, modulus of elasticity, modulus of rupture and shrinkage in 6-year-old  
493 *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*. *Maderas-Cienc Tecnol* 15(2): 171-182.  
494 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000014>
- 495 **Huang, C.L.; Kutscha, N.P.; Leaf, G.J.; Megraw, R.A. 1997.** Comparison of  
496 microfibril angle measurement techniques. In: B.G. Butterfield (ed.), Microfibril angle in  
497 wood: 177-205. *IAWA and IUFRO*, Christchurch, New Zealand.
- 498 **IAWA. International Association of Wood Anatomy. 2004.** List of microscopic  
499 features for softwood identification. *IAWA bulletin* 25(1): 1-70. [https://www.iawa-](https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/01_IAWA-Softwood_List.pdf)  
500 [website.org/uploads/soft/Abstracts/01\\_IAWA-Softwood\\_List.pdf](https://www.iawa-website.org/uploads/soft/Abstracts/01_IAWA-Softwood_List.pdf).
- 501 **Kojima, Y.; Yamamoto, H. 2004.** Effect of microfibril angle to the longitudinal  
502 tensile creep behavior of wood *J Wood Sci* 50: 301– 306. [https://jwoodscience.springeropen](https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/s10086-003-0565-3)  
503 [n.com/articles/10.1007/s10086-003-0565-3](https://jwoodscience.springeropen.com/articles/10.1007/s10086-003-0565-3).
- 504 **Larson, P.R.; Kretschmann, D.E.; Clark, A. III; Isebrands, J.G. 2001.** *Formation and*  
505 *properties of juvenile wood in southern pines*. General technical report FPL-GTR-129.  
506 USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. Pp 42.  
507 <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr129.pdf>
- 508 **Lee, D.; Bailleres, H.; Kumar, C.; Psaltis, S.; Hopewell, G.; Brancheriau, L. 2019.**  
509 Improving returns from southern pine plantations through innovative resource  
510 characterization. *For Wood Prod Aust* Level 11, 10-16 Queen St, Melbourne, Victoria,  
511 Australia. 170p. [https://www.fwpa.com.au/images/resources/-2019/Final\\_Report\\_Southe](https://www.fwpa.com.au/images/resources/-2019/Final_Report_Southern_Pines_PNC361-1416.pdf)  
512 [rn\\_Pines\\_PNC361-1416.pdf](https://www.fwpa.com.au/images/resources/-2019/Final_Report_Southern_Pines_PNC361-1416.pdf).
- 513 **Long, J.; Conn, A.B.; Batchelor, W.B.; Evans, R. 2000.** Comparison of methods to  
514 measure fibril angle in wood fibres. *Appita J* 53: 206-209.  
515 [https://users.monash.edu.au/~batchelo/Downloads/Comparison%20or%20methods%20to](https://users.monash.edu.au/~batchelo/Downloads/Comparison%20or%20methods%20to%20measure%20wood%20fibres.pdf)  
516 [%20measure%20wood%20fibres.pdf](https://users.monash.edu.au/~batchelo/Downloads/Comparison%20or%20methods%20to%20measure%20wood%20fibres.pdf).
- 517 **Martiarena R.; Von Wallis; A.; Fernández, R.; Knebel, O. 2007.** Efecto de prácticas  
518 de preparación de terreno sobre el contenido de nutrientes y el crecimiento en plantaciones  
519 forestales. *Avances en Ingeniería agrícola 2005–2007*. Pp. 303-310.
- 520 **Meza, D.J.; Romero, A. 1999.** Estimaron una edad de transición de 11 años en *Pinus*  
521 *caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf. de una plantación en la Sabana Oaxaca. Tesis  
522 profesional. Universidad Nacional de Chapingo. Mexico. Pp 76.
- 523 **Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. 2019.** *Secretaría de Ambiente y*  
524 *Desarrollo Sustentable. Plan estratégico forestal y foresto industrial argentina*  
525 *2030*. Dirección Nacional de Desarrollo Forestal 180p. Industrial  
526 (DNDFI). <http://www.afoa.org.ar/web/PublicacionForestales-11Dic2019.pdf>
- 527 **Nawrot, M.; Pazdrowski, W.; Walkowiak, R.; Szymański, M.; Kaźmierczak, K.**  
528 **2014.** Analysis of coniferous species to identify and distinguish juvenile and mature wood.  
