

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOTECA**

**EVALUACIÓN DE UN ENSAYO DE ORÍGENES DE *Pinus taeda* L.**

**Variables Dendrométricas y Propiedades de la Madera**

**por**

**Juan CABRIS de LEÓN**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo  
(Orientación Forestal)**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2004**

**PAGINA DE APROBACIÓN**

Tesis aprobada por:

Director:

---

Nombre completo y firma

---

Nombre completo y firma

---

Nombre completo y firma

Fecha:

---

Autor:

Juan Edmundo Cabris de León

---

Nombre completo y firma

*A mi madre L. Margarita de León  
A la memoria de mi padre, Ing.Agr. MSc. Juan Cabris  
A mis alumnos*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer al Ing. Agr. José Králl, quien instaló el Ensayo del Potrero G, orientó los inicios del presente Trabajo Final y se interesó por sus avances a lo largo de su realización.

Al D.Ph. José P. García De León, quien diseñó y orientó el estudio, aportó conocimientos, conceptos, bibliografía y su experiencia en investigación al Trabajo Final.

A la Ing. Agr. Arianna Sorrentino, quien orientó y contribuyó a definir las variables dendrométricas y aportó interesantes puntos de vista sobre su análisis e interpretación.

Al Ing. Agr. Fernando Martínez Ferreira, cuya orientación y ayuda durante el trabajo de campo, tanto en la medición como en la extracción de probetas resultó primordial. Al personal no docente de la Estación Experimental Bañado Medina, por su apoyo e interés durante el trabajo de campo.

A la Sra. Danila Balbi, por su ayuda en el trabajo de laboratorio, en especial la instrucción sobre el uso de balanza de precisión e instrumental. Al personal docente del Departamento Forestal, quienes generaron un espacio de trabajo grato y funcional dentro de su propio espacio durante el trabajo de laboratorio.

Al Ingeniero Computador Daniel Labuonora (DICUR, División Computación de la Universidad de la República, actualmente SeCIU, Servicio Central de Informática Universitaria), por su ayuda en la construcción de las bases de datos y el procesamiento primario de la información. Al Ing. SC Juan Gallo (DICUR), quien realizó los análisis definitivos de la información y a la Ing. Ida Holz, Directora de SeCIU.

A la Ing. Agr. Graciela Romero, por las fotografías y al Sr. Jorge Lezica Hiriart, por su colaboración con los dibujos.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN .....	II
I. INTRODUCCION .....	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	3
A. AREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL DE <i>Pinus taeda</i> .....	3
B. ENSAYOS DE ORÍGENES DE <i>Pinus taeda</i> .....	5
1. Ensayos de orígenes dentro del área de distribución natural de <i>Pinus taeda</i> .....	5
2. Ensayos de orígenes de <i>Pinus taeda</i> instalados fuera del área de distribución natural.....	11
C. VARIABLES DENDROMÉTRICAS .....	14
1. Diámetro a la altura del pecho ( <i>dap</i> ).....	14
2. Espesor de corteza; proporción o porcentaje de corteza .....	16
3. Area basimétrica.....	17
4. Altura; altura total, altura comercial .....	18
5. Factor de forma .....	24
6. Ancho de anillos de crecimiento. Incremento radial.....	24
7. Area de anillo de crecimiento .....	27
D. VARIABLES ASOCIADAS A LA APTITUD DE USO DE LA MADERA.....	27
1. Porcentaje de leño tardío.....	27
a. Relación entre porcentaje de leño tardío y otras variables.....	28
b. Porcentaje de leño tardío; variación en el fuste y métodos de estudio.....	29
c. Patrones de variación regional en porcentaje de leño tardío.....	31
2. Gravedad específica y densidad básica de la madera.....	33
a. Métodos alternativos de muestreo para la estimación de $G_e$ o densidad de la madera.....	34
b. Relación entre $G_e$ a la altura del pecho y $G_e$ estimada en todo el fuste .....	36
c. Método de máximo contenido de humedad para determinar $G_e$ .....	38
d. Comparaciones entre el método de máximo contenido de humedad y otros métodos .....	42
e. Variación en gravedad específica o densidad en <i>Pinus taeda</i> .....	44

(1)	Variación regional en gravedad específica o densidad; poblaciones naturales y ensayos de orígenes .....	45
(2)	Variación individual (entre árboles) en gravedad específica o densidad 51	
(3)	Variación dentro de árboles en gravedad específica o densidad.....	52
(4)	Ancho de anillos de crecimiento o tasa de incremento radial y $G_e$ .....	53
(5)	Variación dentro de árboles individuales en $G_e$ y otras propiedades de la madera .....	54
E.	Peso de materia seca.....	56
III.	MATERIALES Y METODOS .....	57
A.	MATERIALES .....	57
1.	Descripción General del Ensayo .....	57
2.	Orígenes .....	59
3.	El sitio .....	64
4.	Tratamientos silvícolas.....	67
B.	METODOS .....	69
1.	Métodos de campo .....	69
2.	Métodos de laboratorio .....	75
3.	Análisis Estadístico .....	79
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	88
A.	VARIABLES DENDROMÉTRICAS .....	88
1.	Diámetro a la altura del pecho .....	88
2.	Espesor de corteza Norte, espesor de corteza Sur. Proporción de corteza.....	91
3.	Area basimétrica individual .....	92
4.	Altura Total .....	95
5.	Factor de forma Pressler.....	99
6.	Volumen total individual con corteza .....	103
7.	Ancho de anillo de crecimiento. Crecimiento radial.....	105
8.	Area de anillo de crecimiento .....	108
B.	VARIABLES ASOCIADAS A LA APTITUD DE USO DE LA MADERA... 111	
1.	Porcentaje o proporción de leño tardío .....	111
2.	Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho o infradensidad .....	114
C.	Materia seca total individual .....	117
V.	CONCLUSIONES .....	121

VI. RESUMEN.....	123
VII. BIBLIOGRAFIA .....	125
VIII.ANEXO.....	134
A.    COMPONENTES DE VARIANZA.....	134
B.    PROBETAS DE INCREMENTO RADIAL DE ARBOLES CON <i>DAP</i> MÁXIMO, PROMEDIO Y MÍNIMO DE CADA ORIGEN .....	139

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro 1. Relaciones establecidas entre $G_e$ o densidad de la madera estimadas a la altura del pecho y valores obtenidos del fuste.....	37
Cuadro 2. Resumen del calendario silvícola aplicado al Ensayo del Potrero G. ....	67
Cuadro 3. Modelo de planilla de campo utilizada para el registro de variables dendrométricas .....	71
Cuadro 4. Análisis de varianza para <i>dap</i> sin corteza, proporción de corteza, área basimétrica individual sin corteza, factor de forma Pressler-Bitterlich, volumen total con corteza y peso de materia seca. ....	80
Cuadro 5. Análisis de varianza para ancho de anillos de crecimiento, área de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío e infradensidad .....	83
Tabla 1. Resumen de los estudios de orígenes <i>regionales</i> de <i>Pinus taeda</i> al Oeste del Río Mississippi .....	5
Tabla 2. Resumen de estudios <i>locales</i> de orígenes de <i>Pinus taeda</i> al Oeste del Río Mississippi .....	9
Tabla 3. Ensayo de procedencias de <i>Pinus taeda</i> en el Telêmaco Borba (Estado de Paraná, Brasil).....	12
Tabla 4. Ubicación geográfica de algunos orígenes de <i>Pinus taeda</i> evaluados en el Ensayo “Bicentenario” procedentes de la zona occidental del área de distribución natural.....	13
Tabla 5. Resumen de altura de los orígenes de <i>P. taeda</i> en el estudio de Louisiana State University (Sureste de Louisiana).....	18
Tabla 6. Resumen de crecimientos en altura total para los orígenes al Oeste del Río Mississippi en el estudio del Sur de Arkansas (Wells y Lambeth, 1983).....	20
Tabla 7. Crecimiento en altura de orígenes de <i>P. taeda</i> en el estudio del Noroeste de Louisiana. ....	21
Tabla 8. Tamaño de muestra, edad, <i>dap</i> medio y gravedad específica de cinco de los orígenes de <i>P. taeda</i> estudiados por Saucier y Taras (1969). ....	47
Tabla 9. Gravedad específica en <i>Pinus taeda</i> de Arkansas, Louisiana y Texas .....	48
Tabla 10. Valores de densidad básica ( $d_{0,g}$ ) en el ensayo de Telêmaco Borba, Barrichelo <i>et al.</i> (1977). ....	49
Tabla 11. Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) de 11 orígenes de <i>Pinus taeda</i> , zona occidental del área de distribución natural.....	50
Tabla 12. Gravedad específica de la madera de árboles jóvenes, leño juvenil de árboles maduros y leño adulto de árboles maduros (Adaptado de Zobel, 1970, citado por Kirk <i>et al.</i> , 1972). ....	52

Tabla 13. Densidad básica media de <i>P. taeda</i> cultivado en Tres Barras, Santa Catarina, Brasil (adaptado de Barrichelo <i>et al.</i> , 1975) .....	53
Tabla 14. Características de las progenies de los árboles progenitores del origen Bastrop .....	63
Tabla 15. Resumen de los parámetros medios locales de temperatura, ocurrencia de heladas y lluvia.....	64
Tabla 16. Datos climáticos y período de crecimiento correspondientes a los once orígenes de la zona occidental del área de distribución natural de <i>Pinus taeda</i> . ....	65
Tabla 17. Resumen de los raleos aplicados al ensayo del Potrero G .....	68
Tabla 18. Rendimientos de los orígenes del Ensayo del Potrero G en el segundo, tercero y quinto raleos.....	68
Tabla 19. Individuos seleccionados para cálculo de factor de forma promedio de cada origen. ....	73
Tabla 20. Valores a comparar con cocientes F en análisis de varianza para ancho de anillos de crecimiento, área de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío e infradensidad .....	84
Tabla 21. Análisis de varianza para espesor de corteza.....	85
Tabla 22. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza para diámetro a la altura del pecho, altura total, altura comercial, factor de forma Pressler-Bitterlich, volumen total, volumen comercial, materia seca total y materia seca comercial ....	86
Tabla 23. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza para espesor de corteza y proporción de corteza .....	86
Tabla 24. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza de infradensidad....	87
Tabla 25. Análisis de varianza para diámetro a la altura del pecho sin corteza.....	88
Tabla 26. Diámetro a la altura del pecho; promedios de orígenes.....	90
Tabla 27. Análisis de varianza para proporción de corteza .....	91
Tabla 28. Análisis de varianza para área basimétrica individual .....	93
Tabla 29. Área basimétrica individual; promedios de orígenes.....	94
Tabla 30. Área basimétrica m <sup>2</sup> /ha; promedios de orígenes.....	94
Tabla 31. Análisis de varianza para altura total .....	95
Tabla 32. Altura total; promedios de bloques .....	96
Tabla 33. Altura total; promedios de orígenes.....	97
Tabla 34. Análisis de varianza para factor de forma Pressler .....	99
Tabla 35. Factores de forma estimados sobre árboles de <i>dap</i> medio de cada origen ....	101
Tabla 36. Factor de forma Pressler; promedios de bloques .....	101
Tabla 37. Factor de forma Pressler; medias de orígenes.....	102
Tabla 38. Análisis de varianza para volumen total individual con corteza.....	103
Tabla 39. Análisis de varianza para crecimiento radial o ancho de anillo de crecimiento .....	107
Tabla 40. Análisis de varianza para área de anillo de crecimiento (0.1 mm <sup>2</sup> ).....	109
Tabla 41. Área de anillo de crecimiento; promedios de orígenes.....	110
Tabla 42. Análisis de varianza para porcentaje de leño tardío; datos originales. ....	112

Tabla 43 Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho; promedios de secciones apareadas .....	114
Tabla 44. Análisis de varianza para densidad básica a la altura del pecho .....	115
Tabla 45. Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho; promedios de orígenes.....	116
Tabla 46. Análisis de varianza para materia seca total individual (kg) .....	117
Tabla 47. Materia seca total individual; promedios de orígenes.....	118
Tabla 48 Materia seca total individual; promedios de orígenes.....	120
Tabla 49. Componentes de varianza; área de anillo de crecimiento. ....	134
Tabla 50. Componentes de varianza; porcentaje de leño tardío, datos originales. ....	135
Tabla 51. Análisis de varianza para porcentaje de leño tardío; datos transformados. ...	136
Tabla 52. Componentes de varianza; porcentaje de leño tardío, datos transformados. .	137
Tabla 53. Componentes de varianza; densidad básica a la altura del pecho.....	138

Gráfico 1. Diámetro a la altura del pecho (mm). .....	89
Gráfico 2. Proporción de corteza ; promedios de orígenes .....	92
Gráfico 3. Altura total; promedios de tratamientos.....	96
Gráfico 4. Altura total promedio de los orígenes en cada bloque.....	98
Gráfico 5. Volumen total individual promedio con corteza de los orígenes.....	104
Gráfico 6. Ancho de anillo de crecimiento o crecimiento radial por origen.....	105
Gráfico 7. Ancho de anillos de crecimiento acumulado o incremento radial por origen. .....	106
Gráfico 8. Area de anillo de crecimiento .....	108
Gráfico 9. Porcentaje de leño tardío; orígenes y promedio.....	113
Gráfico 10. Materia seca total individual (kg materia seca/árbol).....	119
Figura 1. Area de distribución natural de <i>Pinus taeda</i> . (Dorman, K.W., 1976) .....	3
Figura 2. Diseño experimental del Ensayo del Potrero G, EE Bañado Medina.....	58
Figura 3. Distribución de tratamientos (orígenes) en los bloques del ensayo.....	59
Figura 4. Esquema de una parcela antes ( <i>izq.</i> ) y después ( <i>der.</i> ) del raleo .....	70
Figura 5. Microscopio OLYMPUS adaptado para medición de incrementos radiales...76	
Figura 6. Balanza Sauter utilizada en la medición de peso anhidro y peso saturado de secciones de probeta de incremento radial.....	77
Figura 7. Probeta de incremento radial antes y después de ser dividida en secciones.....	78
Figura 8. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Pike, Arkansas.....	139
Figura 9. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Ashley, Arkansas.....	140
Figura 10. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Webster, Louisiana.....	140
Figura 11. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen De Soto, Louisiana.....	141
Figura 12. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Winn, Louisiana.....	141
Figura 13. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Natchitoches, Louisiana.....	142
Figura 14. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Rapides, Louisiana.....	142
Figura 15. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Beauregard, Louisiana.....	143
Figura 16. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Calcasieu, Louisiana.....	143

Figura 17. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Bastrop, Texas. ....	144
Figura 18. Probetas de incremento radial de los árboles de <i>dap</i> máximo, promedio y mínimo del origen Polk, Texas .....	144

## I. INTRODUCCION

*Pinus taeda* L. es, entre las especies de su género introducidas en Uruguay, una de las más promisorias en cuanto a adaptación a las condiciones ambientales del país. Así lo indicaban los crecimientos observados en cierta diversidad de sitios, su vigor y su estado sanitario en condiciones adecuadas de tratamiento silvícola (Králl, 1970). Entre 1975 y 2002, la superficie forestada bajo proyecto con esta especie alcanzó a 114 348 ha, que representan un 70 por ciento de las plantaciones del género *Pinus* y 18.6 por ciento de la superficie total registrada (MGAP, Dirección General Forestal, 2003).

En su área de distribución natural, que se extiende a través de doce estados del Sur y Este de EUA, *P. taeda* es una especie de alto valor comercial. Sus poblaciones naturales constituyen más del 50 por ciento del volumen en pie de las especies de *Pinus* indígenas de esta región (Dorman, 1976).

Dadas la extensión del área de distribución natural y la diversidad de condiciones ambientales que en ésta se presentan, existe una variabilidad fenotípica y genotípica considerables entre poblaciones naturales de la especie, tanto a nivel regional como local en las características relevantes para un programa de mejoramiento genético. Esta variabilidad por un lado resulta muy favorable a los procedimientos de mejora genética, puesto que implica mejores posibilidades de selección de los genotipos más aptos para cada situación productiva. No obstante, determina a la vez la importancia fundamental de los ensayos de orígenes y procedencias como etapa del programa de mejoramiento genético.

Los programas de mejoramiento genético para *Pinus* spp. normalmente tienen como principales objetivos de selección la adaptabilidad, la tasa de crecimiento, la resistencia a plagas y enfermedades, la calidad y conformación del árbol y las propiedades de la madera. La importancia relativa de cada objetivo varía entre los diferentes programas, pero por lo general todos ellos se encuentran presentes y se relacionan entre sí (Zobel, 1974).

El Trabajo Final se halla en el contexto de la Línea de investigación Ordenación Forestal Sostenible, el Programa Productos y Servicios forestales, Sub - programa Silvicultura de Plantaciones. Es parte del Proyecto Producción de Semillas Forestales Mejoradas. Para este estudio se definieron los objetivos que se enumeran a continuación.

a) Evaluar la variación entre y dentro de once orígenes de *Pinus taeda*, de la zona occidental del área de distribución natural en cuanto a crecimiento y productividad, a través de un conjunto de variables dendrométricas de medición directa (diámetro, altura, y otras calculadas en base a éstas (volumen total, tasa de incremento radial).

*b)* Evaluar la variación entre y dentro de los once orígenes mencionados respecto a parámetros de calidad de la madera (proporción de leño tardío y densidad de la madera).

*c)* Evaluar la variación entre y dentro de los once orígenes mencionados en cuanto a productividad en términos de materia seca.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### A. AREA DE DISTRIBUCIÓN NATURAL DE *Pinus taeda*

*Pinus taeda* es la especie conífera mas importante en la región de los pinos del Sur de Estados Unidos de América (EUA), con un volumen de existencias ligeramente mayor a la mitad del volumen total del género. Ocurre a través de todo el Sur y Sureste del país, con excepción de la zona Sur de Florida y su área de distribución natural se extiende desde Delaware hasta Texas (Figura 1; Dorman, 1976).

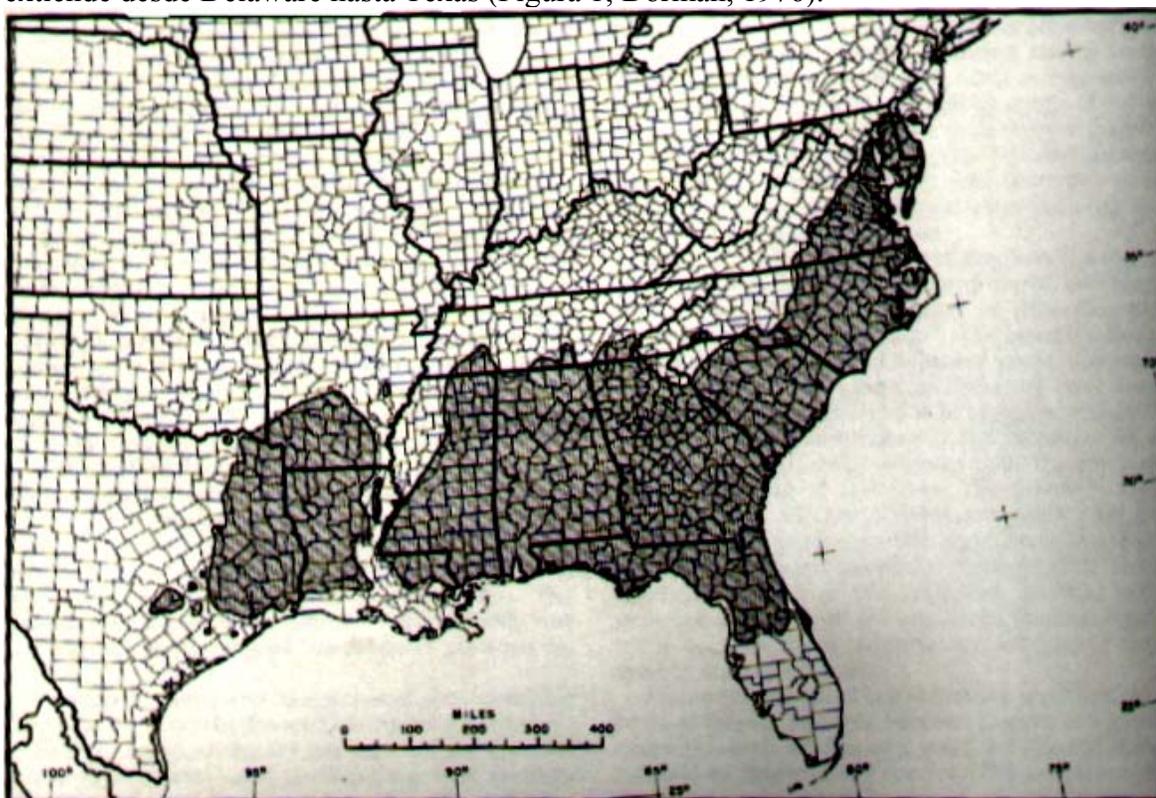


Figura 1. Area de distribución natural de *Pinus taeda*. (Dorman, K.W., 1976)

El clima fue sin duda una importante influencia en el desarrollo de número y diversidad de especies, razas y *clines* en el Sureste de EUA<sup>1</sup>. Pese a que en esta región los veranos son largos y cálidos, los inviernos relativamente templados y la precipitación

<sup>1</sup> Las definiciones de genotipo, fenotipo, heredabilidad, raza, *cline*, origen, procedencia, fuente de semillas, etc. pueden ser consultadas en Wright (1976), Burley y Wood (1976), especialmente en Styles (*ibid.*), Dorman y Zobel (1973) ó Dorman (1976).

elevada, existen diferencias locales relevantes a nivel local en cuanto a estos tres factores que afectan el crecimiento y otras características de comportamiento. En la zona al Oeste del Río Mississippi, los registros pluviométricos son mayores en los meses de invierno y primavera, cuando las temperaturas son bajas y decrecen en verano y principios de otoño, cuando las temperaturas alcanzan los máximos valores anuales (Dorman, 1976).