529 *J For Sci* 60(4): 143– 153. [https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/78\\_2013-](https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/78_2013-JFS.pdf)  
530 [JFS.pdf](https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/78_2013-JFS.pdf).

- 531 **Nuñez, V.S. 2018.** Dinámica de la actividad cambial en pino híbrido y sus especies  
532 parentales. Estudio de caso. Tesina de grado. Universidad Nacional de Misiones, Eldorado,  
533 Misiones, Argentina. 30p.
- 534 **Panshin, A.J.; de Zeeuw, C. 1980.** *Textbook of wood technology: Structure,*  
535 *identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and*  
536 *Canada.* New York, McGraw-Hill. 772p. <https://searchworks.stanford.edu/view/801946>.
- 537 **Pereyra, O.; Suirezs, T.M.; Bobadilla, E.A.; Weber, E.M.; Gamarra, N.G. 2007.**  
538 Estudio de los pesos específicos aparentes, contracciones, hinchamiento, anisotropía y punto  
539 de saturación de fibras de la madera del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea*  
540 var. *Hondurensis*. En III Congreso Iberoamericano de Productos Forestales. Buenos Aires;  
541 Argentina. [https://www.todoagro.com.ar/iberomadera-2007-congreso-iberoamericano-de-](https://www.todoagro.com.ar/iberomadera-2007-congreso-iberoamericano-de-productos-forestales/)  
542 [productos-forestales/](https://www.todoagro.com.ar/iberomadera-2007-congreso-iberoamericano-de-productos-forestales/)
- 543 **Pereyra, O.; Suirezs, T.M.; Bobadilla, E.A.; Weber, E.M.; Gamarra, N.G. 2008.**  
544 Propiedades mecánicas de la madera del híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea*  
545 var. *hondurensis*, Misiones, Argentina. En 13ª Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales.  
546 El dorado. Misiones; Argentina. <https://www.jotefa.com/actas>.
- 547 **Pérez López, César. 2005.** *Muestreo estadístico: conceptos y problemas resueltos.* 1ª ed.  
548 Editorial Alhambra, Argentina. 392p. [https://libinter.com.ar/libro.php?libro\\_id=5392](https://libinter.com.ar/libro.php?libro_id=5392)
- 549 **Sackser, M.R.; Valdés, P.A.; Grance, L.A.; Bohren, A.V.; Aguilera, M.A.; Andrade,**  
550 **N.Y.; Grance, J.R.F. 2018.** Densidad de la madera de *Pinus elliottii* var. *Elliottii* Engelm  
551 de 21 años de edad, a distintas alturas desde la medula a la corteza; estimación del límite  
552 madera juvenil–madura. *Revista Forestal Yvyrareta* 26: 29-37.  
553 [http://www.yvyrareta.com.ar/images/descargas/N26/Articulo\\_Sackser\\_2018.pdf](http://www.yvyrareta.com.ar/images/descargas/N26/Articulo_Sackser_2018.pdf).
- 554 **Silva, F.; Haberle, T; Müller, H; Münz, R.; Visentini, J. 2019.** Normales del clima de  
555 la región de Montecarlo. Actas XVIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. - FCF,  
556 UNaM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. 526-528p.  
557 <https://www.jotefa.com/actas#portada>
- 558 **Tasissa, G.; Burkhart, H.E. 1998.** Juvenile-mature wood demarcation in loblolly pine  
559 trees. *Wood Fiber Sci* 30(2): 119- 127. <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/64>
- 560 **Wang, Y.; Zhang, R; Zhou, Z. 2021.** Radial variation of wood anatomical properties  
561 determines the demarcation of juvenile-mature wood in *Schima superba*. *Forests* 12(4): 512.  
562 <https://doi.org/10.3390/f12040512>.
- 563 **Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Area, M.C. 2015.** Efecto del raleo sobre las propiedades  
564 anatómicas de la madera de *Pinus taeda*. *Madera-Cienc Tecnol* 17(2): 391-406.  
565 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2015005000037>
- 566 **Winck, R.A.; Fassola, H.E.; Tomazello, M.F.; Area, M.C. 2013:** Case Study:  
567 Microfibril angle and its relationship with basic density in *Pinus taeda* L. wood from  
568 silvopastoral systems. *Revista O Papel.* 745: 55-61.  