En el mejoramiento genético de especies exóticas con área de distribución natural extensa, una consideración primaria en cuanto a su adaptabilidad es el ensayo de orígenes y procedencias, como ocurre en *Pinus taeda*, de gran variabilidad intraespecífica (Zobel, 1974).

La variabilidad que presenta una especie arbórea dentro de su área de distribución natural a su vez depende de las variaciones entre rodales que crecen en localidades diversas (diferencias ambientales e interacciones genéticas) y de variaciones en factores genéticos que se expresan bajo diferentes condiciones ambientales (Dorman y Zobel, 1973).

Para especie con una gran variación genética como *P. taeda* es adecuado un proceso de selección masal, en el cual se escogen los individuos más aptos para efectuar cruzamientos controlados (Kellison y Weir, 1980). Luego de la selección de especies es necesario conducir estudios que permitan establecer la fuente de semilla de mayor aptitud para el establecimiento de plantaciones en el área de interés (*ibid.*).

En el mejoramiento genético de especies exóticas, se intenta obtener semilla de orígenes con ambientes similares a aquellos en los cuales el material va a ser evaluado. Sin embargo, debe evitarse la excesiva dependencia de la similitud en cuanto a condiciones ambientales como criterio para la selección de orígenes (Kellison y Weir, 1980).

*P. taeda* del Oeste del Río Mississippi varía de manera consistente en varios caracteres respecto a las poblaciones orientales de la especie. En comparación con orígenes de *P. taeda* del Este, de igual latitud, es más resistente a *Cronartium fusiforme*, de crecimiento más lento, más resistente a la sequía, como lo demuestra su aptitud para sobrevivir mejor a la plantación (Wells y Wakeley, 1966) y presenta ciertas características de semillas y conos que son significativamente diferentes de *P. taeda* oriental (Thorbjornsen, 1961; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). Esta variación ecotípica fue probablemente causada por factores climáticos de selección cerca de la extremidad occidental del área de distribución natural de la especie y por el aislamiento genético establecido por el Río Mississippi y su ancha planicie aluvial, los cuales dividen en dos a dicha área.

La variación geográfica, tanto al Este como al Oeste del Río Mississippi también ha estado determinada por variación climática asociada con la latitud y el efecto costero -

continental, estrechamente vinculado a ésta. *P. taeda* del Este de Texas (e.g. Polk Co.) presenta tasas de crecimiento superiores respecto a *P. taeda* de Arkansas, de la misma forma en que los orígenes de la costa del Golfo en Alabama y Mississippi presentan mayor tasa de crecimiento que aquellos del Norte de Mississippi, Alabama o Georgia (Kraus, Wells y Sluder, 1984).

## B. ENSAYOS DE ORÍGENES DE *Pinus taeda*

### 1. Ensayos de orígenes dentro del área de distribución natural de *Pinus taeda*

A continuación se describen los principales estudios sobre orígenes de *Pinus taeda* cuyos resultados son comparables con el comportamiento observado en el ensayo del Potrero G. El conjunto de trabajos seleccionado comprende en general estudios con uno o más ensayos en la zona occidental del área de distribución natural, que a su vez incluyera orígenes de esa zona. No se hará mención a ensayos de orígenes instalados en EUA fuera del área de distribución natural.

Tabla 1. Resumen de los estudios de orígenes *regionales* de *Pinus taeda* al Oeste del Río Mississippi

Estudio	Ubicación	Año de plantación	Número de repeticiones	Número de orígenes	Arboles / parcela	
					iniciales	medidos
<b>1. Estudio de Bogalusa, Louisiana</b>	SE de Louisiana	1927	6	4	33 filas	
<b>2. Universidad de Texas</b>	8 ensayos	1952 – 1957	2 / 3 años	12	25 – 50	?
<b>3. Southwide Pine Seed Source Study</b>	19 ensayos	1953	4	8 – 15	121	49
<b>4. Ensayo de Seis Estados, Arkansas</b>	16 ensayos	1954 – 1956	4 – 6	2 – 6	121	49
<b>5. Estudio del Sur de Arkansas</b>	SE y SO de Arkansas	1957	3 – 12	36	121	49

Diseño experimental: 1. Bloques completos; 2. Bloques al azar; 3 a 5. Bloques completos al azar

Espaciamiento inicial: 1. 1,8 x 2,4 m; 2. espaciamiento variable entre ensayos; 3 a 5. 1,8 x 1,8 m.

Kraus, Wells y Sluder (1984) definen estudios de orígenes *regionales* como aquellos que comprenden tratamientos con una distribución geográfica amplia, cuya ejecución es realizada por un conjunto relativamente numeroso de instituciones (*cf.* Tabla 1).

Wakeley y Bercaw (1965) presentan resultados de la evaluación de un ensayo de orígenes de *P. taeda* a los 35 años de edad; este ensayo, instalado en 1926 en Bogalusa, Washington Ph., Louisiana, comprendía cuatro orígenes, *viz.* Livingston Ph. (Louisiana), Montgomery Co. (Texas), Howard Co. (Arkansas) y Clarke Co. (Georgia). En el establecimiento de este ensayo se cometieron errores de diseño (parcelas de una sola fila de árboles, distribución sistemática de tratamientos, ausencia de filas de borde), que dificultaron la interpretación de los resultados. Sin embargo, pueden inferirse tendencias regionales de variación en cuanto a algunas variables dendrométricas evaluadas; este estudio fue además demostrativo de la gran pérdida en volumen que podría ocurrir debido al uso de un origen inadecuado.

El ensayo establecido por la Universidad de Georgia en 1937 (Jackson y Strickland, 1962, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) comprende orígenes de 10 estados, entre ellos Louisiana y Texas.

El estudio de orígenes de *P. taeda* iniciado en 1951 por el Committee on Southern Forest Tree Improvement (Wakeley, 1961; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) fue el más ambicioso de su época. Este conjunto de ensayos es comúnmente conocido como el Southwide Pine Seed Source Study (SPSSS, Estudio de Orígenes de Pinos del Sur). En 1953 se instalaron diecinueve ensayos de orígenes de *P. taeda* en localidades distribuidas entre Maryland y el Este de Texas y desde el centro - Oeste de Tennessee hasta el Sureste de Louisiana. Los quince orígenes incluidos en este estudio fueron clasificados en dos series. Los orígenes de la Serie 1 abarcaron un área Norte - Sur, con temperaturas medias anuales variando en intervalos de 5° C, en tanto que los orígenes de la Serie 2 representaron una transecta Este - Oeste a través del área de distribución natural de la especie.

Wells y Wakeley (1966) evaluaron los ensayos del SPSSS en su fase dedicada a *P. taeda*, a la edad de 10 años. Pese a que este estudio incluye 15 orígenes provenientes de gran parte del área de distribución natural, algunas zonas no se encuentran representadas, entre éstas las poblaciones de Texas conocidas como "Lost Pines"<sup>2</sup>. El objetivo general de este estudio fue determinar el grado de asociación entre la variación geográfica inherente y la variabilidad geográfica en clima y fisiografía.

---

<sup>2</sup> Los orígenes "Lost Pines" son poblaciones al Oeste de los límites del área de distribución natural de *P. taeda* en el estado de Texas.

Crow (1956) describe instalación y resultados preliminares de un ensayo de orígenes establecido en 1954 en Louisiana (Franklinton, Washington Parish) con el objeto de comparar el comportamiento de *P. taeda* procedente de semilla recolectada en el Estado y en áreas adyacentes. Se preveía la eventual identificación de razas locales y en última instancia, la delimitación de zonas adecuadas de recolección de semilla para plantación en diversas áreas de Louisiana.

Saucier y Taras (1969) informan acerca de los resultados relativos al estudio de variación regional en densidad de la madera, conducido para especies del género *Pinus* en los estados del Sur de EUA (Región 8 del U.S. Forest Service), en el marco de un programa de mejoramiento genético iniciado en 1961. El estudio de estos autores tuvo como objetivo identificar patrones regionales de variación en densidad de la madera en siete especies, entre ellas *P. taeda*, a partir de muestreos realizados en 29 Bosques Nacionales distribuidos en 11 Estados. Cuatro de estos orígenes corresponden a Centro-Este y Sureste de Texas (Sabine, Angelina, Davy Crockett y Sam Houston) y uno a Louisiana Central (Kisatchie).

El Southern Wood Density Survey (Relevamiento de Densidad de la Madera en el Sur, EUA), estudio realizado por el Forest Products Laboratory, abarcó 11 estados del Sur, *i.e.* parte sustancial de las áreas de distribución natural de los principales *taxa* del género *Pinus*, entre ellos *P. taeda* (Wahlgren y Schumann, 1972; 1975).

Bendtsen y Ethington (1972) describen los resultados de un estudio sobre las relaciones existentes entre propiedades de la madera de *Pinus* del Sureste de EUA--entre ellas *P. taeda* y sus gravedades específicas respectivas. Este trabajo es complementario al documento de Wahlgren y Schumann (1972;1975).

El Texas Forest Service ha experimentado con la resistencia a sequía en *P. taeda* desde 1952. Zobel (1955) y Zobel y Goddard (1955), citado por van Buijtenen (1966), hallaron considerables diferencias entre orígenes de semilla procedentes de la faja Oeste del área de distribución natural y los orígenes de zonas mas orientales. Según estos autores, el crecimiento de los orígenes "Lost Pines" fue igual o mayor al observado en orígenes del Este de Texas y de Louisiana. Goddard y Brown (1959, citado por van Buijtenen, *ibid.*) no observaron diferencias aparentes entre unos y otros orígenes respecto a crecimiento, conformación y calidad de plántulas.

El origen Bastrop Co. (Texas) fue incluido en un ensayo de resistencia a la sequía entre orígenes de *P. taeda* provenientes de la faja extrema occidental del área de distribución natural, evaluado por van Buijtenen (1966) al cabo de una estación de crecimiento luego de la plantación. Se observó una gran variabilidad en resistencia a la sequía entre progenies de árboles madre dentro de cada origen, mayor a la observada entre orígenes. La relevancia de estos resultados reside en las posibilidades de

mejoramiento genético por resistencia a la sequía, logrando mayores tasas de supervivencia y crecimiento.

Entre 1966 y 1968 se estableció un segundo estudio de orígenes "Lost Pines" de Texas, en el Norte de Mississippi. Se establecieron comparaciones entre orígenes de Alabama y Mississippi con orígenes de progenie resistente a sequía y árboles tolerantes a la sequía de Bastrop Co. y Fayette Co. en Texas (Dickerson, 1971; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984).

Entre 1952 y 1957, la Universidad de Texas estableció siete ensayos en Texas y uno en Louisiana occidental. Estos serían utilizados para comparar comportamiento de los orígenes locales con respecto a otros distribuidos en la zona comprendida entre North Carolina, Florida y Arkansas. Estos ensayos permitieron establecer, a una edad temprana, la superioridad de los orígenes de *P. taeda* de Texas bajo condiciones de baja precipitación o de sequía (Zobel y Goddard, 1955; Goddard y Brown, 1959, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984).

El Southwide Pine Seed Source Study (SPSSS), el sistema de ensayos de orígenes de especies del género *Pinus* de mayor duración en el Sur, ha servido sucesivamente como guía en la traslación de semillas y plántulas entre regiones, en el uso de semilla de orígenes no locales procedentes de huertos semilleros, en la definición de zonas de mejoramiento genético para pruebas de generación avanzada y aún en el establecimiento y evaluación de pruebas de progenie.

Como se había mencionado antes, los 15 orígenes considerados en el SPSSS fueron separados en dos series. La serie 1 deriva de un muestreo general de poblaciones, con un equilibrio aproximado entre los orígenes de las Planicies Costeras y aquellos de otras provincias fisiográficas. La serie 2, con excepción de un origen del Sureste de Louisiana, representa una transecta con dirección Este - Oeste, desde North Carolina hasta Arkansas (Wells, 1983).

Dos de los orígenes de *P. taeda* incluidos en el SPSSS proceden de la zona occidental del área de distribución natural de esta especie, Angelina Co. (Este de Texas, Serie 1) y Clark Co. (Suroeste de Arkansas, Series 1 y 2); un tercer origen, Livingston Ph., Series 1 y 2, procede del Sureste de Louisiana. Se considera pertinente y confiable la información relativa al comportamiento general de estos orígenes en todos los ensayos, a los efectos de establecer comparaciones con plantaciones no locales (Wells y Wakeley, 1966).

En 1957 se plantó un ensayo de control de erosión con cuatro orígenes de *P. taeda* cerca de Oxford, Mississippi (Thames, 1962; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984); uno de estos orígenes fue procedente de rodales de "Lost Pines", en Caldwell Co., Texas.

Kraus, Wells y Sluder (1984) definen como *locales* a aquellos ensayos de orígenes cuyos tratamientos se encuentran comprendidos en una subdivisión política (Estado) o provienen de bosques de propiedad privada, como muestras de un área relativamente limitada, distribuida en dos o tres estados contiguos (*cf.* Tabla 2 )

Tabla 2. Resumen de estudios *locales* de orígenes de *Pinus taeda* al Oeste del Río Mississippi

Estudio	Ubicación	Año de plantación	Número de orígenes	Arboles por parcela	
				iniciales	medidos
<b>1. Estudio de Louisiana State University</b>	SE de Louisiana	1954	4	?	?
<b>2. Noroeste de Louisiana</b>	Clairborne Parish, Louisiana	1959	12	121	49
<b>3. Estudio de Louisiana Central</b>	3 ensayos	?	5	121	49

En todos los ensayos el diseño experimental fue bloques completos al azar

El espaciamiento fue 1.8 x 1.8 m.

Kraus, Wells y Sluder, 1984.

En 1954, Louisiana State University (LSU) instaló un pequeño ensayo de orígenes en el rincón Sureste del Estado (Crow, 1956); tres de los orígenes considerados provenían de Louisiana (Washington Ph., Livingston Ph. y Rapides Ph.) y el cuarto de Arkansas (Ashley Co.).

El estudio en el Noroeste de Louisiana fue establecido en 1959 por personal de LSU en Homer, Clairborne Parish, Estación Experimental de Hill Farm (Merrifield *et al.*, 1965; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). El ensayo, que constituye parte de una serie de estudios relativos a fuentes de semilla realizados a nivel estatal, comprende doce orígenes de *P. taeda* de todo el Estado, entre los cuales se encuentran Winn Ph. y Calcasieu Ph. y fue evaluado por Crow y Hansbrough (1970) en 1968.

El estudio de Louisiana Central incluye cinco orígenes de *P. taeda* de una transecta Este - Oeste a través del centro del Estado, en tres ensayos ubicados sobre la misma transecta, *viz.* East Feliciana Ph., Washington Ph, St. Tammany Ph., Vernon North Ph. y Vernon South Ph.. Estos dos últimos son próximos a los orígenes Beauregard Ph., Rapides Ph. y Natchitoches Ph. (Kennedy y Crow, 1969).

Kennedy y Crow (1969) describen los resultados de una primera evaluación -- a la edad de 6 años -- de uno de los ensayos de orígenes del Estado de Louisiana, instalado en las proximidades de Clinton, East Feliciana Ph. (La.).

Lantz y Hofmann (1969) presentan los resultados de dos estudios relativos a variación geográfica en crecimiento y calidad de la madera de orígenes de *P. taeda* en el Estado de North Carolina. Estos orígenes son representativos de tres provincias fisiográficas, viz. Planicies Costeras, zona de transición y Piedmont. Los ensayos presentaban 5 y 7 años de edad al ser evaluados.

El estudio de variación racial de *P. taeda* en Georgia fue diseñado para complementar el SPSSS, probando orígenes de las cinco provincias fisiográficas en el Estado, tres del Norte de Florida y una del Sur de Arkansas (Kraus, 1967). En cada provincia fisiográfica se instalaron dos ensayos, cada uno con 13 a 18 orígenes.

El Georgia Loblolly Pine Racial Variation Study (Estudio de la Variación Racial de *P. taeda* en Georgia), complementario al Southwide Pine Seed Source Study, fue evaluado a los 10 años de edad por Kraus (1967). Este estudio comprende orígenes correspondientes a cinco provincias fisiográficas (Flatwoods, Lower Coastal Plain, Upper Coastal Plain, Piedmont y Mountain) identificadas en Georgia, tres orígenes de Florida y uno de Arkansas (Ashley Co., Crossett). Estos orígenes fueron plantados en un conjunto de diez ensayos, dos en cada una de las provincias fisiográficas mencionadas. No existe un estudio detallado de esta naturaleza para la zona occidental del área de distribución natural (Arkansas, Louisiana, Texas).

Sluder (1980), en la evaluación, a la edad 20 años, del estudio de variación racial de Georgia descrito por Kraus (1967), analiza la información correspondiente a cada ensayo en particular y al sistema en general. En la evaluación del sistema, el origen Ashley Co. (Arkansas) fue considerado a la vez origen y provincia fisiográfica; su comportamiento resulta de interés por las comparaciones establecidas con los demás orígenes, procedentes de la zona oriental al Río Mississippi (Kraus, 1967).

A principios de la década de 1950, los rodales de *P. taeda* vigorosos, de alta calidad en el Sureste de Arkansas atrajeron gran atención como buen origen potencial; en consecuencia, se establecieron 16 plantaciones entre 1954 y 1956 (Grigsby, 1973). En estos ensayos, el origen de *P. taeda* del Sureste de Arkansas fue plantado en South Carolina, Tennessee, Alabama, Louisiana, Mississippi y Arkansas en comparación con orígenes locales y otros. Luego de 10 años a campo, exceptuando supervivencia, el origen de Sureste de Arkansas resultó inferior en comportamiento respecto a los demás orígenes con los cuales se comparó (Grigsby, 1975; citado por Wells y Lambeth, 1983). En este estudio y varios otros se ha observado que los orígenes al Oeste del Río Mississippi presentan, de manera consistente, buena supervivencia en plantación pero crecimiento relativamente lento.

En 1957 se estableció un ensayo de 36 orígenes de *P. taeda* de toda el área de distribución natural en dos plantaciones en el Sur de Arkansas. Once de los orígenes proceden de la zona occidental. Tres de estos últimos, viz. Ashley Co. (Arkansas),

Rapides Parish (Louisiana) y Polk Co. (Texas) se hallan incluidos en el ensayo del Potrero G en la EEBM. Estos ensayos fueron evaluados por Grigsby (1973; 1977, citado por Wells y Lambeth, 1983) a las edades de 10 y 16 años.

Wells y Lambeth (1983) presentan los resultados de la evaluación de estos ensayos a los 25 años de edad.

En su revisión relativa a la variación de orígenes en *Pinus taeda*, limitada a ensayos establecidos en EUA, Kraus, Wells y Sluder (1984) proporcionan una visión detallada de los patrones de variación geográfica y dan fundamentos a la determinación de los límites de adaptabilidad de cada origen.

## **2. Ensayos de orígenes de *Pinus taeda* instalados fuera del área de distribución natural**

Este apartado se refiere principalmente a ensayos instalados fuera del área de distribución natural que comprenden orígenes de la zona occidental de dicha área. Se han excluido de la revisión los numerosos ensayos instalados, dentro y fuera de EUA, que comprenden únicamente orígenes de la zona oriental al Río Mississippi y/o condiciones ambientales claramente disímiles de las principales áreas de cultivo de *Pinus taeda* en Uruguay.

Králl (1970) presenta los resultados de tres ensayos de especies y orígenes de coníferas, de 3 y 4 años de edad, establecidos en el marco de un convenio entre la Facultad de Agronomía y el U.S. Department of Agriculture de EUA (ensayo conocido como LEY 480), en tres localidades, *viz.* Pan de Azúcar (Depto. de Maldonado), El Espinillar (Depto. de Salto) y Bañado Medina (Depto. de Cerro Largo). Estos ensayos incluyeron tres orígenes de *P. taeda*: Spaulding (Georgia), New Kent (Virginia) y Bowie (Texas).

Shelbourne (1971) describe los resultados de la evaluación, a los 13 años de edad, de un ensayo de orígenes en Nueva Zelandia, instalado en 1955.

Un ensayo de procedencias de *P. taeda* en Telêmaco Borba (Paraná, Brasil), evaluado a la edad de 9 años por Barrichelo *et al.* (1977) incluye tres orígenes de la zona occidental del área de distribución natural (*cf.* Tabla 3 ).

Tabla 3. Ensayo de procedencias de *Pinus taeda* en el Telêmaco Borba (Estado de Paraná, Brasil).

<b>Origen Condado; Estado</b>	<b>Latitud Norte</b>	<b>Longitud Oeste</b>	<b>Altitud m.s.n.m.</b>
<b>South Arkansas</b>	34° 00'	91° 56'	0 – 200
<b>Central Louisiana</b>	32° 00'	93° 5'	0 – 200
<b>Bastrop, Texas</b>	30° 00'	93° 3'	0 – 200

Müllin, Barnes y Prevôst (1978) resumen los resultados de los ensayos de orígenes y procedencias de *P. taeda* instalados en Zimbabue (antes Rhodesia). Se incluyeron orígenes de la zona occidental del área de distribución natural en tres de los ensayos, *viz.* Tarka (1964), Erin (1964) y Chisengu (1965). Los orígenes en cuestión fueron Ashley Co. (Arkansas), Rapides Parish (Louisiana) y Bowie Co. (Texas).

En 1937, se establecieron siete ensayos de orígenes y procedencias de *Pinus elliottii* y *P. taeda* en Sudáfrica. Estos ensayos fueron evaluados por Falkenhagen (1978) en 1972, a 35 años de su instalación. Entre los once orígenes de *P. taeda* incluidos en estos ensayos, se encuentran Ashley Co. (Arkansas) y Winn Ph. (Louisiana) y dos orígenes de Texas (Montgomery Co. y Trinity Co.).

Falkenhagen (*ibid.*) concluye, en la evaluación de los siete ensayos que los orígenes de *P. taeda* apropiados para Sudáfrica provienen de la zona Sur costera del área de distribución natural y recomienda la introducción de semilla mejorada de estas poblaciones, a los efectos de investigar en forma mas detallada los orígenes correspondientes.

Baldanzi (1978) presenta los resultados de la evaluación, a la edad de 9 años, de un ensayo de 7 orígenes de *P. taeda* establecido en la Estación de Investigaciones Forestales en Río Negro, Universidad Forestal de Paraná, Brasil. Entre los orígenes incluidos en el ensayo, se encuentran Cherokee Co. (Texas; condado vecino a Angelina Co. y Polk Co.) y Ashley Co. (Arkansas). El resto de los orígenes corresponden a la zona al Este del Río Mississippi, dentro del área de distribución natural.

Bidegain, Fradl y Torres (1984) evaluaron crecimiento y calidad de la madera de seis orígenes de *P. taeda*, cinco de los cuales proceden de la zona Oeste del área de

distribución natural. En la Tabla 4 se presenta información relativa a la ubicación geográfica de estos últimos.

Tabla 4 Ubicación geográfica de algunos orígenes de *Pinus taeda* evaluados en el Ensayo “Bicentenario” procedentes de la zona occidental del área de distribución natural

<b>ORIGEN</b> <b>Condado/Parroquia; Localidad.</b> <b>Estado.</b>	<b>Latitud</b> <b>Norte</b>	<b>Longitud</b> <b>Oeste</b>
<i>Ashley; Crosett.</i> Arkansas	33° 2'	91° 56'
<i>Natchitoches; Natchitoches.</i> Louisiana	31° 40'	93° 5'
<i>Natchitoches; Kisatchie.</i> Louisiana	31° 00'	93° 3'
<i>Bowie; Texarkana.</i> Texas	33° 21'	93° 78'
<i>Sam Houston; Huntsville.</i> Texas	30° 30'	95° 21'

*Adaptado de Bidegain, Fradl y Torres (1984).*

## C. VARIABLES DENDROMÉTRICAS

La mayoría de los caracteres en los pinos del Sureste de EUA son heredados en forma independiente y no se hallan correlacionados positiva o negativamente. Esta situación permite prever elevadas ganancias en el proceso de selección, pero a la vez genera la necesidad de considerar varios caracteres en un índice de selección (Dorman, 1976).

### 1. Diámetro a la altura del pecho (*dap*)

Según Dorman y Zobel (1973), la heredabilidad de diámetro a la altura del pecho es en general baja. Matziris y Zobel (1973) estimaron una heredabilidad de  $h^2 = 0.26$  para *dap* sobre progenies de polinización libre de *P. taeda* de 5 años de edad.

Las evaluaciones a los seis años en la plantación de Clinton (East Feliciana Ph.) y en los tres ensayos a los 15 años de edad no revelaron diferencias significativas entre orígenes para caracteres dendrométricos (Dyer *et al.*, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). Cuando los árboles alcanzaron los 13 años de edad, se recogieron y analizaron muestras de madera. No se halló diferencias significativas entre orígenes para porcentaje de leño tardío o longitud de traqueidas. Se asoció un patrón Este - Oeste al ancho de anillos de crecimiento, pero otras características no mostraron patrones geográficos generales. Se concluyó que existe muy escasa variación geográfica en crecimiento y propiedades de la madera entre estos cinco orígenes de Louisiana (Zabala, 1974; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984).

Kennedy y Crow (1969) no hallaron diferencias significativas entre *dap* medios de los cinco orígenes del estudio de Louisiana Central, evaluados a la edad de seis años en el ensayo de Clinton (East Feliciana Ph.). Dyer *et al.* (1977, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) tampoco observaron diferencias significativas al evaluar los 3 ensayos incluidos en el estudio a la edad de 15 años.

Crow y Hansborough (1970) no hallaron diferencias significativas entre orígenes en cuanto a *dap* en la evaluación, a la edad de 10 años, de un ensayo de doce orígenes de *P. taeda* del Noroeste de Louisiana (entre ellos Winn Ph. y Calcasieu Ph.).

A los 15 años de edad, Crow, Clason y Burns (1977) no observaron diferencias significativas entre orígenes en cuanto a *dap*. Los valores promedio calculados para los orígenes Winn Ph. y Calcasieu Ph. fueron 5.34" (*ca.* 13.6 cm) y 5.14" (*ca.* 13. cm); la

media general del ensayo fue 5.19" (ca. 13.2 cm). No se observa relación alguna entre la variación de esta característica y la localización geográfica de los orígenes en cuestión.

En la evaluación de los dos ensayos en el estudio del Sur de Arkansas, Grigsby (1973) halló diferencias significativas entre *dap* medios de 36 orígenes a los 10 años de edad. Los árboles de menores *dap* procedieron de la zona Oeste del área de distribución natural de la especie. En estos ensayos el *dap* medio del origen Rapides Ph. (La.) resultó mayor al *dap* medio del origen Ashley Co. (Ark.) y éste a su vez mayor al *dap* medio del origen Polk Co. (Tx.).

Cole (1975) no observó diferencias significativas entre los *dap* medios a los 9 años de edad, de seis orígenes de *P. taeda* procedentes de los Estados de South Carolina y Georgia, hecho que atribuye a lo restringido del área de distribución de estos orígenes; no obstante, los orígenes en cuestión provenían de dos provincias fisiográficas diferentes, Planicies Costeras y Piedmont.

En el ensayo de orígenes evaluado por Barrichelo *et al* (1977), situado en Telêmaco Borba (Paraná, Brasil), se hallaron, a la edad de 9 años, menores incrementos en *dap* para procedencias del Sureste del área de distribución natural de la especie (Florida, South Carolina, Georgia y Mississippi), respecto a procedencias del Norte (North Carolina y Virginia) o del Oeste (Louisiana, Texas y Arkansas) bajo las condiciones del ensayo.

Baldanzi (1978) observó diferencias significativas entre los valores medios de *dap* calculados para siete orígenes de *P. taeda* a los 5 y a los 9 años de edad. Los *dap* medios de los orígenes Cherokee Co. (Tx.) y Ashley Co. (Ark.) resultaron intermedios entre valores de los restantes orígenes, todos orientales al Río Mississippi. El *dap* medio de Cherokee Co. resultó significativamente mayor al de Ashley Co.

Bidegain, Fradl y Torres (1984) hallaron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre las medias de cinco orígenes de *P. taeda* para *dap* con corteza. Los orígenes aportaron un 36 por ciento de la variación total; el 64 por ciento restante correspondió al residuo. El origen Sam Houston (Texas) resultó ser superior al resto en la prueba de Duncan ( $\alpha = 1\%$ ); no se observaron diferencias significativas entre los restantes orígenes para esta característica.

Al evaluar el estudio de variación geográfica de *P. taeda* en Georgia, Sluder (1980) observó diferencias altamente significativas ( $p = 0.01$ ) entre valores promedio de *dap* correspondientes a provincias fisiográficas. El *dap* medio del origen Ashley Co. (Ark.) fue menor a valores de las restantes seis provincias, al Este del Río Mississippi.

Kraus (1967) observó una variación clinal respecto al crecimiento en *dap* para catorce orígenes de *P. taeda* del Estado de Georgia a la edad de 10 años. Esta tendencia,

detectada a lo largo de una transecta trazada en dirección Sureste - Noroeste, en sentido perpendicular a la variación de diversas variables de importancia biológica, v.g. provincia fisiográfica, altitud, temperatura media del mes mas frío, número de días libres de helada y precipitación pluvial estival media, fue confirmada por Sluder (1980) a la edad de 20 años. La variación clinal resultó ser discontinua, con una separación clara entre las provincias fisiográficas Flatwoods - Coastal Plains y Piedmont - Mountain (respectivamente Bosques de llanura, Planicies Costeras, Pre-montana y Montaña).

## 2. Espesor de corteza; proporción o porcentaje de corteza

La corteza en *Pinus* es en gran medida un producto de desecho. La variación y herencia en espesor y volumen de corteza han sido poco estudiados (Dorman, 1976), pero Pederick<sup>3</sup> (1970, *ibid.*) halló considerable variación entre individuos y entre familias de árboles jóvenes. Se estimó una heredabilidad de  $h^2 = 0.60$ , combinando resultados de varios ensayos de plantación.

Kennedy y Crow (1969) no observaron diferencias significativas entre valores de espesor de corteza medidos a la edad de seis años sobre los cinco orígenes de *P. taeda* del estudio de Louisiana Central.

Matziris y Zobel (1973) estimaron una heredabilidad de  $h^2 = 0.28$  para espesor de corteza, sobre un ensayo de progenies de polinización libre en *P. taeda* de 5 años de edad. Pederick (1970, citado por Matziris y Zobel, *ibid.*) estimó una heredabilidad de 0.33 para este carácter. Este autor observó gran variabilidad en el espesor de corteza de la especie entre los 6 y los 10 años de edad, estimando (*ibid.*, citado por Sayagués y Simón, 1983) una heredabilidad individual de  $h^2 = 0.65$  para esta característica.

A los efectos de calcular el porcentaje de corteza a deducir de *dap* y área basimétrica, Loetsch, Zöhner y Haller (1973) proponen la siguiente ecuación,

$$C\% = \frac{d_{c/c}^2 - d_{s/c}^2}{d_{c/c}^2} \times 100$$

---

<sup>3</sup> PEDERICK, L.A. 1964. *Variation and inheritance of stem form and bark thickness in young loblolly pine*. N. C. State Univ. Sch. For. Res. Tech. Rep. N° 41, 44 p.

donde

C % es el porcentaje de corteza;

$d_{c/c}$  = diámetro a la altura del pecho con corteza

$d_{s/c}$  = diámetro a la altura del pecho sin corteza

La aplicación de este valor en el cálculo de volumen sin corteza se basa en el supuesto que el factor de forma con corteza equivale al factor de forma sin corteza (*ibid.*).

### 3. Area basimétrica

En los ensayos de orígenes descritos por Müllin, Banks y Prevôt (1978) en Zimbabwe, se observaron resultados dispares e inconsistentes en relación a áreas basimétricas medias ( $m^2/ha$ ) de los orígenes. En el ensayo de Chisegu se registraron valores que indican una tendencia similar a la observada para altura total media, *i.e.* los promedios de Rapides Ph. (La.), Bowie Co. (Tx.) y Ashley Co. (Ark.) difieren de manera significativa ( $p = 5 \%$ ) según el test de rangos múltiples de Duncan. El área basimétrica media de Rapides Ph. (La.) es mayor que la de Bowie Co. (Tx.) y ésta a su vez es mayor al valor correspondiente a Ashley Co. (Ark.). En el ensayo de Tarka, sobre un sitio de calidad óptima para *P. taeda* (*ibid.*), se observaron diferencias significativas entre valores de área basimétrica media de Rapides Ph. (La.) respecto a AB media de Ashley Co. (Ark.) y Bowie Co. (Tx.).

En el ensayo de Erin, en cambio, ubicado a una altitud excesiva para la especie, los resultados a la edad de 12 años son contradictorios respecto a mediciones anteriores. Pese a que las diferencias observadas no son significativas, el AB media de Ashley Co. (Ark.) resultó mayor al AB media de Bowie Co. (Tx.) y ésta mayor al mismo valor para Rapides Ph. (La.).

#### 4. Altura; altura total, altura comercial

En el ensayo de LSU, que incluía cuatro orígenes de *P. taeda*, Crow (1956; 1958) no observó diferencias significativas en porcentaje de supervivencia y altura media a edades 2 y 4 años. No obstante, Ashley Co. (Ark.) tuvo una supervivencia ligeramente mayor y una altura promedio levemente menor respecto a los orígenes de Louisiana. (cf. Tabla 5).

Tabla 5. Resumen de altura de los orígenes de *P. taeda* en el estudio de Louisiana State University (Sureste de Louisiana).

<b>Altura total (m)</b>				
Origen	<i>Edad de la evaluación (años)</i>			
	2 <sup>1</sup>	4 <sup>2</sup>	7 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>
SE Louisiana <i>Livingston Ph.</i>	<b>0.78</b>	<b>2.4</b>	<b>5.5</b>	<b>9.0</b>
Louisiana Central <i>Rapides Ph.</i>	<b>0.76</b>	<b>2.3</b>	<b>5.1</b>	<b>8.5</b>
SE Louisiana <i>Washington Ph.</i>	<b>0.76</b>	<b>2.2</b>	<b>5.0</b>	<b>8.2</b>
S Arkansas <i>Ashley Co.</i>	<b>0.73</b>	<b>2.1</b>	<b>4.5</b>	<b>7.5</b>

<sup>1</sup> Crow, 1956

<sup>2</sup> Crow, 1958

<sup>3</sup> Crow, 1961

<sup>4</sup> Crow, 1964, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984.

A fines de la estación de crecimiento de 1960 no se observaron diferencias significativas entre orígenes respecto a supervivencia o altura total. Los menores valores dendrométricos fueron registrados para el origen Ashley Co., Arkansas (Crow, 1961).

En el ensayo de control de erosión con cuatro orígenes de *P. taeda* plantado cerca de Oxford, Mississippi, Thames (1962; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) observó que, luego de cinco estaciones de crecimiento, el origen "Lost Pines" (Caldwell Co., Texas), fue significativamente más alto, tanto en sitios erosionados como sobre suelos arenosos.

En el estudio de orígenes "Lost Pines", establecido en el Norte de Mississippi sobre suelos arenoso - arcilloso, arenoso y aluvial no se observó (Dickerson, 1971; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) diferencias significativas respecto a tasa de crecimiento en altura entre orígenes obtenidos de bosques nacionales en Alabama y Mississippi y

orígenes de progenie resistente a sequía y árboles tolerantes a la sequía de Bastrop Co. y Fayette Co..

En el estudio de Louisiana Central, Kennedy y Crow (1969) no hallaron diferencias significativas entre los cinco orígenes de *P. taeda* en cuanto a altura total, en la primera evaluación a los seis años de edad del ensayo en Clinton, East Feliciana Ph. Dyer *et al.* (1977, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) tampoco observaron diferencias significativas al evaluar los 3 ensayos incluidos en el estudio a la edad de 15 años.

En la evaluación de tres ensayos de especies y orígenes de coníferas a los 3 y 4 años de edad, Králl (1970) concluye que, para *P. taeda*, los orígenes de la zona occidental del área de distribución natural (al Oeste del Río Mississippi), principalmente aquellos de las regiones costeras de Louisiana y Texas, donde la estación de crecimiento presenta una duración cercana a 280-300 días, serían los más promisorios para estudios ulteriores (*i.e.*, ensayo del Potrero G). En el ensayo establecido en Bañado Medina (Cerro Largo), se registraron los siguientes valores de altura total (cm) a los tres años de edad: Bowie (Texas), 190; New Kent (Virginia), 111 y Spaulding (Georgia), 142.

En el ensayo de orígenes instalado por personal de LSU en el rincón Sureste del Estado (*cf.* Tabla 6; Crow, 1956), la posición relativa de los cuatro orígenes se estableció hacia el final de la segunda estación de crecimiento y no se había modificado luego de 10 años.

Nunca hubo diferencias estadísticamente significativas entre los orígenes (Crow, 1956, 1958, 1961, 1964; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). Pese a ello, el origen del Sur de Arkansas tuvo la mejor supervivencia y el peor crecimiento del grupo, comportamiento acorde al observado en estudios regionales

Tabla 6. Resumen de crecimientos en altura total para los orígenes al Oeste del Río Mississippi en el estudio del Sur de Arkansas (Wells y Lambeth, 1983).

<b>Altura total (m)</b>				
<b>Origen</b>	<b>Edad de la evaluación (años)</b>			
	<b>5</b>	<b>10<sup>1</sup></b>	<b>16<sup>2</sup></b>	<b>25<sup>3</sup></b>
<b>Arkansas, CP SE</b>	3.2	7.9	13.6	20.7
<b>Arkansas, MS Delta</b>	3.0	7.9	13.4	20.3
<b>Arkansas, CP Central</b>	3.1	8.1	13.1	20.2
<b>Arkansas, CP SE</b>	3.1	7.8	13.1	20.5
<b>Louisiana CP <i>Jonesboro</i></b>	3.4	8.0	13.6	21.1
<b>Louisiana CP SE</b>	4.2	9.0	14.6	22.2
<b>Louisiana CP <i>Alexandria</i></b>	3.6	8.4	13.9	21.3
<b>Lousiana CP SE</b>	4.2	9.0	14.6	22.2
<b>Texas CP NE</b>	3.3	7.9	—	20.1
<b>Texas CP East Central</b>	3.7	8.4	13.6	21.0

<sup>1</sup> Grigsby, 1973

<sup>2</sup> Grigsby, 1977, citado por Wells y Lambeth, 1983

<sup>3</sup> Wells y Lambeth, 1983

En la Tabla 7 se resume información acerca del crecimiento en altura del estudio establecido en 1959 por personal de LSU en Homer, Clairborne Parish, Estación Experimental de Hill Farm (Kraus, Wells y Sluder, 1984) a los 5 y 10 años de edad.

Las diferencias de sitio dentro de la plantación permitieron estudiar la sensibilidad de los orígenes a variaciones en calidad de sitio. Los orígenes locales del Noroeste de Louisiana fueron menos sensibles a cambios de sitio y un origen del Sureste exhibió la mayor variación de crecimiento en altura entre las replicaciones del ensayo (Crow y Hansborough, 1970).

Tabla 7. Crecimiento en altura de orígenes de *P. taeda* en el estudio del Noroeste de Louisiana.

<b>Origen</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Origen</b>	<b>Altura (m)</b>
<i>11 Livingston S</i>	3.7	<i>11 Livingston S</i>	9.2
<i>12 Tangipahoa</i>	3.6	<i>12 Tangipahoa</i>	9.0
<i>8 Calcasieu</i>	3.6	<i>8 Calcasieu</i>	8.9
<i>6 Catahoula</i>	3.6	<i>1 Clairborne</i>	8.8
<i>1 Clairborne</i>	3.4	<i>6 Catahoula</i>	8.7
<i>9 East Feliciana</i>	3.3	<i>9 East Feliciana</i>	8.6
<i>5 Sabine</i>	3.3	<i>3 Winn</i>	8.4
<i>7 Evangeline</i>	3.3	<i>5 Sabine</i>	8.3
<i>2 Caddo</i>	3.3	<i>7 Evangeline</i>	8.3
<i>10 Livingston N</i>	3.3	<i>2 Caddo</i>	8.2
<i>3 Winn</i>	3.2	<i>10 Livingston N</i>	8.2
<i>4 Morehouse</i>	2.9	<i>4 Morehouse</i>	8.2

En el análisis de la información registrada a los cinco años de edad del ensayo evaluado luego por Crow y Hansbrough (1970), Merrifield *et. al.* (1965, citado por Crow y Hansbrough, *ibid.*) observaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) en altura total entre bloques o repeticiones. Se observó además una considerable variación en altura dentro de los orígenes creciendo sobre sitios (bloques) diferentes. Se calculó un índice de sitio promedio para cada parcela y se estudió la sensibilidad de los orígenes respecto a la variación en calidad de sitio.

El análisis de la información a los 10 años de edad (Crow y Hansbrough, 1970) permite observar tendencias similares (*i.e.*, existen diferencias altamente significativas en altura entre los bloques), pero en Winn Ph. (La.) y Calcasieu Ph. (La.), al igual que en otros orígenes, las diferencias entre sitios extremos son menores. No pudo establecerse un patrón de variación geográfica claro para dicha sensibilidad a la calidad de sitio. Los autores no observaron diferencias significativas en cuanto a altura total entre orígenes.

A los 15 años de edad, Crow, Clason y Burns (1977) no observaron diferencias significativas entre orígenes en altura total entre los bloques. Esta convergencia de los valores es interpretada como el resultado de la intensa competencia interespecífica (no se aplicó raleo alguno, *i.e.* se mantuvo el espaciamiento inicial de 6 x 6',

aproximadamente 1.8 x 1.8 m) mas bien que una reducción en sensibilidad a la calidad de sitio inducida por la edad. No se observaron diferencias significativas entre orígenes en cuanto a altura total. Los valores medios calculados para los orígenes Winn Ph. (La.) y Calcasieu Ph. (La.) fueron respectivamente 38' (*ca.* 11.6 m) y 42' (*ca.* 12.8 m); la media general del ensayo fue 40' (*ca.* 12.2 m). Pese a que en el comportamiento de los orígenes no se refleja un patrón geográfico claro, la altura total media tiende a aumentar de Norte a Sur, *i.e.* con la reducción de la latitud de origen (Crow, Clason y Burns, 1977).

Grigsby (1973) observó diferencias significativas entre los valores de altura total de 36 orígenes de *P. taeda* en dos ensayos situados en el Sur de Arkansas. A los 10 años de edad, la altura total media del origen Rapides Ph. (La.) resultó mayor al valor correspondiente del origen Ashley Co. (Ark.) y éste a su vez mayor a la altura total media del origen Polk Co. (Tx.).

A los 25 años de instalado el ensayo, Wells y Lambeth (1983) observaron diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre orígenes orientales y occidentales al Río Mississippi en cuanto a altura total media de individuos dominantes y codominantes. Dentro de la zona occidental, se observó un patrón de variación clinal, ya detectado por Grigsby (1973; 1977) a los 10 y 16 años de edad. Las diferencias en altura, que fueron evidentes ya en el quinto año, continuaron en aumento, resultando en diferencias en volumen entre orígenes occidentales y orientales de *ca.* 30 por ciento a una edad próxima a la rotación.

Barrichelo *et al.* (1977), en la evaluación del ensayo de orígenes de *P. taeda* de 9 años de edad en Telêmaco Borba (Paraná, Brasil) hallaron mejores incrementos en altura total entre las procedencias del Sureste del área de distribución natural de la especie (Florida, South Carolina, Georgia y Mississippi) respecto a procedencias del Norte (North Carolina y Virginia) o del Oeste (Louisiana, Texas y Arkansas) para las condiciones del ensayo (latitud 24° 20' S, longitud 50° 30' W, altitud 850 m.s.n.m. y precipitación anual media 1400 mm).