569 [http://www.revistaopapel.org.br/edicoes\\_impresas/71.pdf](http://www.revistaopapel.org.br/edicoes_impresas/71.pdf).
- 570 **Winck, R.A.; Martínez, M.I.; Romberg, E.I.; Fassola, H.E.; Bohren, A.V.; Aquino,**  
571 **D.R. 2019.** Morfometría de traqueidas de *Pinus taeda* L. provenientes de un ensayo de poda  
572 en NE de Argentina. *Floresta* 49(3): 50– 512. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v49i3.59546>
- 573 **Wu, H.; McRae, T.; Southerton, S.; Gapare, W.; Baltunis, B.; Li, X.; Dillon, S.;**  
574 **Ivkovic, M.; Powell, M.; Dieters, M.; Harding, K.; Matherson, C.; Ilic, J. 2009.**  
575 Quantitative and molecular genetics of juvenile wood traits in radiate and slash/Caribbean  
576 pines. *For Wood Prod Aust* Level 4, 10-16 Queen St, Melbourne, Victoria, 3000. Pp 309.  
577 [https://www.fwpa.com.au/resources/resources/85-quantitative-and-molecular-genetics-of-](https://www.fwpa.com.au/resources/resources/85-quantitative-and-molecular-genetics-of-juvenile-wood-traits-in-radiata-and-slash-caribbean-pines.html)  
578 [juvenile-wood-traits-in-radiata-and-slash-caribbean-pines.html](https://www.fwpa.com.au/resources/resources/85-quantitative-and-molecular-genetics-of-juvenile-wood-traits-in-radiata-and-slash-caribbean-pines.html)
- 579 **Xu, J.M.; Lu, J.X.; Bao, F.C.; Evans, R.; Downes, M.G.; Huang, R.F.; Zhao, Y.K.**  
580 **2012.** Cellulose microfibril angle variation in *Picea crassifolia* tree rings improves climate

- 581 signals on the Tibetan plateau. *Trees* 26: 1007–1016.  
582 <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00468-012-0678-7>.
- 583 **Xu, J.M.; Lu, J.X.; Bao, F.C.; Evans, R.; Downes, M.G. 2013.** Climate response of  
584 cell characteristics in tree rings of *Picea crassifolia*. *Holzforschung* 67(2): 217–225.  
585 <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/hf-2011-0144/html>.
- 586 **Xu, J.M.; Lu, J.X.; Evans, R.; Downes, G.M. 2015.** Climatic signal in cellulose  
587 microfibril angle and tracheid radial diameter of *Picea crassifolia* at different altitudes of the  
588 Tibetan plateau, northwest China. *Wood Sci Technol* 49: 1307– 1318. [https://doi.org/10.10](https://doi.org/10.1007/s00226-015-0753-5)  
589 [07/s00226-015-0753-5](https://doi.org/10.1007/s00226-015-0753-5).
- 590 **Yin, Y.; Song, K.; Liu, B.; Jiang, X. 2011.** Variation of microfibril angle in plantation  
591 trees of *Cunninghamia lanceolata* determined by pit apertures and x-ray diffraction. *IAWA*  
592 *J* 32(1): 77–87. [https://brill.com/view/journals/iawa/32/1/article-p77\\_7.xml](https://brill.com/view/journals/iawa/32/1/article-p77_7.xml).
- 593 **Zobel, B.J. 1984.** The changing quality of the world wood supply. *Wood Sci Technol* 18:  
594 1–17. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00632127>
- 595 **Zobel, B.J. and Sprague, J.R. 1998.** *Juvenile wood in forest trees*. Springer - Verlag,  
596 Berlin, Heidelberg. Pp 311. [https://www.booktopia.com.au/juvenile-wood-in-forest-trees-](https://www.booktopia.com.au/juvenile-wood-in-forest-trees-bruce-j-zobel/book/9783642721281.html)  
597 [bruce-j-zobel/book/9783642721281.html](https://www.booktopia.com.au/juvenile-wood-in-forest-trees-bruce-j-zobel/book/9783642721281.html).
- 598 **Zobel, B.J.; Van Buijtenen, J.P. 1989.** *Wood variation: its causes and control*. Springer-  
599 Verlag, Ber in, Germany. Pp 363.