En los ocho ensayos establecidos por la Universidad de Texas entre 1952 y 1957, se constató hacia la edad 20 años el desarrollo de una marcada interacción genotipo x ambiente para crecimiento en altura, asociada primariamente con precipitación en las localidades de plantación (van Buijtenen, 1978; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984).

En relación a las diferencias observadas por Cole (1975) entre las alturas totales promedio, a los 9 años de edad, de seis orígenes de *P. taeda*, distribuidos en los Estados de South Carolina y Georgia, el autor formula observaciones análogas a las expresadas en referencia a *dap*.

Baldanzi (1978) halló diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre los valores promedio de altura total registrados sobre siete orígenes de *P. taeda* a los 9 y a los 5 años de edad. Respecto a los demás orígenes, los valores para Cherokee Co. (Tx.) y Ashley Co. (Ark.) fueron intermedios, para ambas edades. No se observaron diferencias significativas entre alturas totales medias de estos orígenes a los 9 años de edad.

La heredabilidad de la altura como componente de la característica compleja "tasa de crecimiento" es moderadamente alta (Dorman y Zobel, 1973).

Matziris y Zobel (1973) estimaron una heredabilidad de  $h^2 = 0.44$  para la altura total en un ensayo de progenies de polinización libre en *P. taeda* a la edad de 5 años. Sus resultados coinciden con los de otros autores, en el sentido que las heredabilidades estimadas para altura total son mayores a aquellas calculadas para *dap*.

Bidegain, Fradl y Torres (1984) no hallaron diferencias significativas entre alturas totales promedio de cinco orígenes de *P. taeda*. Observaron diferencias muy significativas ( $\alpha = 0.01$ ) en la interacción bloques - orígenes. Esta fuente de variación aportó un 37 por ciento de la variación total, en tanto que los orígenes aportan a dicha variación en un 35 por ciento.

Wells y Wakeley (1966) compararon el crecimiento en altura de orígenes de *P. taeda* de las Planicies Costeras *versus* orígenes de otras provincias fisiográficas en el sistema de ensayos del Southwide Pine Seed Source Study. En tres de los ensayos, situados a distancias variables de la costa, se observó una tendencia general a la reducción del crecimiento en altura con el incremento en distancia a la costa del origen. La intensidad de muestreo de poblaciones en este Estudio no es lo suficientemente alta como para detectar la existencia de discontinuidad, pese a lo cual los autores suponen un patrón de variación clinal.

Wells y Wakeley (1966) observaron, en 10 de 13 ensayos del Southwide Pine Seed Source Study para *P. taeda*, diferencias significativas entre orígenes respecto a altura total. El origen Livingston Ph. (Sureste de Louisiana) exhibió un crecimiento en altura superior en la mayoría de los ensayos; en nueve de trece ensayos, este origen estuvo entre los tres de mayor altura y fue el de mayor altura en cuatro de éstos (Dooly Co., Georgia; Coosa Co., Alabama; Winston Co., Mississippi y Pearl River Co., Louisiana). El origen Clark Co., (Suroeste de Arkansas) presentó un crecimiento en altura lento en todos los ensayos, salvo en Coosa Co. (Alabama) y Winston Co. (Mississippi) sobre sitios pobres. En cuanto al origen Angelina Co., (Este de Texas), se observaron valores intermedios entre los dos anteriores en cinco de los seis ensayos donde se plantaron juntos.

En el Estudio de Variación Racial de *P. taeda* de Georgia a la edad de 10 años, Kraus (1967) determinó que la altura total presenta una variación clinal discontinua, con una tendencia similar a la descrita para *dap*.

En la evaluación de estos ensayos a los 20 años de edad, Sluder (1980) observó diferencias altamente significativas ( $p = 0.01$ ) entre las alturas totales promedio de las siete provincias fisiográficas. La altura total media del origen Ashley Co. (Ark.) resultó menor a las alturas totales medias de las restantes seis provincias al Este del Río Mississippi. La correlación observada entre los datos registrados por Sluder (*ibid.*) y los datos de Kraus (1967) es elevada ( $r = 0.92$ ) y altamente significativa ( $\alpha = 0.01$ ).

En la evaluación de ensayos de orígenes en North Carolina, Lantz y Hofmann (1969) observaron que, en términos generales, los orígenes de las Planicies Costeras presentaron alturas superiores a aquellos de la zona de transición y del Piedmont, tanto al considerar valores promedio de cada origen como las medias de provincias fisiográficas. Estas diferencias resultaron significativas sólo en un ensayo situado en las Planicies Costeras.

## **5. Factor de forma**

Bidegain, Fradl y Torres (1984) observaron diferencias muy significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre las medias de cinco orígenes de *P. taeda* para factor de forma. Los bloques aportaron sólo un 18 % de la variación total, en tanto que al residuo corresponde un 78 % de dicha variación; los autores señalan en consecuencia la necesidad de un mayor número de repeticiones, de modo de reducir el efecto del error experimental y mejorar el control local de la variación para este carácter.

## **6. Ancho de anillos de crecimiento. Incremento radial**

Un anillo de crecimiento consiste en la capa continua o discontinua, formada sobre la periferia del tallo de los vegetales leñosos durante el transcurso de una estación de crecimiento por división de las células del *cambium* (Fritts, 1966; Barbosa, *s.f.*).

Los falsos anillos se encuentran enteramente incluidos en los límites de un anillo de crecimiento y resultan de una detención súbita en el proceso de formación normal del leño, seguida de la reactivación del *cambium* durante la misma estación de crecimiento. El leño tardío de un falso anillo se caracteriza por presentar límites difusos con los leños tempranos adyacentes (Barbosa, *s.f.*).

El número de anillos de crecimiento observado sobre la sección transversal del fuste en su porción basal no coincide exactamente con la edad del árbol, pues durante el estadio de plántula no se forma un anillo de crecimiento claramente distinguible (Barbosa, *s.f.*).

Al inicio de la estación de crecimiento, las células del *cambium* dan origen a traqueidas relativamente grandes, de paredes delgadas, que forman parte del leño temprano o leño de primavera, en tanto que, hacia fines de la estación de crecimiento, se diferencian traqueidas más pequeñas, de paredes gruesas, que constituyen el leño tardío o leño de verano (Fritts, 1966). El límite entre leños temprano y tardío correspondientes a una misma estación de crecimiento es gradual; en cambio, la transición entre el leño tardío de una estación de crecimiento y el leño temprano de la siguiente es abrupta, *i.e.* ocurre un contraste marcado en cuanto a caracteres de células contiguas (Record, 1912, citado por Fritts, *ibid.*).

El ancho de anillos de crecimiento, a menudo expresado como número de anillos por pulgada de incremento radial, es una excelente medida de vigor y crecimiento general. No obstante, el ancho de anillo en sí mismo no proporciona evidencia confiable alguna sobre la calidad de la madera (Larson *et al.*, 2001).

La porción basal del fuste proporciona la serie de anillos de crecimiento más completa y confiable contenida en el árbol, no sólo por el número de anillos de crecimiento, sino porque el patrón de variación en ancho de anillos y proporción de leño tardío reflejan con mayor exactitud las condiciones ambientales que controlaron el crecimiento del individuo (Fritts, 1966). Cuando se toman muestras a la altura del pecho, el ancho de anillos normalmente aumenta en sentido radial durante un número indefinido de años antes de volverse constante o bien disminuir. Este patrón refleja tanto las condiciones de crecimiento como la proximidad de la copa viva. En árboles vigorosos libres de competencia, se producirán anillos anchos hasta que la copa viva avance hacia arriba más allá de un nivel crítico. En árboles de rodales densos donde la competencia se establece temprano, el ancho de anillos de crecimiento se reduce en forma concomitante con el nivel de competencia. Así, la extensión radial del centro juvenil no puede ser estimada en base a patrones de ancho de anillos. Los árboles liberados de competencia mediante raleos tempranos y frecuentes o cuyo crecimiento se haya promovido mediante fertilización o laboreo pueden mantener anillos de crecimiento anchos más allá del período juvenil generalmente aceptado. En cambio, los árboles sujetos a competencia en los primeros estadios podrían mostrar patrones de anillos de crecimiento que sugieren aquellos del leño adulto (Larson *et al.*, 2001).

En un estudio de densidad de la madera y porcentaje de leño tardío, Saucier y Taras (1967), trabajando sobre un ensayo de nueve orígenes de *P. taeda* de 14 años de edad, tomaron discos de 3" de espesor a una altura de 5.3' (*ca.* 1.61 m) del suelo. Sobre estos discos se midieron ancho de anillo de crecimiento y ancho de leño tardío, a lo largo de

dos radios opuestos. Estos radios se escogieron al azar, excluyendo áreas conteniendo madera de compresión. Las mediciones, realizadas bajo microscopio, tuvieron una precisión de 0.001 mm.

Sayagués y Simón (1983) midieron (con precisión 0.05 cm) ancho de anillos de crecimiento sobre probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho en dirección Norte - Sur, de corteza a corteza, pasando por la médula. Observaron diferencias significativas entre los radios Norte y Sur para esta característica.

En Arkansas, donde es frecuente la ocurrencia de sequías estivales y otoñales, se observó una correlación negativa entre ancho de anillo y déficit de agua en el suelo durante los correspondientes años (*i.e.*, a mayor déficit, menor ancho de anillo) a todas las alturas del fuste (Smith y Wilsie, 1961; citado por Dorman, 1976).

En el estudio de Louisiana Central, que incluyó cinco orígenes de *P. taeda* (Vernon South, East Feliciana, Washington, St. Tammany y Vernon North) ubicados geográficamente sobre una transecta Este - Oeste e instalados en tres ensayos, se tomaron muestras de madera cuando los árboles alcanzaron la edad de 13 años (Zabala, 1974; citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). Al evaluar el carácter ancho de anillos de crecimiento, pudo asociarse un patrón Este - Oeste a los valores observados, pero otras características no mostraron patrones geográficos generales. Se concluyó que existe muy escasa variación geográfica en propiedades de la madera entre estos cinco orígenes de Louisiana

Al analizar ancho de anillos en orígenes de *P. taeda*, Bidegain *et al.* (1984) no observaron diferencias significativas entre orígenes; los orígenes aportaron menos de un 1 por ciento (0.3 %) a la variación total. Se observaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre individuos (árboles en orígenes en bloques), pero éstos aportaron menos de un 1 por ciento (0.6 %) de la variación total. Hubo diferencias muy significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre anillos, aportando éstos a un 17 % de la variación total. La interacción origen - anillo resultó significativa ( $\alpha = 0.05$ ), aportando sólo en un 0.2 por ciento a la variación total. En este análisis, el residuo fue el principal componente de la variación, correspondiéndole 81.9 por ciento del total.

## 7. Area de anillo de crecimiento

Sayagués y Simón (1983) calcularon área de anillos de crecimiento en base a los anchos de anillo medidos sobre probetas de incremento radial. Los resultados indican que las diferencias observadas entre las áreas de anillos son mas importantes que aquellas observadas entre anchos de anillos. El área de anillos se incrementó desde el centro a la periferia, haciéndose constante o disminuyendo, en tanto que los valores de ancho de anillos en general tendieron a reducirse desde la médula a la corteza.

Al analizar área de anillos en orígenes de *P. taeda*, Bidegain *et al.* (1984) no observaron diferencias significativas entre procedencias, pese a lo cual éstas aportaron un 67 por ciento de la variación total para la característica en cuestión. Las variaciones observadas entre individuos (árboles en orígenes en bloques) fueron altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ), representando un 15 por ciento de la variación total. También se observaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.01$ ) entre anillos y para la interacción origen - anillo, resultando sus aportes respectivos a la variación total 4 y 2 por ciento. Por lo tanto, el comportamiento de los orígenes es inconsistente y existe para esta característica la posibilidad de selección individual, pese a que el extraer conclusiones respecto a estos orígenes requeriría un mayor número de repeticiones.

En el estudio de Louisiana Central, evaluado a la edad de 13 años, se halló un patrón de variación Este - Oeste para ancho de anillos de crecimiento (Zabala, 1974, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984).

## **D. VARIABLES ASOCIADAS A LA APTITUD DE USO DE LA MADERA**

### 1. Porcentaje de leño tardío

En el leño normal de las especies del género *Pinus* del Sureste de EUA, en los anillos de crecimiento se observa, a ojo desnudo, una diferenciación neta entre el leño temprano, de color claro y el leño tardío, de color oscuro (Koch, 1972). El porcentaje de leño tardío es la característica de la madera mas fácilmente determinada y ampliamente utilizada. Está altamente correlacionada con la  $G_e$  y proporciona un índice visual de resistencia y propiedades estructurales (Koch, 1972; Larson *et al.*, 2001); es también un componente importante de las normas de calidad de madera de aserrío y tablas. Varios autores (Barefoot *et al.*, 1970; Foelkel, 1976) han establecido relaciones entre porcentaje de leño tardío y el rendimiento en pastas y la calidad de pulpa y papel.

Las proporciones de leños temprano y tardío no son necesariamente equivalentes para anillos de un mismo ancho radial. El porcentaje máximo de leño temprano ocurre en la zona apical del fuste y decrece hacia la base, de modo que el porcentaje de leño tardío es máximo en la porción inferior del tallo (Barbosa, *s.f.*).

#### **a. Relación entre porcentaje de leño tardío y otras variables**

El porcentaje de leño tardío se halla relacionado con otras propiedades de la madera, entre las cuales se encuentran densidad o gravedad específica ( $G_e$ ), diámetro y longitud de traqueidas y espesor de paredes celulares.

Existe una elevada correlación entre  $G_e$  y porcentaje de leño tardío; *e.g.* Schafer (1949, citado por Spurr y Hsuing, 1954) observó que, analizando 606 secciones transversales de especies del género *Pinus* del Sureste de EUA, 72 por ciento de la variabilidad en  $G_e$  resultaba atribuible a la variación en el volumen del leño tardío. Saucier y Taras (1967) hallaron una correlación significativa ( $r = 0.758^*$ ) entre  $G_e$  y porcentaje de leño tardío.

Varios autores, citados por Goggans (1961), señalan también una alta correlación entre el porcentaje de leño tardío y la gravedad específica de la madera, entre ellos Turnbull (1947), Smith (1956), Larson (1957) y Miller (1959). La mayoría destaca la ausencia de correlación significativa entre tasa de incremento diametral (*i.e.* ancho de anillos de crecimiento) y porcentaje de leño tardío. En *P. taeda* Zobel y Rhodes (1955, *in op. cit.*) observaron una correlación significativa entre porcentaje de leño tardío y edad y una correlación muy baja entre porcentaje de leño tardío y tasa de crecimiento diametral. La correlación entre edad y porcentaje de leño tardío es menos importante cuando se separan leños juvenil y adulto (Goggans, 1961).

Según Paul (1963), en especies coníferas, la gravedad específica de la madera depende primariamente de las proporciones relativas de leños temprano y tardío. En consecuencia, este autor propone incrementar la gravedad específica de la madera controlando el porcentaje de leño tardío mediante los sistemas silvícolas. La producción de madera de alta densidad se lograría estableciendo los rodales por regeneración natural y restringiendo el espacio disponible para el crecimiento de cada árbol y prolongando la rotación (edad de cosecha). Sin embargo, la política silvícola propuesta por Paul (*ibid.*) es completamente cuestionable y parece ignorar la investigación realizada hasta la fecha en mejoramiento genético forestal y las tendencias de la gestión silvícola en desarrollo desde mediados de la década de 1930, a partir de los trabajos de Craib (1939, citado por Hawley y Smith, 1954).

Es frecuente suponer que existe una relación negativa entre la tasa de incremento radial (*i.e.*, ancho de anillo de crecimiento) y porcentaje de leño tardío. Schmidt y Horton (1961) estudiaron esta relación en *P. taeda*, sobre árboles suprimidos y de otras clases de copa. Sólo en individuos suprimidos se ajustó una ecuación de regresión de porcentaje de leño tardío sobre ancho de anillo de crecimiento, con un coeficiente de regresión de  $r = 0.1585$  \*\*\* ( $\alpha = 0.001$ );  $r^2 = 0.02512$  indica, sin embargo, que el ancho de anillos sólo explica un 2.5% de la variación en el porcentaje de leño tardío, por lo cual no constituye un factor preponderante. Los autores no hallaron relación significativa entre ancho de anillos y porcentaje de leño tardío en árboles de otras clases de copa.

La longitud de traqueidas se encuentra correlacionada en forma positiva con el porcentaje de leño tardío en *P. taeda* (Institute of Paper Chemistry, 1960; citado por Goggans, 1961).

#### **b. Porcentaje de leño tardío; variación en el fuste y métodos de estudio**

Según Schultze-Dewitz (1958, citado por Goggans, 1961), el diámetro radial de las traqueidas tiende a aumentar desde la médula hacia la corteza en el leño temprano, y es variable en el leño tardío; el espesor de paredes celulares aumenta en ambos leños, temprano y tardío, desde la médula hasta la corteza.

El espesor de pared en traqueidas del leño tardío y la gravedad específica de estas paredes (calculada como el cociente entre gravedad específica de la madera y el área transversal ocupada por paredes celulares) se relaciona también a la densidad aparente de los papeles. Las traqueidas del leño tardío aparentemente no colapsan y tienden a generar hojas voluminosas, de trama abierta, con baja densidad aparente (Einspahr, van Buijtenen y Peckham, 1969). Los análisis de regresión múltiple (*ibid.*) revelaron que las resistencias a la tensión y al rasgado se hallan relacionadas en forma significativa con el porcentaje de leño tardío. La resistencia al estallido parece no estar bajo la influencia por las propiedades de la madera y de la fibra.

En los anillos cercanos a la médula de las coníferas en general y en todos los anillos de crecimiento de los géneros *Abies*, *Picea* y *Pinus* en particular, no es posible distinguir el límite entre leños temprano y tardío dentro de un mismo anillo de crecimiento. Esta dificultad se debe a que, en la transición de un tipo de leño a otro ocurren, sobre el plano transversal, un engrosamiento de las paredes celulares y una reducción en el diámetro radial de los *luminae* en forma simultánea, *i.e.* la evolución de tejido de conducción a tejido de sostén es muy gradual. Varios autores, entre ellos Knigge y Koltzenburg

(1963) y Posey (1964), han aplicado la definición de Mork <sup>4</sup> (1928) para diferenciar leño temprano de leño tardío dentro de un mismo anillo de crecimiento. Mork definió traqueida del leño tardío como aquella en la cual el doble espesor radial de la pared celular iguala o supera el diámetro radial del lumen celular. Toda célula en la cual el diámetro radial del lumen sea mayor al doble espesor radial de pared celular corresponde al leño temprano.

Young (1952) estudió las proporciones relativas de leños temprano y tardío a diversas alturas en el fuste de *P. taeda* de 14 y 15 años de edad. Para ello, se extrajeron discos de la base, a la altura del pecho y a 50, 65 y 80 por ciento de la altura total del árbol. Estos discos fueron secados y pulidos. Las mediciones se efectuaron sobre un radio de longitud equivalente al promedio de 6 radios escogidos al azar.

Einspahr, Peckham y Mathes (1964) emplearon cuatro probetas de incremento radial con 10 mm de diámetro en sección transversal, tomadas a la altura del pecho de cada árbol muestreado, con el fin de establecer valores estándar para la evaluación individual de calidad de la madera en *P. taeda* a través de diversos caracteres, entre ellos porcentaje de leño tardío.

Einspahr, van Buijtenen y Peckham (1969) estimaron porcentaje de leño tardío a diferentes alturas en clones de *P. taeda*, a partir de mediciones lineales de leños temprano y tardío a lo largo de dos radios en ángulo de *ca.* 180° sobre discos.

Una dificultad frecuente en la medición de leños temprano y tardío es la aparición de falsos anillos. Estos se caracterizan por la presencia de leño tardío con transición gradual hacia leños temprano a ambos lados. Van Buijtenen (1955, citado por Goggans, 1961) observó que, en *P. taeda* adulto en Texas podía constatarse la producción de leño temprano luego de iniciado el leño tardío durante una misma estación de crecimiento si a una sequía estival sucedía un período lluvioso.

---

<sup>4</sup> Mork, E. Die Qualität des Fichtenhdzes unter besonderer Rücksichtnahme auf schleif und Papierholz. Papier-fabrikant. Bol 26 (1928) Nr. 48, S. 741/747.

### c. Patrones de variación regional en porcentaje de leño tardío

En el ensayo orígenes de *P. taeda* en Talladega, Alabama, evaluado a la edad 14 años por Saucier y Taras (1967), se observó una variación del porcentaje de leño tardío asociada a la latitud de origen, aumentando de Sur a Norte, pero la correlación calculada fue no significativa ( $r=0.387$ ) *cf.* Jackson y Strickland (1962).

Saucier y Taras (1967) calcularon porcentajes de leño tardío para nueve orígenes de *P. taeda*, de los cuales tres (Clark, Arkansas; Livingston, Louisiana y Angelina, Texas) se encuentran en la zona occidental al Río Mississippi. Los valores observados oscilan entre 28 % (Texas) y 31 % (Louisiana y Arkansas). No se observó diferencias significativas entre porcentajes de leño tardío de estos orígenes.

En el estudio de Louisiana Central, que incluye cinco orígenes de *P. taeda* tomados sobre una transecta Este - Oeste y comprende tres ensayos, se recogieron y analizaron muestras de madera, sobre las cuales se calculó porcentaje de leño tardío cuando los árboles tenían 13 años de edad (Zabala, 1974, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984). No se halló diferencias significativas entre los orígenes (Vernon South, East Feliciana, Washington, St. Tammany y Vernon North) para porcentaje de leño tardío.

La proporción de leño tardío generalmente tiende a aumentar en sucesivos anillos de crecimiento, desde la médula hasta el *cambium* (Rendle, 1958b; y Schultze-Dewitz, 1957, 1958, citado por Goggans, 1961)

El leño temprano está constituido por traqueidas con paredes delgadas y diámetros en sentido radial relativamente grandes, en tanto que en el leño tardío las traqueidas presentan paredes celulares gruesas y diámetros radiales pequeños en comparación. El porcentaje de leño tardío afecta entonces la densidad o gravedad específica de la madera (Goggans, 1961; Paul, 1963). En coníferas, el leño tardío presenta un mayor porcentaje de celulosa que el leño temprano. Esta celulosa tiene a su vez un mayor grado de polimerización y cristalinidad (Barbosa, *s.f.*).

Labosky y Ifju (1972) observaron diferencias significativas en rendimiento, en términos de pasta Kraft, entre fracciones de anillos de crecimiento. Del leño temprano se obtuvieron rendimientos menores que del leño tardío, en períodos breves de cocción, principalmente debido a su mayor contenido en extractivos (eliminados durante el proceso de cocción alcalina), su menor contenido en polisacáridos, su contenido en lignina ligeramente mayor y su menor densidad (en relación a una mayor tasa de penetración del licor de cocción). Por lo tanto, las variaciones que puedan ocurrir dentro del anillo de crecimiento, en cuanto a estructura y composición química vinculadas a las proporciones relativas de leños temprano y tardío afectan el comportamiento del material leñoso en la obtención de pastas Kraft (*ibid.*).

El patrón de variación de la  $G_e$  para el leño tardío difiere de dicho patrón para el leño temprano; este hecho, señalado por Smith (1956), Schafer (1949) y Paul y Smith (1950), citado por Goggans (1961) se relaciona a la variación en dimensiones de traqueidas y espesor de paredes celulares.

Young (1952) observó gran similitud entre las proporciones de leño tardío en secciones transversales a la altura del pecho y a 50, 65 y 80 por ciento de la altura total del fuste. Por esto, el autor considera adecuado estudiar el patrón de variación de leño tardío a la altura del pecho para caracterizar dicha variación.

El leño juvenil presenta un bajo porcentaje de leño tardío. La elección de 10 años como el período juvenil definido de manera arbitrario para *Pinus taeda* se basa en el supuesto que en adelante se producirán valores de proporción de leño tardío mayores, característicos del leño maduro. Por ejemplo, McAlister y Powers (1992, citado por Larson *et al.*, 2001) consideraron como regla general que un anillo de crecimiento con 50% de leño tardío se encuentra en la zona de transición entre leños juvenil y adulto. Larson *et al.* (2001), sin embargo, sostienen que un mejor criterio puede ser 40%, puesto que se ha constatado que orígenes septentrionales de *P. taeda* no alcanzan 50% de leño tardío a ninguna edad. Por otra parte, McAlister y Powers (1992, *ibid.*) observaron que *P. taeda* cultivado en huerto semillero, con *dap* medio entre 25.4 y 40.6 cm aún no había alcanzado porcentajes de leño tardío de 50% a la edad de 15 años.

Se ha observado una alta correlación entre  $G_e$  y porcentaje de leño tardío por parte de varios autores. Schafer (1949, citado por Spurr y Hsiung, 1954), en el análisis de 606 secciones transversales de especies de *Pinus* del Sureste de EUA, observó que 72 por ciento de la variabilidad en gravedad específica podía atribuirse a la variación en el volumen de leño tardío. Zobel y Rhodes (1955, citado por Koch, 1972) observaron una alta correlación entre estas dos variables en *P. taeda*. Como ya se señaló, Saucier y Taras (1967) hallaron una correlación significativa ( $r= 0.758$  \*) entre gravedad específica y porcentaje de leño tardío.

## 2. Gravedad específica y densidad básica de la madera

La gravedad específica ( $G_e$ ) es tal vez el criterio más antiguo y más ampliamente utilizado para evaluar la calidad de la madera, sus propiedades de resistencia mecánica para uso estructural y como materia prima de diversos procesos industriales (Bendtsen, 1978). La selección por mayor densidad de la madera resulta en un aumento del rendimiento en pastas celulósicas y una mejora en las propiedades mecánicas del papel (Blair, Zobel y Barker, 1975; van Buijtenen *et al.*, 1975; Foelkel, 1976).

En términos generales, se tiende a la selección por mayores valores de  $G_e$  a los efectos de mejorar propiedades tecnológicas de la madera; sin embargo, para usos especiales como el curvado al vapor (Lemoine y Koch, 1971), en las especies de *Pinus* del Sureste de EUA, la madera más apta es la de baja densidad.

La  $G_e$  es el cociente entre el peso de una muestra de madera y el peso de un volumen equivalente de agua a una temperatura estándar; a diferencia de la densidad, se expresa sin unidades. La  $G_e$  normalmente se basa en peso seco en horno y volumen verde de la probeta. La densidad básica es el cociente entre la masa anhidra y la masa saturada de una probeta. Pese a que la gravedad específica y la densidad son derivadas por métodos diferentes, los términos son utilizados a menudo como sinónimos (Koch, 1972; Dorman, 1976; Larson *et al.*, 2001).

Goggans (1961) considera que la edad, la tasa de crecimiento (*i.e.* el ancho en sentido radial de los anillos de crecimiento), la proporción de leño tardío y la presencia de leño juvenil son factores altamente correlacionados entre sí y ligados a la gravedad específica.

No existe una separación neta entre leño juvenil y leño adulto; la transición de un tipo de madera a otro ocurre en forma gradual, durante varias estaciones de crecimiento. En un rodal de *Pinus taeda* estudiado por Zobel y McElwee (1958, citado por Goggans, 1961), se observó que el leño juvenil abarcaba desde la médula hasta el séptimo anillo de crecimiento, a cualquier altura sobre el fuste. Zobel *et al.* señalaron que el período medio de formación de leño juvenil oscila entre 7 y 11 años para *P. taeda*.

Zobel, Thorbjornsen y Henson (1960) previeron importantes avances en el mejoramiento genético de  $G_e$  en *P. taeda*, dada la alta variación individual observada en poblaciones naturales.

Según las conclusiones de Saucier y Taras (1967) el componente genético en la variación geográfica en densidad de la madera no parece ser importante en *P. taeda*. También los resultados de ensayos Lantz y Hofmann (1969) indican que la  $G_e$  en el leño juvenil de *P. taeda* estaría sujeta a control ambiental mas bien que a control genético. No

resulta claro si la variación de esta característica es de naturaleza racial, ecotípica o clinal.

Sprague *et al.* (1983) estimaron una heredabilidad para la  $G_e$  del leño adulto en *P. taeda* de 19 a 20 años de edad de  $h^2 = 0.44$ ; este valor indica un alto grado de control genético para esta característica.

Stonecypher y Zobel (1966; citado por Dorman, 1976) obtuvieron resultados similares a los de Stonecypher, Cech y Zobel (1964, *ibid.*). Se calculó una heredabilidad en sentido estricto de  $h^2 = 0.73$  para  $G_e$ , en la evaluación de las progenies de los mismos árboles a los 5 años de edad.

#### **a. Métodos alternativos de muestreo para la estimación de $G_e$ o densidad de la madera**

Varios autores han utilizado probetas de incremento radial con el fin de determinar densidad o gravedad específica ( $G_e$ ) de la madera. La extracción de probetas de incremento radial con barrenos o caladores de Pressler de diverso calibre ha sido extensamente utilizada como técnica no destructiva de muestreo, ya sea a los efectos de determinar  $G_e$  o densidad de la madera o bien de medir crecimiento radial y calcular incrementos, porcentaje de leño tardío, *etc.*

La extracción de las probetas de incremento radial se realiza comúnmente a la altura del pecho (1.30 m, 1.37 m en EUA) u otra altura normal. El número de probetas retiradas puede variar entre 1 y 4, según el objetivo de la extracción y el diámetro en sección transversal de la probeta oscila entre 4 y 12 mm, dependiendo de la edad y del *dap* de los individuos muestreados. La extracción puede realizarse “*de corteza a médula*” o bien “*de corteza a corteza*”, procurando en tal caso incluir la médula en la probeta.

En un estudio sobre densidad de la madera y longitud de traqueidas en especies subtropicales de *Pinus*, E. B. de Guth (1970) extrajo dos probetas con barreno de Pressler de calibre 4 mm a una altura de 1.50 m. Se eligió un calador de pequeño calibre para no dañar en exceso a los árboles bajo estudio, de 7 años de edad.

Mothe (1983) determinó densidad básica sobre probetas de incremento radial de 5 mm de diámetro en su sección transversal, para el estudio de la variabilidad genética dentro y entre poblaciones en calidad de la madera y crecimiento de *Picea abies*. También a los efectos de determinar densidad básica, pero en *Pinus radiata* de 18 años de edad, Bannister y Vine (1981) utilizaron dos probetas de este calibre, de corteza a médula.

Goddard y Strickland (1962), en un estudio acerca de la variación geográfica en  $G_e$  de *Pinus elliottii*, utilizaron tres probetas de incremento radial, de 8 a 10 mm de diámetro en sección transversal.

Talbert *et al.* (1983), a los efectos de estimar  $G_e$  con extractivos en árboles de 7 y 20 años de edad, emplearon probetas tomadas con caladores de calibres 8 y 12 mm, respectivamente.

La mayoría de los autores que han empleado probetas de incremento radial para estudiar propiedades de la madera las han retirado con barrenos de Pressler de calibre 10 a 11 mm. En estos casos, se retira en general de cada árbol una a cuatro probetas de corteza a médula o bien una única probeta de corteza a corteza.

Einspahr *et al.* (1964) utilizaron cuatro probetas tomadas con calador de calibre 10 mm de cada árbol, a los efectos de establecer valores estándar para evaluación individual de calidad de la madera en *Pinus taeda*.

Posey (1964), Cole *et al.* (1965) y Cole (1975) determinaron  $G_e$  con probetas extraídas con calador de Pressler de calibre 10 mm.

Otros autores, *e.g.* Zobel *et al.* (1960), Thor (1967), van Buijtenen *et al.* (1967, citado por Einspahr *et al.*, 1969), Kirk *et al.* (1972) y Sprague *et al.* (1983), por otra parte, emplearon probetas con diámetro en sección transversal de 11 mm. En las probetas utilizadas por Jett y Talbert (1982), este diámetro era de 12 mm. Wahlgren y Fassnacht (1959, citado por Gilmore *et al.*, 1961) concluyeron que una probeta de incremento radial estándar, tomada a la altura del pecho puede ser utilizada para estimar  $G_e$  promedio en la porción comercial del fuste en *P. taeda*.

La dirección de extracción de las probetas difiere según autores. Zobel, Thorbjornsen y Henson (1960), Posey (1964) y E. B. de Guth (1970) optaron por retirar dos probetas, la primera al azar y la segunda desde un punto diametralmente opuesto. Wahlgren y Schumann (1972) extrajeron probetas corteza a corteza, de modo tal que el barreno apuntara al centro de la parcela. Las probetas analizadas por van der Sijde (1976) fueron retiradas desde la cara Norte del fuste.

Goddard y Strickland (1962) tomaron tres probetas por árbol, distribuidas a intervalos regulares sobre la circunferencia a la altura del pecho (*i.e.*, a 120° entre sí).

Bannister y Vine (1981) emplearon dos probetas tomadas de corteza a médula; la primera se extraía desde el lado opuesto a la inclinación del fuste y la segunda en ángulo de 45° respecto a la primera, procurando evitar zonas que contuvieran leño de compresión.

En la recolección de probetas de incremento radial, Cole, Zobel y Roberds (1965) señalan que, cuando alguna de las probetas retiradas contenía defectos (vg. nudos, bolsas de resina) o no incluía la médula, distando el leño mas próximo a ella dos o mas anillos de crecimiento, la probeta era descartada y se calaba el árbol hasta obtener una muestra satisfactoria.

Zobel, Kellison y Matthias (1969) determinaron  $G_e$  de *P. taeda* en base a dos discos de 1" de espesor, tomados a 5' y 10' sobre la altura del tocón (*i.e.*, *ca.* 1.8 m y 3.3 m, respectivamente).

Saucier y Taras (1967) midieron  $G_e$  sobre dos sectores de disco, con ángulo de 45°, libres de nudos y madera de compresión. El peso anhidro fue medido luego de secado en estufa a 105° C hasta lograr peso constante. La  $G_e$  fue calculada sólo para madera con extractivos.

#### **b. Relación entre $G_e$ a la altura del pecho y $G_e$ estimada en todo el fuste**

La correlación entre valores de  $G_e$  o densidad estimados mediante técnicas no destructivas, *e.g.* probetas de incremento radial, *versus* valores obtenidos de muestreo en árboles apeados ha sido objeto de estudio de diversos autores. Se ha estimado  $G_e$  de fustes individuales y/o de porciones comerciales de los mismos a partir de esta correlación.

Spurr y Hsiung (1954) compararon dos métodos de muestreo en *Pinus banksiana* para la determinación de  $G_e$  (peso saturado y volumen anhidro), *viz.* probetas cúbicas *vs.* probetas de incremento radial extraídas con calador de Pressler. Se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos por uno y otro método. La  $G_e$  determinada utilizando probetas de incremento radial resultó menor, posiblemente debido a una remoción mas completa de la humedad para la determinación de peso anhidro en comparación a probetas mas voluminosas (*e.g.* probeta prismática estándar de 2 x 2 x 6 ") Por otra parte, resulta difícil confeccionar probetas voluminosas libres de defectos (madera de compresión, nudos, *etc.*). En resumen, las probetas de incremento radial pueden proporcionar valores satisfactorios de  $G_e$  cuando son procesadas bajo condiciones controladas en laboratorio.

En términos generales, la  $G_e$  estimada a partir de probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho es considerada un indicador confiable de la  $G_e$  de todo el fuste (Brown y Klein, 1961; Barefoot *et al.*, 1970; Zobel, Jett y Hutto, 1978; van der Sijde, 1979) o de la porción comercial del fuste (Gilmore, Metcalf y Boggess, 1961;

Higa, Kageyama y Ferreira, 1973). En el Cuadro 1 se presenta una síntesis de los resultados de algunos de estos trabajos.

Cuadro 1. Relaciones establecidas entre  $G_e$  o densidad de la madera estimadas a la altura del pecho y valores obtenidos del fuste<sup>5</sup>

<b>Autor(es)/año/taxon</b>	<b>Variables relacionadas</b>	<b>Función/ coeficiente de correlación (<math>r^2</math>)</b>
Gilmore, Metcalf y Boggess, 1961. <i>Pinus taeda</i>	$G_e$ en el fuste comercial $G_e$ a la altura del pecho, probetas de incremento radial	$y = 0.181 + 0.5599 x^3$ $r^2 = 0.764^{**}$
Einspahr, van Buijtenen y Peckham, 1969	$G_e$ de discos tomados a diferentes alturas $G_e$ a la altura del pecho, probetas de incremento radial	— 0.98 **
Hira, Kageyama y Ferreira, 1973	$d_{0,g}$ media de muestras tomadas cada 2 m $d_{0,g}$ a la altura del pecho, probetas de incremento radial	$y = 0.0681 + 0.7519 x^3$ $r^2 = 0.9725^{***}$
van der Sijde, 1979	$d_{0,0}$ con extractivos de todo el fuste $d_{0,0}$ a la altura del pecho, probetas de incremento radial	$y = 0.031 + 0.981 x$ — 0.904 **

No obstante, la validez de las propiedades de la madera estimadas en base a muestras tomadas a la altura del pecho como indicadores de tales propiedades en el resto del fuste ha sido cuestionada. Wahlgren y Schumann (1972), por ejemplo, señalan que la  $G_e$  estimada empleando probetas extraídas a la altura del pecho sobrestiman la  $G_e$  media en la porción comercial del fuste en especies de *Pinus* del Sureste de EUA. Esta conclusión se asocia al hecho que la  $G_e$  aumenta con la distancia a partir de la médula y decrece con la altura en el tallo.

<sup>5</sup> En la mayor parte de la bibliografía relativa a  $G_e$  en coníferas, la determinación de esta propiedad se basa en peso seco en estufa y volumen verde (Goggans, 1961).

La gravedad específica de árboles individuales, estimada mediante probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho presenta una alta correlación con los valores de gravedad específica estimada en base a discos tomados a diferentes alturas. Einspahr, van Buijtenen y Peckham (1969) calcularon un coeficiente de correlación de 0.98 \*\* entre ambos valores.

Barefoot *et al.* (1970) consideran que los valores de  $G_e$  estimados en base a probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho son indicadores confiables de la  $G_e$  de todo el fuste.

En las especies del género *Pinus* del Sureste de EUA, la  $G_e$  tiende a aumentar con la distancia a partir de la médula y a decrecer con la altura dentro del fuste. Por lo tanto, los valores de  $G_e$  determinados utilizando probetas extraídas a la altura del pecho sobrestiman la  $G_e$  media en la porción comercializable del fuste (Wahlgren y Schumann, 1972).

### c. Método de máximo contenido de humedad para determinar $G_e$

La estimación de  $G_e$ , densidad básica ( $d_{0,g}$ ) o infradensidad (Foelkel, Brasil y Barrichelo, 1971; Rolim y Ferreira, 1974; Sesbou, 1981; Mothe, 1983) mediante el método de máximo contenido de humedad fue descrita por Keylwerth (1954, *ibid.*). La densidad básica es el cociente entre la masa anhidra<sup>6</sup> ( $M_0$ ) y el volumen ( $V_g$ ).

En la estimación de densidad básica, la etapa mas dificultosa, en la que es frecuente una exactitud insatisfactoria, en especial para el caso de probetas pequeñas e irregulares, es la medición del volumen saturado. Por esto se evita su medición directa, mediante la aplicación de la fórmula siguiente.

$$d_{0,g} = \frac{P_0}{V_s} = \frac{1}{\frac{P_s}{P_0} - 0.347}$$

donde

$d_{0,g}$  es la densidad básica de la madera

$P_0$  es el peso anhidro

$P_s$  es el peso saturado

---

<sup>6</sup> En adelante se hará referencia a “peso” como sinónimo de “masa”

$V_s$  es el volumen saturado.

Un supuesto básico en el método de máximo contenido de humedad, es que la densidad de las paredes celulares equivale a  $1.53 \text{ g/cm}^3$  (e.g., Rolim y Ferreira, 1974) y que la densidad del agua es aproximadamente  $1 \text{ g/cm}^3$ . La derivación de la fórmula a partir de dicha premisa se expone a continuación.

$$\text{densidad de paredes celulares} = \frac{\text{Peso de paredes celulares}}{\text{Volumen de paredes celulares}} = 1.53 \text{ g/cm}^3$$

$$d_{o,g} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen saturado}} \quad (1)$$

$$d_{o,g} = \frac{\text{Peso paredes celulares} + \text{peso del aire en } \textit{luminae}}{\text{Volumen paredes celulares} + \text{Volumen } \textit{luminae}} \quad (2)$$

El peso del aire contenido en las cavidades celulares puede suponerse equivalente a cero. Así,

$$d_{o,g} = \frac{\text{Peso paredes celulares}}{\text{Volumen paredes celulares} + \text{Volumen } \textit{luminae}} \quad (3)$$

A los efectos de separar los términos del denominador, se invierte el cociente:

$$\frac{1}{d_{o,g}} = \frac{\text{Volumen paredes celulares} + \text{Volumen } \textit{luminae}}{\text{Peso paredes celulares}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{d_{o,g}} = \frac{\text{Volumen paredes celulares}}{\text{Peso paredes celulares}} + \frac{\text{Volumen } luminae}{\text{Peso paredes celulares}} \quad (5)$$

El volumen de las cavidades celulares en una probeta saturada se encuentra ocupado por agua. Puede suponerse que, si la densidad de ésta equivale a  $1 \text{ g/cm}^3$ , el peso correspondiente es numéricamente igual al volumen.

$$\text{Volumen } luminae = \text{Peso saturado} - \text{Peso de paredes celulares} \quad (6)$$

Sustituyendo Volumen de *luminae* de (6) en (5), se obtiene

$$\frac{1}{d_{o,g}} = \frac{\text{Volumen paredes celulares}}{\text{Peso paredes celulares}} + \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso de paredes celulares}}{\text{Peso paredes celulares}} \quad (7)$$

Así, podríamos escribir

$$\frac{1}{d_{o,g}} = \frac{1}{1.53} + \frac{\text{Peso saturado}}{\text{Peso anhidro}} - 1 \quad (8)$$

La densidad básica será entonces equivalente a

$$d_{o,g} = \frac{1}{\frac{\text{Peso saturado}}{\text{Peso anhidro}} + \frac{1}{1.53} - 1} \quad (9)$$

$$d_{o,g} = \frac{1}{\frac{\text{Peso saturado}}{\text{Peso anhidro}} - 0.3464}$$

Spurr y Hsuing (1954) señalan que la  $G_e$  de la sustancia leñosa, básicamente hemicelulosa y lignina, es en promedio 1.5.

Goddard y Strickland (1962) utilizaron el método de máximo contenido de humedad para estimar  $G_e$  de *P. elliotii* sobre probetas de incremento radial, descrito por Smith (1954).

Se han señalado limitaciones del método de máximo contenido de humedad. Según Stamm (1964, citado por Foelkel, Brasil y Barrichelo, 1971), una de las posibilidades de error en este método sería suponer que la densidad de paredes celulares es 1.53 g/cm<sup>3</sup>, cuando en realidad puede oscilar entre 1.50 y 1.55 g/cm<sup>3</sup>. E. B. de Guth (1970) también cuestiona la adopción de un valor constante para la densidad de paredes celulares en coníferas, donde por otra parte, la proporción de leño tardío y la composición química de la sustancia leñosa pueden variar de manera considerable. Otra fuente de error del método de máximo contenido de humedad (Stamm, *ibid.*) sería no obtener una saturación completa de las probetas

Sesbou (1981) determinó densidad básica en *Eucalyptus camaldulensis* mediante el método de máximo contenido de humedad. Las probetas fueron llevadas a saturación luego de 48 horas de remojo en agua en estado de ebullición, seguido de un período de enfriamiento. El peso anhidro fue obtenido luego de secado en estufa a una Temperatura de 102.5 °C durante un tiempo mínimo de 48 horas.

Vintila (1939, citado por Foelkel, Brasil y Barrichelo, 1971) concluye que es posible lograr una máxima saturación en agua cuando las probetas tienen un volumen de 200 a 1000 mm<sup>3</sup>. Smith (1955, citado por Foelkel, Brasil y Barrichelo, *ibid.*) sostiene que el método del máximo contenido de humedad es totalmente satisfactorio cuando el volumen de las probetas oscila entre 100 y 1600 mm<sup>3</sup>.

#### **d. Comparaciones entre el método de máximo contenido de humedad y otros métodos**

El método de máximo contenido de humedad ha sido probado con uno o más procedimientos alternativos de estimación de  $G_e$  o densidad, a los efectos de compararlos en cuanto a exactitud, simplicidad y eficiencia en el uso del tiempo.

Polge (1964) comparó máximo contenido de humedad con otros tres métodos para estimar densidad básica ( $d_{0,g}$ ), viz. *a*) cociente de peso anhidro sobre volumen saturado medido con picnómetro; *b*) cociente de peso anhidro sobre volumen saturado medido con volumenómetro de mercurio y *c*) un método basado en determinación de densidad óptica sobre placas radiográficas de las probetas de incremento radial. En este último, la densidad básica media del anillo de crecimiento se obtiene de relacionar el valor de densidad con la superficie del anillo, estimada por planimetría.

Polge (*ibid.*) observó que del método de máximo contenido de humedad se obtienen valores de  $d_{0,g}$  que concuerdan en general con los tres restantes. La medición con volumenómetro de mercurio tiende a valorar  $V_s$  en exceso, en especial cuando las probetas utilizadas son pequeñas e irregulares, puesto que tienden a retener burbujas de aire debido a la tensión superficial.

Scaramuzzi (1966, citado por Foelkel, Brasil y Barrichelo, 1971), al comparar diversos métodos para la estimación de densidad básica, concluye que máximo contenido de humedad es el más sencillo y eficiente en el uso del tiempo.

Foelkel, Brasil y Barrichelo (1971) compararon dos métodos para determinación de densidad básica, máximo contenido de humedad *versus* balanza hidrostática, sobre astillas pequeñas de ocho especies, entre ellas *P. taeda*. No constataron diferencias significativas entre los resultados de ambos métodos, por lo que concluyen que pueden ser utilizados indistintamente.

Las probetas de incremento radial sobre las cuales Wahlgren y Schumann (1972) determinaron  $G_e$  fueron extraídas con caladores cuyo diámetro había sido calibrado previamente. La longitud de las probetas fue medida inmediatamente después de su extracción a campo y luego de su saturación con agua en laboratorio. Este procedimiento permitió el cálculo directo de  $V_s$  para cada probeta.

En la comparación de los valores de densidad básica en *Picea abies* determinados mediante el método de máximo contenido de humedad y a través de la medición de  $V_s$  con volumenómetro de mercurio, Mothe (1983) no halló diferencias significativamente distintas de cero, por lo que concluye que el método de máximo contenido de humedad o de las dobles pesadas es recomendable para determinar densidad básica utilizando probetas irregulares, de pequeño volumen, constituidas por madera libre de defectos.

A los efectos de estimar densidad básica, Polge (1964) utilizó probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho. Estas probetas fueron seccionadas, separando en cada fracción dos anillos de crecimiento. La densidad media de cada fracción de probeta fue determinada por el método de máximo contenido de humedad. La densidad a la altura del pecho se estimó como el promedio de las secciones ponderado por la superficie correspondiente a los respectivos anillos de crecimiento, sobre la sección transversal normal del fuste.

En su estudio relativo a densidad básica de *Pinus radiata* de 18 años de edad, Bannister y Vine (1981) observaron que en las probetas de incremento radial podían distinguirse claramente 15 anillos de crecimiento. Las probetas fueron seccionadas en tres fragmentos, cada uno conteniendo 5 anillos de crecimiento. Se calcularon dos valores de densidad básica a la altura del pecho para *P. radiata* de 18 años de edad, *viz.* *a)* la media aritmética de tres valores de densidad básica, estimados sobre fracciones de probeta de incremento radial y *b)* la media ponderada de estos valores, por el área de anillos, estimada en base a la longitud de cada fracción.

Los componentes de la madera denominados extractivos comprenden un conjunto numeroso de compuestos químicos que no constituyen parte integral de la estructura celular, que pueden extraerse con agua, benceno y éter etílico. El interés en determinar contenido de extractivos radica en que su presencia afecta la  $G_e$  o densidad y sus relaciones con otras propiedades de la madera, *e.g.* resistencia mecánica y rendimiento en pastas celulósicas (Goggans, 1961; Taras y Saucier, 1967, citado por Dorman, 1976).

Saucier y Taras (1969) reconocen el peso anhidro de madera con extractivos, pueden resultar 6.0 a 7.5 por ciento mayor a dicho valor en madera sin extractivos; no obstante, estiman  $G_e$  mediante el método de máximo contenido de humedad aplicado a probetas con extractivos. Wahlgren y Shumann (1972) señalan que la  $G_e$  debería estimarse sobre probetas de incremento radial con extractivos, a los efectos de mantener compatibilidad con los ensayos de resistencia mecánica.

Wahlgren y Schumann (1972) señalan que las determinaciones de  $G_e$  fueron hechas sobre probetas de incremento radial con extractivos, a los efectos de mantener compatibilidad con los ensayos de resistencia mecánica, en los cuales las probetas se confeccionan con madera conteniendo extractivos.

Talbert *et al.* (1983) estimaron gravedad específica con extractivos sobre probetas de incremento radial tomadas de árboles de 7 y 20 años de edad.

### e. Variación en gravedad específica o densidad en *Pinus taeda*

La inferencia relativa a control genético de calidad de la madera se ha basado en los patrones de variación observados en poblaciones naturales. Estos patrones de variación pueden agruparse (Zobel, 1964) en *a*) variación entre orígenes geográficos, *b*) variación entre sitios, *c*) variación entre árboles y *d*) variación dentro de árboles.

Los patrones de variación geográfica observados en ensayos de orígenes no siempre se corresponden con aquellos descritos sobre poblaciones naturales. Por ejemplo, Thor (1967) en la evaluación de un ensayo de orígenes de *P. taeda* de la zona al Este del Río Mississippi, concluye que no es posible conocer *a priori* la variación en  $G_e$  de la madera; por esto, se considera necesario el ensayo de orígenes en cada localidad.

Si bien la incidencia de leño juvenil sobre las propiedades de la madera es desventajosa en la mayoría de los usos, no fue considerada un problema relevante hasta fines de la década de 1950, puesto que constituía una porción poco importante del volumen total cosechado en rodales cultivados en rotaciones prolongadas. Los sistemas silvícolas en plantación prevén mayores tasas de incremento y rotaciones más breves, aumentando en consecuencia la incidencia del leño juvenil en la aptitud de uso de la madera (Matziris y Zobel, 1973; Zobel, 1974).

A modo de referencia general para la especie, Koch (1972) proporciona valores promedio de  $G_e$ , determinados sobre probetas de incremento radial tomadas a la altura del pecho, sin retirar extractivos. Se observó una  $G_e$  promedio de 0.51 (0.38 a 0.68),  $\sigma = 0.042$ , sobre una muestra de 1742 árboles con edad media 47 años y *dap* medio 14.8" (37.6 cm).

Los histogramas de frecuencias relativas para valores de  $G_e$  determinados sobre probetas de incremento radial que elaboraron Wahlgren y Schumann (1972; 1975) indican que la distribución de estos valores es relativamente normal; los datos observados para *P. taeda* presentan una media de 0.503.

### (1) Variación regional en gravedad específica o densidad; poblaciones naturales y ensayos de orígenes

Los patrones de variación en cuanto a  $G_e$  de la madera a nivel regional dentro del área de distribución natural de *P. taeda* han sido descriptos por numerosos autores. A continuación se exponen algunos resultados, con énfasis en orígenes al Oeste del Río Mississippi. La variación geográfica en rodales naturales no indica nada acerca de la herencia *per se*, sino que revela la magnitud y naturaleza de los patrones de variación como guía en la conducción de programas de mejoramiento genético (Zobel, 1964).

Los estudios sobre variación regional en poblaciones indígenas han revelado tendencias definidas de incremento en  $G_e$  de Norte a Sur y de Oeste a Este (Mitchell y Wheeler, 1959; Zobel y McElwee, 1958, Zobel *et al.*, 1960, cit por Zobel, 1964).

Zobel y McElwee (1958, citado por Saucier y Taras, 1967) y Wheeler y Mitchell (1959, *in op. citado*) hallaron tendencias opuestas a las observadas por Jackson y Strickland (1962, *ibid.*) en cuanto a densidad de la madera de *P. taeda* en poblaciones naturales. A partir de las contradicciones en los resultados obtenidos por diversos autores es que Saucier y Taras (*ibid.*) destacan la necesidad de estudiar la densidad de la madera en ensayos de orígenes.

Los estudios relativos a la madera de *P. taeda* en rodales indígenas han revelado una tendencia definida de incremento en  $G_e$  de Norte a Sur y de Oeste a Este, en el Sureste de EUA (Mitchell y Wheeler, 1959; Zobel y McElwee, 1958 y Zobel *et al.*, 1960, citado por Zobel, 1964). Investigadores del Forest Products Laboratory (USDA Forest Service, 1965, citado por Saucier y Taras, 1969) observaron una tendencia regional de incremento en la  $G_e$  de Norte a Sur. No se constató una tendencia similar en sentido Oeste - Este para *P. taeda*.

La  $G_e$  de la madera de *P. taeda* sigue un patrón geográfico definido en las poblaciones naturales estudiadas por Zobel, Thorbjornsen y Henson (1960). Los orígenes del Norte y Noroeste del área de distribución natural presentan los menores valores de  $G_e$ ; en función de la altitud, se observa variación entre las diversas provincias fisiográficas. La  $G_e$  aumenta desde los orígenes de Montaña hasta las Planicies Costeras.

Zobel y Rhodes (1955, citado por Zobel, Thorbjornsen y Henson, 1960) no observaron tendencia geográfica definida en la  $G_e$  de la madera de orígenes de *P. taeda* del Este de Texas. Strickland (1960, citado por Zobel, 1964) observó diferencias considerables en cuanto a  $G_e$  entre orígenes de *P. taeda* de 22 años de edad, cultivados en Georgia; la correlación calculada entre  $G_e$ , longitud y latitud de los orígenes fue positiva y alta.

Los valores promedio de  $G_e$  en rodales indígenas de *P. taeda* fueron mayores en las regiones costeras del Golfo de México y del Océano Atlántico que en zonas continentales. Se observó un incremento en la  $G_e$  de Norte a Sur, particularmente en el área de distribución natural al Oeste del Río Mississippi (Mitchell y Wheeler, 1959; cf. Zobel *et al.*, 1960; Koch, 1972).

Jackson y Strickland (1962) presentaron resultados relativos a densidad de la madera de un ensayo con 10 orígenes de *P. taeda* instalado en Georgia. Se observó que la densidad de la madera está significativamente correlacionada con longitud y latitud de los orígenes, incrementando de Este a Oeste con la longitud, desde South Carolina hasta Texas y de Sur a Norte con la latitud, desde Georgia y Alabama hasta Maryland. Similar tendencia fue observada por Shelbourne (1971) en Nueva Zelandia, donde los orígenes occidentales y continentales presentaron densidades más altas respecto a orígenes orientales y costeros.

Wakeley (1960, citado por Zobel, Thorbjornsen y Henson, 1960) observó considerables diferencias en  $G_e$  de la madera entre orígenes de *P. taeda* de los Estados de Louisiana, Texas, Arkansas y Georgia, cultivados en Louisiana.

Los patrones geográficos de variación en  $G_e$  o densidad observados en poblaciones indígenas no necesariamente coinciden con las correlaciones entre ubicación y  $G_e$  en ensayos de orígenes. Saucier y Taras (1967) estudiaron  $G_e$  en los nueve orígenes de *P. taeda* del ensayo de Talladega, Alabama; tres de éstos corresponden a la zona occidental del área de distribución natural, (*viz.* Clark, Arkansas; Livingston, Louisiana y Angelina, Texas). No hallaron diferencias significativas entre estos orígenes a los 14 años de edad. Se observó una tendencia poco clara a la variación de la  $G_e$  con la latitud de origen, incrementando de Sur a Norte; la correlación entre ambas variables resultó no significativa ( $r = 0.532$ ). Según las conclusiones de estos autores, el componente genético de la variación geográfica de la  $G_e$  de *P. taeda* no parece ser importante.

En la Tabla 8 se presentan datos de  $G_e$  tomados por Saucier y Taras (1969) para orígenes de *P. taeda* de Texas y Louisiana.

Tabla 8. Tamaño de muestra, edad, *dap* medio y gravedad específica de cinco de los orígenes de *P. taeda* estudiados por Saucier y Taras (1969).

Estado/ Origen		N° árboles	Edad media (años)	dap medio (cm)	Gravedad específica		
					Rango	Media	$\sigma$
Texas	1	32	43	37.8	0.43 – 0.56	0.50	0.054
	2	40	52	42.9	0.41 – 0.60	0.52	0.037
	3	66	53	40.6	0.46 – 0.61	0.52	0.034
	4	174	52	37.1	0.44 – 0.67	0.53	0.039
Louisiana	5	211	53	45	0.40 – 0.67	0.53	0.039

Adaptado de Saucier y Taras, 1969. Appendix: pp. 12; 16.

- |                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| 1. Sabine.        | 4. Sam Houston. |
| 2. Angelina.      | 5. Kisatchie.   |
| 3. Davy Crockett. |                 |

A partir de los datos de Wahlgren y Schumann (1972; 1975) sobre variación geográfica en  $G_e$  de la madera en poblaciones indígenas de *P. taeda*, estimada a partir de probetas de incremento radial, se extrajo la información que se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9. Gravedad específica en *Pinus taeda* de Arkansas, Louisiana y Texas

Clase de Dap	Tamaño de la muestra		Dap árboles muestreados (pulgadas) media	Ge de probetas de incremento radial		
	Nº localidades	Nº árboles		Media	Error estándar	$\sigma$
<b>Arkansas (Southwest 1)</b>						
9.0-14.9	108	258	11.9	0.520	(0.004)	0.044
15.0 +	95	250	18.6	0.528	(0.003)	0.037
<b>Louisiana (Northwest 2)</b>						
9.0-14.9	26	91	11.5	0.510	(0.008)	0.058
15.0 +	18	50	19.1	0.530	(0.008)	0.044
<b>Louisiana (Southwest 3)</b>						
9.0-14.9	20	74	12.0	0.550	(0.013)	0.060
15.0 +	15	60	18.3	0.564	(0.011)	0.054
<b>Texas (Southeast 4)</b>						
9.0-14.9	180	719	11.8	0.536	(0.004)	0.040
15.0 +	137	469	18.3	0.549	(0.004)	0.044
<b>Texas (Post Oak 5)</b>						
9.0-14.9	5	13	10.8	0.503	(0.009)	0.028
15.0 +	2	2	15.4	0.467	(0.020)	-----

Adaptado de Wahlgren y Schumann, 1972/1975

- 1 Corresponde a los orígenes Ashley Co. (Crossett) y Pike Co. (Delight); *op. cit.* Tabla 8, p. 28.
- 2 Comprende los orígenes Webster Ph. (Chester Krouse), De Soto Ph. (Logansport) y Winn Ph. (Tremont Lumber Company); *op. cit.* Tabla 11, p. 31.
- 3 Comprende los orígenes Natchitoches Ph. (Natchitoches), Rapides Ph. (J.K. Johnson Tract), Beauregard Ph. (Town of Fields) y Calcasieu Ph. (Town of Edgerly); *op. cit.* Tabla 11, p. 31.
- 4 Comprende el origen Polk Co. (Maydell); *op. cit.* Tabla 16, p. 25.
- 5 Comprende el origen Bastrop Co. (Bastrop); *op. cit.* Tabla 16, p. 25.

Barrichelo *et al.* (1977) observaron diferencias notorias entre densidades básicas promedio de 20 orígenes de *P. taeda*, en el ensayo de Telêmaco Borba (Paraná, Brasil) a la edad de 9 años. La  $d_{0,g}$  media osciló entre 0.354 y 0.404 g/cm<sup>3</sup> (*cf.* Tabla 10 )

El valor medio de Louisiana Central resultó menor ( $\alpha = 0.01$ ) a los observados para Bastrop, Texas y South Arkansas. Se observó además una razonable variabilidad entre individuos, lo que sugiere la posibilidad de selección por densidad básica.

Tabla 10. Valores de densidad básica ( $d_{0,g}$ ) en el ensayo de Telêmaco Borba, Barrichelo *et al.* (1977).

Origen	Densidad básica promedio (g/cm <sup>3</sup> )
<b>3 Bastrop, Texas</b>	0.403 a
<b>5 South Arkansas</b>	0.404 a
<b>15 Central Louisiana</b>	0.357 b

*Los promedios seguidos de la misma letra no difieren significativamente según la prueba de Tukey*

mds ( $\alpha = 0.05$ ) = 0.037

mds ( $\alpha = 0.01$ ) = 0.041

En el ensayo Bicentenario, Bidegain *et al.* (1984) no observaron diferencias significativas entre densidad básica media de orígenes, determinada sobre probetas tomadas de discos en la base y a la altura del pecho. El aporte de los orígenes a la variación total de  $d_{0,g}$  fue nulo. Los dos efectos altamente significativos fueron árboles (en orígenes en bloques) e interacción árbol - disco, asociados a 29 y 54 por ciento de la variación en  $d_{0,g}$ , respectivamente. Los resultados indican la posibilidad de selección individual para esta característica.

Burmid y Grinwald (1988) evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de la madera de los 11 orígenes del Ensayo de *P. taeda* del Potrero G, a partir de trozas obtenidas del quinto raleo, aplicado al ensayo en 1985. Entre las variables estudiadas, los valores promedio de  $d_{0,g}$  que se exponen en la Tabla 11.

Los mayores valores de  $d_{0,g}$  se observaron en los orígenes Bastrop (Tx.) y Pike (Ark.), en tanto que de Beauregard (La.) y Calcasieu (La.) se obtuvieron valores significativamente menores.

Tabla 11. Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) de 11 orígenes de *Pinus taeda*, zona occidental del área de distribución natural.

	<b>Origen</b>	<b>Densidad básica g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Test de Duncan <math>\alpha=5\%</math></b>
<b>10.</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	0.4343	a
<b>1.</b>	<b>Pike, Ark.</b>	0.4146	ab
<b>3.</b>	<b>Webster, La.</b>	0.4105	abc
<b>2.</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	0.4096	abc
<b>7.</b>	<b>Rapides, La.</b>	0.4086	abc
<b>6.</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	0.3955	abc
<b>5.</b>	<b>Winn, La.</b>	0.3833	abc
<b>4.</b>	<b>De Soto, La.</b>	0.3809	abc
<b>11.</b>	<b>Polk, Tx.</b>	0.3782	bc
<b>9.</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	0.3717	bc
<b>8.</b>	<b>Beauregard, La.</b>	0.3649	c

(adaptado de Burmidad y Grinwald, 1988)

Burmidad y Grinwald (1988) observaron que los orígenes presentaban un efecto altamente significativo ( $\alpha < 0.01$ ) sobre la infradensidad. Al evaluar los componentes de varianza, hallaron que los orígenes explican un 12.33% de la variación en infradensidad, en tanto que al efecto de los árboles puede atribuirse un 73.35% de dicha variación. No se observaron efectos significativos de bloques o de la interacción bloques - orígenes.

Müllin, Banks y Prevôt (1978) no observaron diferencias significativas entre densidades básicas de orígenes de *P. taeda* en Zimbabwe. El material evaluado, con edad 11 a 12 años, contenía una alta proporción de leño juvenil. La densidad básica promedio de Bowie (Texas) fue mayor que la de Ashley (Arkansas) y ésta a su vez mayor que aquella de Rapides (Louisiana).

En la discusión de resultados de un ensayo de orígenes de *P. taeda* evaluado a la edad de 28 años, Shelbourne (1984) concluye que la densidad de la madera producida en Nueva Zelandia es relativamente baja en comparación con la observada para la especie en EUA y otros países. Los orígenes de Arkansas (entre ellos Ashley) presentaron densidades mayores, en promedio 376 kg/m<sup>3</sup> a la edad de 13 años.

## (2) Variación individual (entre árboles) en gravedad específica o densidad

Entre los resultados de un conjunto de trabajos acerca de la variabilidad en  $G_e$  a nivel de individuos, Dorman y Zobel (1973) resumen, entre otras, algunas conclusiones, *viz.* *a)* se observa una gran variación entre árboles que crecen en un mismo sitio; *b)* varias características relevantes de la madera no están altamente correlacionadas, por lo cual pueden utilizarse como criterios de selección por separado; *c)* no existe una alta correlación entre  $G_e$  y tasa de crecimiento, lo que permite la selección de individuos de rápido crecimiento y  $G_e$  relativamente alta o baja y *d)* los patrones de variación en  $G_e$ , densidad y otras propiedades de la madera permiten prever ganancias sustanciales en el mejoramiento genético de las mismas.

Zobel y Rhodes (1955, citado por Zobel, Thorbjornsen y Henson, 1960) observaron grandes diferencias entre árboles individuales respecto a gravedad específica de la madera.

Zobel, Thorbjornsen y Henson (1960) observaron diferencias altamente significativas ( $\alpha = 0.1 \%$ ) entre árboles individuales respecto a  $G_e$  en un estudio de poblaciones naturales de *P. taeda* de los Estados de Alabama, Georgia, South Carolina, North Carolina, Virginia, Tennessee y Delaware. Esta variación individual permite prever importantes avances en el mejoramiento genético de esta característica.

En *P. taeda*, la magnitud de la variación en cuanto a  $G_e$  de la madera es tal que puede oscilar, según Zobel y McElwee (1958, citado por Kellison y Weir, 1980) entre 0.40 y 0.65 para árboles de un mismo rodal.

Según Zobel (1960, citado por Goggans, 1961), la variación observada entre árboles de una misma edad creciendo sobre un sitio razonablemente uniforme es varias veces superior en magnitud a la variación registrada entre sitios.

La variación en cuanto a densidad entre árboles de un mismo rodal es muy elevada. Gran parte de esta variabilidad no puede ser explicada a través del efecto de factores ambientales. Turnbull (1947, citado por Goggans, 1961) observa que un individuo, ya sea que produzca madera de densidad relativamente alta o baja, mantiene la misma posición respecto a árboles circundantes al aumentar en edad.

### (3) Variación dentro de árboles en gravedad específica o densidad

Thor (1967) observó que la  $G_e$  de seis orígenes de *P. taeda*, evaluada a los 10 años de edad, resultó un 10 % mayor que la  $G_e$  determinada sobre los mismos orígenes a los 3 años de edad (Thor y Brown, 1962). Pese a que ambos trabajos diferían en técnicas de muestreo (probetas de incremento radial y sectores de disco, respectivamente) y en cuanto a los individuos muestreados, el autor atribuye el incremento en  $G_e$  con la edad a la presencia de leño adulto en las probetas.

Zobel (1970, citado por Kirk *et al.*, 1972) establece comparaciones entre árboles jóvenes, madera juvenil de árboles maduros y madera adulta de árboles maduros de *P. taeda*, en relación a algunas propiedades de la madera, entre ellas  $G_e$ . En la

Tabla 12 se presentan los valores observados.

Tabla 12. Gravedad específica de la madera de árboles jóvenes, leño juvenil de árboles maduros y leño adulto de árboles maduros (Adaptado de Zobel, 1970, citado por Kirk *et al.*, 1972).

Material en estudio	Gravedad específica	Tamaño de la muestra
Arboles de 11 años de edad	0.42	36
Promedio de las 4 trozas apicales <sup>1</sup> Árboles maduros	0.41	6
Fuste comercial <sup>2</sup> Árboles maduros	0.48	16

<sup>1</sup> trozas de 5' de longitud, diámetro medio de 5"

<sup>2</sup> excluyendo el leño juvenil.

Uprichard (1970) evaluó la aptitud papelera de *P. taeda* y *P. patula* con 15 y 25 anillos de crecimiento visibles, asimilado a material con alta y baja proporción de leño juvenil, respectivamente. Se observó (*ibid.*; Uprichard y Gray, 1970) una relación significativa entre densidad y características como la longitud promedio de fibra, índice de rasgado, índice de estallido largo de ruptura y resistencia del papel.

Barrichelo *et al.* (1975) determinaron densidad básica de *P. taeda* de 6, 9 y 12 años de edad, procedentes de plantaciones comerciales en la región de Tres Barras, Santa

Catarina, Brasil (Tabla 13). La densidad básica fue medida sobre muestras de astillas obtenidas de la porción comercial del fuste, mediante el método del máximo contenido de humedad, adaptado por Foelkel *et al.* (1971, *in op. citado*). Se observó un incremento en la densidad básica de la madera con el aumento en edad.

Tabla 13. Densidad básica media de *P. taeda* cultivado en Tres Barras, Santa Catarina, Brasil (adaptado de Barrichelo *et al.*, 1975)

Edad de los árboles	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )
6	0.328
9	0.328
12	0.335

Saucier y Taras (1967) hallaron un error experimental altamente significativo al analizar la varianza de la densidad observada en un ensayo de orígenes de *P. taeda*; esto indicaría una gran variabilidad entre los individuos de una misma parcela.

La variación observada en valores de  $G_e$  entre individuos de un mismo origen es mayor a la variabilidad constatada entre orígenes (Saucier y Taras, 1969).

#### (4) Ancho de anillos de crecimiento o tasa de incremento radial y $G_e$

Una noción comúnmente aceptada, aunque no siempre válida, ha vinculado tasa de crecimiento radial y  $G_e$  o densidad de la madera mediante correlación negativa, *i.e.* a mayor ancho de anillo corresponde menor  $G_e$  o densidad. Bendtsen (1978) cita numerosos autores que no hallaron correlación significativa entre ambos caracteres.

Spurr y Hsuing (1954) hallaron que la tasa de crecimiento en diámetro tiene un efecto mucho menos importante sobre la  $G_e$  que la edad de la madera analizada o la distribución de las muestras extraídas en el fuste. En *Pinus* del Sureste de EUA, Schafer (1949, *ibid.*) observó que la variación en ancho total de anillos de crecimiento explicaba sólo 31 por ciento de la variación en  $G_e$ .

Yandle (1956, citado por Goggans, 1961) concluyó que, en *P. taeda*, sólo una parte del aumento en  $G_e$  con la edad puede atribuirse a la variación en ancho de anillos. Zobel *et al.* (1960, *ibid.*) hallaron que la tasa de incremento radial explicaba menos de 2 por ciento de la variación observada en  $G_e$  individual de la misma especie.

En su estudio acerca de la variación en  $G_e$  de *Pinus* a escala regional, Saucier y Taras (1969) observaron un bajo coeficiente de correlación  $G_e$ -dap ( $r = 0.20$ ), no significativo en poblaciones de *P. taeda*. Van der Sijde (1976) analizó información sobre densidad de la madera y tasa de crecimiento de clones de *P. taeda* y *P. elliottii* cultivados en el Transvaal Oriental, Sudáfrica. Al calcular coeficiente de correlación de rangos de Spearman, no obtuvo en ningún caso valores significativos.

La importancia de la baja correlación entre  $G_e$  o densidad de la madera y ancho de anillos de crecimiento radica en que se reconoce la posibilidad, en mejoramiento genético, de seleccionar individuos con tasa de crecimiento alta y madera de densidad alta o baja.

### (5) Variación dentro de árboles individuales en $G_e$ y otras propiedades de la madera

A continuación se exponen resultados de investigación relativa a la variación en densidad y otras propiedades de la madera vinculadas, con énfasis en dos aspectos, *a*) la variación en  $G_e$  en sentido radial, desde la médula hasta el *cambium* y *b*) las características de los leños juvenil y adulto.

La tendencia general observada dentro del fuste (Wellwood, 1952, 1960; Zobel y McElwee, 1958; Yandle, 1956; Paul, 1957 a, citados por Goggans, 1961) señala un aumento en  $G_e$  o densidad desde la médula hasta el *cambium* y desde la base hasta el ápice. Smith (1956, *ibid.*) observó que en pinos del Sureste de EUA, para una sección transversal dada del fuste, la  $G_e$  del leño temprano es constante o decrece levemente desde la médula hasta el *cambium*, en tanto que aumenta en el leño tardío.

En *P. taeda*, Zobel y McElwee (1958, citado por Polge, 1964), hallaron que el leño juvenil se extiende hasta aproximadamente el séptimo anillo a partir de la médula, sea cual fuere la altura de muestreo. Zobel *et al.* (1959, citado por Polge, *ibid.*) hallaron que el leño juvenil puede comprender los once anillos de crecimiento centrales.

El leño juvenil se compone de una serie de anillos de crecimiento, situados en la proximidad de la médula, caracterizados por su ancho relativamente grande, su textura gruesa, sus traqueidas cortas, sus elevados valores de contracción en sentido axial y por su menor densidad en comparación al leño adulto (Polge, 1964). La baja densidad y la textura del leño juvenil resultan en propiedades mecánicas y aptitud papelera inferiores. La resistencia al rasgado de las hojas confeccionadas con pastas de leño juvenil es relativamente baja. Koelher (citado por Polge, *ibid.*) señala que en *P. taeda* la contracción axial en el secado es de 0.12 por ciento para el leño adulto y puede ascender a valores de 2 por ciento para el leño juvenil. Las piezas constituidas por ambos tipos de

leño normalmente presentan defectos (torsión, alabeo, abarquillado, *etc.*) asociados a las diferencias en contracción de los leños juvenil y adulto.

Las diferencias observadas entre leño juvenil y adulto son también evidentes al compara leños juveniles de alta y baja densidad, debido a la variabilidad en espesor de paredes celulares y en flexibilidad de las traqueidas (Kirk *et al.*, 1972).

Cole, Zobel y Rhodes (1965) estimaron la  $G_e$  con extractivos de *P. taeda* creciendo en un rodal indígena mixto, en conjunto con *P. elliottii* var. *elliottii* y *P. echinata*. Los valores obtenidos fueron 0.430 para el leño juvenil; 0.553 para el leño adulto y 0.541 para el promedio ponderado de ambos tipos de leño. En comparación con el leño adulto, el leño juvenil presenta menor  $G_e$ , traqueidas mas cortas y paredes celulares mas delgadas. La transición entre leños juvenil y maduro es gradual, pero normalmente ocurre en *P. taeda* entre los 7 y los 11 años de edad (Jett y Talbert, 1982). Sin embargo, existe referencia de producción de leño juvenil a edades mayores, *e.g.* en Nueva Zelandia Shelbourne (1971) observó que orígenes de *P. taeda* aún producían leño juvenil a la edad de 13 años.

La importancia de estimar por separado los valores de  $G_e$  y las heredabilidades respectivas para los leños juvenil y adulto presenta dos aspectos. Por un lado, el leño juvenil comprende una proporción sustancial del volumen cosechado de rodales cultivados en rotaciones breves. Por otra parte, en los programas de mejoramiento genético de generación avanzada en *P. taeda*, la mayoría de las selecciones se realizan a una edad temprana (10 años o menor) antes que los árboles inicien la formación de leño adulto. No obstante, el leño maduro significará una proporción muy significativa de la madera cosechada de rodales cultivados en rotaciones de 20 años o mayores (Talbert *et al.*, 1983).

La tasa de incremento de la  $G_e$  con la edad es elevada en individuos jóvenes, pero se vuelve relativamente constante *ca.* a los 15 años de edad en especies del género *Pinus* del Sureste de EUA.

Polge (1964) estudió la densidad básica a la altura del pecho de coníferas, a partir de fracciones de probeta de incremento radial conteniendo dos anillos de crecimiento. Se constató que, a partir de la médula, la densidad decrece y luego aumenta de forma bastante progresiva; esta tendencia señala el límite entre el leño juvenil y el leño adulto.

### E. Peso de materia seca

Varios autores han empleado densidad de la madera o  $G_e$  para estimar peso seco de material leñoso, ya sea por árbol o bien por unidad de superficie. Saucier y Taras (1967) establecen comparaciones entre orígenes de *P. taeda* en cuanto a peso seco individual, estimado a partir de la densidad y del volumen de cada árbol.

Foelkel *et al.* (1971) destacan la importancia de estimar peso seco a partir de volumen en la industria de la pulpa y el papel, a los efectos de controlar el proceso de fabricación, los rendimientos, la uniformidad y normalización de productos.

Moura, Dvořák y Nogueira (1998) estimaron materia seca individual de orígenes de *Pinus tecunumanii* como el producto de densidad básica y volumen sin corteza.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **A. MATERIALES**

##### **1. Descripción General del Ensayo**

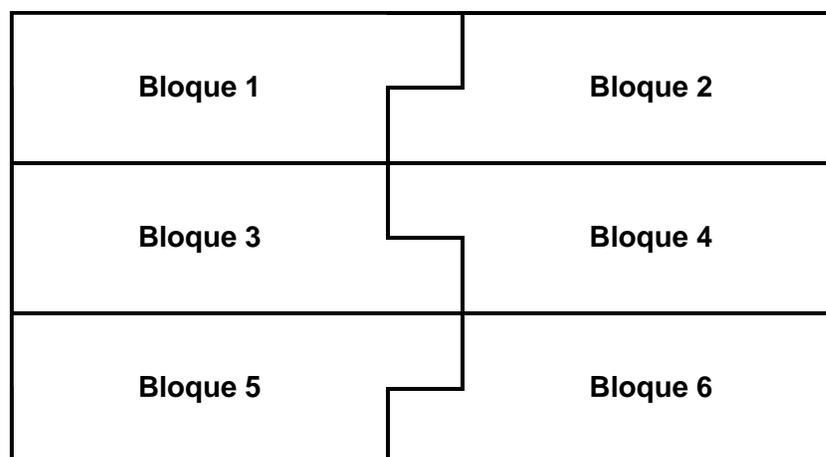
La información dendrométrica y el material leñoso en estudio provienen del ensayo de orígenes del potrero "G", instalado en 1966 en la Estación Experimental de Bañado Medina (EEBM), de la Facultad de Agronomía, en el Departamento de Cerro Largo.

La EEBM se sitúa a 32° 25' de latitud Sur y 54° 15' de longitud Oeste. Si se compara ubicación geográfica con una localidad dentro del área de distribución natural de *Pinus taeda*, la latitud es similar a la de Shreveport, Louisiana, como punto de referencia (Králl, 1969). Bañado Medina se encuentra a una altitud de 94 m sobre el nivel del mar.

En la zona se registran valores de precipitación media anual de 1107 mm.

La temperatura media anual es de 17.8 °C, en tanto que la temperatura media máxima es 23.8 °C y la temperatura media mínima es 11.4 °C. La longitud media de la estación de crecimiento es de 274 días. Este período es mayor a los observados en el área de distribución natural de *P. taeda* (Králl, 1969).

Figura 2. Diseño experimental del Ensayo del Potrero G, EE Bañado Medina.



El ensayo fue establecido entre el 14 y el 23 de junio de 1966, en seis bloques o repeticiones al azar (ver Figura 2). Cada bloque se halla compuesto por once tratamientos (orígenes). En cada parcela se plantaron 25 individuos. El espaciamiento inicial del ensayo fue de 2.5 x 2.5 m, correspondiente a una densidad de 1600 árboles/ha.

Figura 3. Distribución de tratamientos (orígenes) en los bloques del ensayo.



2	6	3	9	11	7	1	10	6	4	2
5	10	1	8	4	11	9	3	8	5	7
9	1	5	7	2	5	6	4	7	3	1
11	3	6	8	4	10	8	2	9	10	11
8	4	5	7	1	2	6	7	3	1	10
6	9	3	11	10	5	11	9	8	2	4

El ensayo se compone de 1650 árboles y mide 137.5 x 75 m, es decir que ocupa una superficie de 10312.5 m<sup>2</sup>. Si se consideran las dos filas de borde, integradas por 356 árboles, la plantación mide 142.5 x 80 m, ocupa un área total de 11400 m<sup>2</sup> y se halla compuesta por 2006 individuos. El material utilizado en la instalación fueron plántulas 1-0 a raíz desnuda.

Las plantas fueron producidas a partir de semilla sembrada los días 27 de julio y 12 y 13 de agosto de 1965.

## 2. Orígenes

A continuación se expone información sobre las muestras de semilla de cada origen. La denominación adoptada para los orígenes corresponde al condado (County, Co.) o

parroquia (Parish, Ph.) donde fue recolectada la semilla (United States Department of Agriculture, 1965)

- 1) PIKE, Arkansas. Localidad: Delight. Semilla cosechada en 1963. El rodal puede ser localizado nuevamente para futuras recolecciones de semilla. La muestra consiste en una mezcla de semilla de más de cinco árboles pertenecientes a un rodal natural. La edad media de los individuos dominantes de la especie (*P. taeda*) en este rodal era 50 años, en tanto que su altura promedio alcanzaba los 75' (22.9 m). *Informe H. C. Grigsby, Arkansas 1/6/1965.*
- 2) ASHLEY, Arkansas. Localidad: Crosett Timber Management Laboratory, South Forest Experiment Station. Semilla cosechada en 1964. El rodal puede ser ubicado para futuras recolecciones de semilla. Se halla situado en una planicie, sobre suelo franco limoso. Se trata de un rodal natural. La muestra de semilla provino de más de cinco árboles madre. En el rodal, los individuos dominantes de la especie presentaban una edad promedio de 60 años y una altura media de 95' (29 m). La edad de los árboles madre oscilaba entre 55 y 65 años y la altura de estos árboles variaba entre 85 y 100' (25.9 y 30.5 m, respectivamente). *Informe H. C. Grigsby, Arkansas 1/7/1965.*
- 3) WEBSTER, Louisiana. Localidad: Propiedad del Sr. Chester Krouse. El rodal puede ser ubicado para futuras recolecciones. Se encuentra situado sobre un suelo de textura arenoso franca fina, en una ladera alta, con pendiente de 30°, de exposición Sur. La muestra de semilla fue tomada en 1964 de 3 árboles. Se trata de un rodal natural cuyas principales especies son *Pinus taeda* y *Pinus echinata*. Los individuos dominantes de la especie *P. taeda* presentaban en promedio una edad de 60 años y su altura media era de 90' (27.4 m). La edad de los árboles madre oscilaba entre 50 y 70 años y su altura variaba entre 85 y 75' (25.9 y 29 m, respectivamente). El fuste de estos individuos era recto y limpio, su copa se describió como "buena" y la conformación de ramas como "promedio". La tasa de incremento radial de los árboles madre era de 7 anillos de crecimiento por pulgada. Los árboles se encontraban libres de enfermedades. *Informe McDaniel, C. M. Louisiana 22/10/1964.*
- 4) DE SOTO, Louisiana. Localidad: Logansport. Semilla cosechada en 1964. El rodal natural del cual proviene no puede ser localizado nuevamente. Se encontraba sobre suelo arenoso. La semilla fue tomada de tres árboles. La clase dominante de la especie *P. taeda* tenía una edad media de 47 años y una altura promedio de 80' (24.4 m). La edad de los árboles madre variaba entre 36 y 47 años, en tanto que su altura alcanzaba valores de entre 60 y 80' (18.3 y 24.4 m, respectivamente). El fuste de estos individuos era recto y su copa espesa. La tasa de crecimiento radial era de 4 " en 10 años. Las especies más abundantes en el

rodal eran *P. taeda*, *Quercus falcata* y *Liquidambar styraciflua*. Informe Crain, W. Q. Louisiana s.f.

- 5) WINN, Louisiana. Localidad: Tremont Lumber Company. Semilla cosechada en 1964 de un rodal natural. Este rodal no puede ser ubicado nuevamente para futuras recolecciones de semilla. Se situaba en una ladera de exposición Sudeste, con una pendiente de 3%, sobre suelo de textura arenoso - franca muy fina. La muestra consiste en una mezcla de semillas tomadas de 3 árboles madre. Los individuos dominantes de la especie presentaban una edad promedio de 43 años; su altura media era 85' (25.9 m). La edad de los árboles madre oscilaba entre 37 y 60 años y su altura variaba entre 65 y 105' (19.8 y 32 m, respectivamente). Informe Frazier, N. N. Louisiana 19/10/1964.
- 6) NATCHITOCHEs, Louisiana. Localidad: Natchitoches. La semilla fue cosechada en 1964 de un rodal natural sobre suelo de textura arenoso franca. El rodal no puede ser ubicado nuevamente para futuras recolecciones de semilla. Los individuos dominantes de la especie *P. taeda* presentaban una edad media de 60 años y un promedio de altura de 85' (25.9 m). Las edades de los 3 árboles madre variaban entre 50 y 60 años; las alturas de estos ejemplares alcanzaban valores de entre 80 y 85' (24.4 y 25.9 m, respectivamente). Estos individuos presentaban un fuste recto y libre de ramas en sus 40' (12.2 m) basales. Las copas eran densas, bien formadas y las ramas eran muy numerosas. La tasa de crecimiento radial se estimó en aproximadamente 3" en 10 años. Las especies principales del rodal, en orden decreciente de abundancia, eran *P. taeda*, *Quercus alba* y *Quercus falcata*. Informe Ruffin, W. C. Louisiana s.f.
- 7) RAPIDES, Louisiana. Localidad: J. K. Johnson Tract. Palustris Experiment Forest. La semilla fue cosechada en 1964 de un rodal natural que luego fue talado. Este rodal se hallaba en terreno plano, sobre suelo de textura arenoso - franca fina. La muestra de semilla fue extraída de 3 árboles madre. Los individuos dominantes de la especie *P. taeda* tenían un promedio de edades de 40 años y una altura media de 70' (21.3 m). La edad de los árboles madre variaba entre 38 y 42 años y su altura entre 60 y 75' (18.3 y 22.9 m, respectivamente). El fuste de estos individuos era recto, su copa amplia y el ángulo entre el eje del fuste principal y las ramas era próximo a 90°. La tasa de incremento radial era de 6 anillos por pulgada. Los árboles se encontraban libres de enfermedades. Las especies predominantes del rodal eran *P. taeda*, *P. palustris* y *P. echinata*. Informe McLemore, B. F. Louisiana 25/11/1964.
- 8) BEAUREGARD, Louisiana. Localidad: Town of Fields. La semilla fue cosechada en un rodal natural en 1964. Este rodal puede ser localizado para futuras recolecciones de semilla. Se halla en una ladera de exposición Este, sobre suelo arenoso, con una pendiente menor a 5°. La semilla fue tomada de 3 árboles. Los

individuos dominantes de la especie *P. taeda* tenían un promedio de edad de 46 años y una altura media de 87' (26.5 m). La edad de los árboles madre oscilaba entre 45 y 50 años y su altura media variaba entre 80 y 90' (24.4 y 27.4 m, respectivamente). El fuste de estos individuos era recto y limpio, sus copas eran de mediana densidad y las ramas se disponían en ángulo recto con respecto al eje principal del fuste. Durante los últimos 20 años, la tasa de incremento radial había sido de 10 anillos por pulgada. Los árboles se hallaban libres de enfermedades. La especie predominante en el rodal era *P. taeda*. *Informe Byrd, R. R. Louisiana 19/10/1964*.

- 9) CALCASIEU, Louisiana. Localidad: Town of Edgerly. La semilla fue recogida en un rodal natural en 1964. Este rodal puede ser localizado para futuras cosechas. Se encuentra en una ladera con exposición Sudeste, sobre suelo arenoso, en una pendiente menor a 5°. La semilla recibida es mezcla del material recogido de 3 árboles. La clase dominante de la especie *P. taeda* presentaba una edad media de 47 años y un promedio de altura de 85' (25.9 m). La edad de los árboles madre variaba entre 45 y 50 años y su altura entre 80 y 90' (24.4 y 27.4 m, respectivamente). Estos individuos tenían un fuste limpio y recto, una copa de densidad media y sus ramas estaban dispuestas en ángulo recto con respecto al fuste principal. El crecimiento radial observado en estos ejemplares fue de 10 anillos por pulgada para los últimos 20 años. Los árboles se hallaban libres de enfermedades. La especie predominante en el rodal era *P. taeda*. *Informe Byrd, R. R. Louisiana 19/10/1964*.
- 10) BASTROP, Texas. Localidad: Bastrop. La semilla fue cosechada en 1962 de un rodal natural. Este rodal se encontraba sobre un suelo arenoso profundo, en un sitio con topografía suavemente ondulada. Los árboles madre presentaban una edad variable entre 40 y 50 años, una altura de aproximadamente 60' (18.3 m) y un *dap* de entre 10 y 14" (25.4 y 35.6 cm, respectivamente). La muestra recibida consiste en un conjunto de sub-muestras separadas de semillas, cosechadas de 5 ejemplares identificados como BA 12-1, BA 12-6, BA 12-7, BA 12-9 y BA 12-10. Se había realizado para estos individuos una prueba de progenie. Este ensayo tuvo como objetivo evaluar la capacidad de supervivencia de las progenies en condiciones de sequía prolongada. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 14. Características de las progenies de los árboles progenitores del origen Bastrop

Número de árbol	Porcentaje de supervivencia	
	Luego de 6 semanas de sequía	Luego de 3 meses de sequía
<b>BA 12-1</b>	55	10
<b>BA 12-6</b>	68	16
<b>BA 12-7</b>	65	16
<b>BA 12-9</b>	68	21
<b>BA 12-10</b>	59	12

(Fuente: Texas Forest Service, com. pers.)

*Informe van Buijtenen, J. P. Texas s.f.*

- 11) POLK, Texas. Localidad: Maydell. Este origen se ubica al Sur de US Highway 190 y al Este de Trinity River. La información disponible acerca de este origen es escasa; se presume de introducción directa al país, por lo cual se carece de documentación para el lote de semilla.

### 3. El sitio

En la Tabla 15 se da una lista de valores promedio para variables atmosféricas y características de crecimiento locales estimados para la EE Bañado Medina. Si se compara esta información con los datos que aparecen en la Tabla 16, se observa que las condiciones del ensayo son menos extremas en cuanto a temperaturas medias del mes más cálido y del mes más frío, la precipitación total anual es en general más baja, exceptuando al origen Bastrop y la duración del período de crecimiento es intermedia si se compara con la variación entre las localidades de donde proceden los orígenes.

Tabla 15. Resumen de los parámetros medios locales de temperatura, ocurrencia de heladas y lluvia.

Temperatura media anual	17.8 ° C
Temperatura promedio enero	24.0 ° C
Temperatura promedio julio	12.0 ° C
Fecha promedio de la primer helada	1° de junio
Fecha promedio de la última helada	1° de septiembre
Período de crecimiento	273 días
Lluvia promedio anual	1107 mm/m <sup>2</sup>

(Adaptado de Burmidad y Grinwald, 1988)

Tabla 16. Datos climáticos y período de crecimiento correspondientes a los once orígenes de la zona occidental del área de distribución natural de *Pinus taeda*.

Origen	Latitud Norte	Longitud Oeste	Temperatura media (°C)		Lluvia total (mm)		Período de crecimiento (días)
			julio	Enero	mínimo	Anual	
1. Pike, Ark.	34° 00'	93° 30'	27.0	6.5	-26.0	1220	220
2. Ashley, Ark.	33° 20'	91° 56'	27.5	7.5	-25.5	1300	227
3. Webster, La.	32° 40'	93° 15'	28.0	8.5	-26.5	1250	230
4. De Soto, La.	31° 56'	93° 51'	27.5	8.5	-21.0	1160	241
5. Winn, La.	31° 54'	92° 41'	28.5	10.0	-16.0	1310	236
6. Natchitoches, La.	31° 40'	93° 50'	28.0	9.0	-16.0	1270	232
7. Rapides, La.	31° 11'	92° 41'	28.0	10.5	-16.0	1400	255
8. Beauregard, La.	30° 30'	93° 40'	28.0	11.5	-13.0	1380	258
9. Calcasieu, La.	30° 14'	93° 30'	28.0	11.5	-16.0	1440	265
10. Bastrop, Tx.	30° 00'	97° 20'	29.0	11.0	-18.0	930	263
11. Polk, Tx.	30° 30'	94° 40'	29.0	11.5	-15.0	1220	255

(Adaptado de Burmidad y Grinwald, 1988)

Los suelos sobre los que se instaló el ensayo pertenecen a la Zona 6 de CIDE. Corresponden a Brunosoles Subéutricos, Lúvicos de textura Arenoso - franca.

*Unidad 1. Se da en lomas y laderas altas convexas.*

0 - 15 cm	Negro a pardo muy oscuro (10 YR 2/1,5), franco a franco limoso.
15 - 25 cm	Negro (10 YR 2/1) en húmedo, gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco, franco limoso pesado a franco arcillo limoso liviano.
25 - 35 cm	Negro (10 YR 2/1) y gris muy oscuro (10 YR 3/1) mezclados, franco arcillo limoso pesado, ligero moteado, algunas películas de arcilla.
35 - 50 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1) y pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) mezclados, franco arcillo limoso pesado a arcillo limoso liviano.
50 - 65 cm	Pardo a pardo oscuro (7,5 YR 4/2), franco arcilloso.
65 + cm	Similar al horizonte anterior, pasando el color a rojo amarillento (5 YR 4/6).

Variaciones: el material original (siltito) alterado puede aparecer a 45 cm de profundidad.

*Unidad 2. Se da generalmente en laderas convexas y en lomas altas*

0 - 15 cm	Gris muy oscuro a pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/1,5); franco; estructura granular mediana a fina, moderada, abundante óxido de hierro a lo largo de canales de raíces.
15 - 30 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1); franco pesado; estructura granular media a fina moderada.
30 - 45 cm	Gris oscuro (10 YR 4/1) con moteado pardo amarillento (10 YR 5/7); arcillo limoso, estructura de bloques pequeños moderados.
45 - 60 cm	Pardo grisáceo a pardo (10 YR 5/2,5) con moteado pardo amarillento (10 YR 5/y); arcillo limoso; estructura de bloques pequeños moderados.
60 + cm	Pardo grisáceo (2,5 YR 5/2) con moteado pardo fuerte (7,5 YR 5/7); franco masivo

Variaciones: la parte superior del horizonte de acumulación de arcilla puede presentar un moteado débil. En los horizontes inferiores puede haber colores más amarillentos y moteados rojos y amarillos prominentes.

*Unidad 14. Se da en lomas y laderas altas convexas*

0 - 20 cm	Gris muy oscuro (10 YR 3/1); franco pesado.
20 - 35 cm	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2); franco arcilloso pesado.
35 + cm	Material original descompuesto, siltito rojo.

Variaciones: el horizonte B puede llegar hasta 45 cm de profundidad y ocasionalmente puede ser de textura arcillo limosa.

#### 4. Tratamientos silvícolas

En 1979, el Departamento Forestal un resumen de los ensayos existentes en la Estación Experimental Bañado Medina en una publicación relativa a las Segundas Jornadas Forestales. En el Cuadro 2 se expone el tratamiento silvícola aplicado al Ensayo del Potrero G.

Cuadro 2. Resumen del calendario silvícola aplicado al Ensayo del Potrero G.

Año	Edad	Operación/evento/tratamiento silvícola
1966	0	Plantación de plántulas a raíz desnuda 1-0; espaciamiento 2.5 x 2.5 m, densidad 1600 árboles/ha
1967-1970	1-4	Pérdidas iniciales 1600/1540 (60 árboles/ha)
1971	5	Limpieza 1540/1420 (120 árboles/ha)
1972	6	Primer raleo 1420/1100 (320 árboles/ha) 22.5 %; poda baja (0-2.5 m)
1974	8	Segundo raleo 1110/650 (450 árboles/ha) 40.9 %
1976	10	Tercer raleo 650/450 (200 árboles/ha) 30.8 %
1978	12	Cuarto raleo 450/320 (130 árboles/ha) 28.9 %
1985	19	Quinto raleo 320/192 (128 árboles/ha) 40.0 %

*Adaptado de Departamento Forestal (1979)*

En la Tabla 17 se resume información relativa a cada raleo aplicado al ensayo. Los valores de diámetro a la altura del pecho, altura total y peso individual promedio corresponden a los árboles retirados durante el raleo. Los individuos evaluados, por lo tanto, corresponden a 8.3 por ciento del número inicial, es decir que en las cortas intermedias se eliminaron 91.7 por ciento de los árboles fenotípicamente menos deseables.

En la Tabla 18 se muestra información acerca del rendimiento de los orígenes en tres de los cinco raleos. No se dispone de estos datos para los raleos realizados a las edades de 6 y 12 años. Los valores de los raleos R2 y R3 fueron obtenidos pesando las trozas cosechadas en cada operación; los volúmenes por hectárea fueron estimados a partir de las toneladas por hectárea calculadas. En el quinto raleo, en cambio, se calculó volumen sin corteza de cada individuo a retirar y a partir de estos valores se estimó el equivalente en toneladas por hectárea cosechadas.

Tabla 17. Resumen de los raleos aplicados al ensayo del Potrero G

<b>Año</b>	<b>Edad</b>	<b>Raleo</b>	<b>dap medio (m)</b>	<b>Altura total (m)</b>	<b>peso del árbol (kg)</b>	<b>Raleo árboles/ha</b>	<b>Ton/ha</b>
1972	6	R1	0.100	6.1	16	320	5.1
1974	8	R2	0.167	8.1	54	450	24.3
1976	10	R3	0.195	10.2	115	200	23.0
1978	12	R4	0.230	12.0	205	130	26.7
1985	19	R5	0.316	16.1	454	128	58.1
<b>TOTAL</b>						1228	1365.2

*Adaptado de Departamento Forestal (1979)*

Tabla 18. Rendimientos de los orígenes del Ensayo del Potrero G en el segundo, tercero y quinto raleos

<b>Origen</b>	<b>Segundo raleo</b>		<b>Tercer raleo</b>		<b>Quinto raleo</b>	
	<b>Ton/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>Ton/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>Ton/ha</b>	<b>m<sup>3</sup>/ha</b>
<b><i>Pike, Ark.</i></b>	19.2	22,67	17.16	55,26	63,01	53,4
<b><i>Ahsley, Ark.</i></b>	17.1	20,19	20.3	49,23	49,39	41,8
<b><i>Webster, La.</i></b>	21.0	24,79	21.48	60,45	63,17	53,5
<b><i>De Soto, La.</i></b>	27.1	32,00	26.44	78,04	68,51	58,0
<b><i>Winn, La.</i></b>	22.4	26,45	23.02	64,46	69,82	59,1
<b><i>Natchitoches, La.</i></b>	24.7	29,16	21.72	71,08	66,01	55,9
<b><i>Rapides, La.</i></b>	28.3	33,41	24.62	81,47	82,52	69,9
<b><i>Beauregard, La.</i></b>	26.3	31,05	26.00	75,68	78,79	66,7
<b><i>Calcasieu, La.</i></b>	28.1	33,18	24.56	80,88	71,22	60,3
<b><i>Bastrop, Tx.</i></b>	25.8	30,46	22.86	74,26	67,23	56,9
<b><i>Polk, Tx.</i></b>	25.3	29,87	24.74	72,85	75,25	63,7

*Adaptado de Departamento Forestal (1979)*

*No se dispone de información detallada sobre el cuarto raleo*

## B. METODOS

### 1. Métodos de campo

A continuación se describen los caracteres de medición directa.

*Circunferencia a la altura del pecho* Se midió la circunferencia del fuste a 1.30 m de altura, con cinta métrica; la apreciación de esta cinta es de 0.2 cm.

*Espesor de corteza* Se midió en milímetros, con un medidor de corteza sobre puntos Norte y Sur, a la altura del pecho.

*Altura total* Se calculó en metros, a partir de dos lecturas con Relascopio de Bitterlich, desde una distancia de 10 m de la base de cada árbol. La primera lectura se realizó en la base del árbol, la segunda en el ápice.

*Altura comercial* Se calculó en metros, a partir de dos lecturas con Relascopio de Bitterlich; la primera fue la lectura en la base del árbol, la segunda a la altura en la cual el fuste presentara un diámetro de 8 cm.

*Altura Pressler* Se calculó en metros, a partir de dos lecturas con Relascopio de Bitterlich; la primera fue la lectura en la base del árbol, la segunda a la altura en la cual el fuste presentara un diámetro equivalente a la mitad del diámetro normal.

Los árboles del ensayo, las muestras de madera tomadas de ellos y los valores correspondientes a unos y a otras fueron identificados a campo y en laboratorio mediante tres valores, el número de bloque, el número de origen y el número de árbol dentro de la parcela, variando éstos de 1 a 6, de 1 a 11 y de 1 a 5, respectivamente. A cada árbol le fue asignado su número en la parcela comenzando por el extremo Noroeste de ésta y avanzando de Oeste a Este y de Norte a Sur (Figura 4)

Figura 4. Esquema de una parcela antes (*izq.*) y después (*der.*) del raleo

		columnas				
		1	2	3	4	5
filas	1		1			
	2				2	
	3		3			
	4				4	
	5	5				

		columnas				
		1	2	3	4	5
filas	1		1			
	2				2	
	3					
	4				3	
	5					

Los árboles, numerados **1** a **5** aparecen en (filas, columnas)

**1** (1; 2), **2** (2; 4), **3** (3; 2), **4** (4; 4) y **5** (5; 1) antes del raleo.

Después del raleo quedan en pie los individuos **1** a **3**, en (filas, columnas) **1** (1; 2), **2** (2; 4) y **3** (4; 4).

En las planillas de campo se anotó además la posición de cada árbol dentro de la parcela, de modo de localizarlos con rapidez y seguridad en las sucesivas mediciones. Esta ubicación está dada por la intersección de filas (en sentido Este - Oeste) y columnas (en sentido Norte - Sur), ambas numeradas de 1 a 5.

En agosto de 1984 se procedió como se describe a continuación en todos los árboles pertenecientes al ensayo. El modelo de planilla de campo utilizado aparece en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Modelo de planilla de campo utilizada para el registro de variables dendrométricas

Bloque	Origen	Arbol	cap	Espesor de corteza		Lecturas de Relascopio de Bitterlich			
				Norte	Sur	Base	H total	H comercial	H Pressler

Se midió circunferencia a la altura del pecho (*cap*). Luego se procedió a la medición de espesor de corteza, que se realizó en dos puntos, Norte y Sur, a la altura del pecho, mediante el empleo de un medidor de corteza con una apreciación de 0.1 cm.

Se extrajo a continuación una probeta de incremento radial utilizando un calador de Pressler o medidor de incrementos de 0.5 cm de calibre y 14" (*ca.* 36 cm) de longitud. Dicha extracción se llevó a cabo a 1.30 m del suelo, en dirección Sur - Norte, procurando atravesar la médula del fuste. Se trató de evitar las anomalías de la madera provocadas por nudos adyacentes y de extraer la probeta perpendicular al eje del árbol, aún cuando éste estuviera inclinado. Si la probeta retirada en un primer intento se había apartado del centro del fuste y de esta manera comprendía una serie incompleta de anillos de crecimiento, se volvía a intentar la extracción repitiendo el procedimiento no mas de dos veces. Aún así, en algunos casos no fue posible extraer una probeta óptima.

Cada probeta fue colocada en un envase de polietileno confeccionado especialmente para su almacenamiento y transporte, adjuntando una tarjeta, con el fin de identificar la muestra con el árbol correspondiente y los extremos Norte y Sur.

Se tomaron luego los datos necesarios para calcular Altura total del árbol ( $H_t$ , en m), Altura comercial del árbol ( $H_c$ , definida como la máxima altura a la cual el fuste presenta un diámetro de 5 cm, en m) y la altura P del punto de referencia (R). El punto de referencia R se define como aquél donde el diámetro del fuste es equivalente a la mitad del *dap* (diámetro a la altura del pecho).

Estos valores fueron medidos con Relascopio de Bitterlich, utilizando la banda de alturas de 20 m del aparato, pero desde 10 m de distancia (medida con cinta métrica) de la base del árbol. Se adoptó este procedimiento debido a que, si bien se lograba distinguir, en la mayoría de los árboles a 20 m de distancia la base y el ápice, las ramas

del árbol en cuestión y de individuos vecinos no permitían ver el punto R sobre el fuste y el tallo a la altura comercial. En consecuencia, las alturas verdaderas fueron calculadas sumando las lecturas correspondientes y dividiendo por 2, con lo cual la precisión pasó de 0.5 m (apreciación del aparato) a 0.25 m.

Además del factor de forma individual estimado mediante el método de Pressler-Bitterlich, se registraron los datos necesarios para calcular un factor de forma promedio de cada origen del ensayo. Para ello se calculó el promedio aritmético de *cap* por origen. Se procedió a continuación a identificar los árboles cuyos valores reales de *cap* se aproximarán a la media de su origen, cuyo fuste fuera relativamente vertical, recto y no presentara bifurcaciones. En la se da una nómina de los individuos seleccionados con este fin y sus características. Sobre estos once árboles se midió diámetro del fuste a intervalos de 0.5 m, desde la base del árbol hasta el ápice. La precisión de estas mediciones fue 2.5 cm. Una banda angosta a 10 m de distancia de la base del árbol corresponde a 5 cm de diámetro del fuste; al estimar 1/2 de banda angosta, se estaría midiendo 2.5 cm.

Tabla 19. Individuos seleccionados para cálculo de factor de forma promedio de cada origen.

Origen	Bloque	Arbol	dap (cm)	Altura (m)	
				<i>total</i>	<i>comercial</i>
<b>1. Pike, Ark.</b>	V	4	0,304	15,5	11,8
<b>2. Ashley, Ark.</b>	III	2	0,309	17,8	13,3
<b>3. Webster, La.</b>	V	3	0,328	16,8	12,0
<b>4. De Soto, La.</b>	V	2	0,359	17,0	13,5
<b>5. Winn, La.</b>	V	2	0,336	17,3	12,0
<b>6. Natchitoches, La.</b>	VI	3	0,327	15,5	12,3
<b>7. Rapides, La.</b>	VI	3	0,340	16,3	13,0
<b>8. Beauregard, La.</b>	VI	2	0,342	14,8	11,8
<b>9. Calcasieu, La.</b>	III	3	0,342	16,0	12,8
<b>10. Bastrop, Tx.</b>	III	5	0,318	17,8	12,8
<b>11. Polk, Tx.</b>	VI	4	0,346	18,8	13,5

Las variables calculadas a partir de datos tomados a campo fueron entonces,

*Factor de forma Pressler-Bitterlich* Se calculó, a partir de la fórmula

$$FF= 2/3 \cdot P/H$$

donde,

FF= Factor de forma de Pressler-Bitterlich

P= altura del punto de referencia R

H= altura total del árbol

R= punto sobre el fuste donde el diámetro de aquél equivale a 1/2 del *dap*.; la primera fue la lectura en la base del árbol, la segunda a la altura en la cual el fuste presentara un diámetro equivalente a la mitad del diámetro normal.

*Volumen individual total* Se calculó en metros cúbicos mediante la fórmula

$$V_{\text{total } c/c} = dap \ c/c^2 \times \pi /4 \times H_t \times FF$$

donde,

$V_{\text{total } c/c}$  = volumen total con corteza, m<sup>3</sup>

$dap \ c/c$  = diámetro a la altura del pecho, m

$\pi$  = la constante pi.

$H_t$  = altura total, m

FF = factor de forma Pressler-Bitterlich

Se trata de un volumen con corteza, debido al método de estimación del factor de forma.

## 2. Métodos de laboratorio

Las probetas de incremento radial fueron retiradas una a una de sus estuches y secadas superficialmente mediante la aplicación de una corriente de aire caliente. Dicho secado permitió la numeración de cada muestra con un lápiz de dureza HB. Las probetas se introdujeron a continuación en horno a 100.0 °C durante al menos 24 horas; se las dejó enfriar y se volvieron a colocar en sus estuches.

Las probetas fueron lijadas en forma manual, puliendo al menos dos caras opuestas, procurando que coincidieran con el plano transversal a la dirección de las traqueidas. El lijado sobre el plano transversal permite una observación más clara de los anillos de crecimiento que sobre los planos tangencial o radial. En algunos casos, debieron lijarse tres caras, debido a que en anillos sucesivos se producía una variación gradual de la dirección de las traqueidas. Los materiales abrasivos utilizados fueron, en orden de aplicación: lija de madera 1/2, lija de madera 1-0, lija de madera 3-0. Estos tres primeros abrasivos contribuyeron a eliminar las asperezas más gruesas y a formar caras planas de 3-4 mm de ancho. Luego se pulió con otras tres lijas, en sucesión: lija de agua 360, lija de agua 400 y lija de agua 600. El pulido con estas tres lijas tuvo por objeto lograr un buen acabado de la superficie; se obtuvo así la nitidez necesaria, bajo lupa binocular o microscopio, para distinguir claramente entre anillos de crecimiento, entre los leños temprano y tardío y aún los contornos de las paredes celulares en sección transversal.

Las probetas fueron observadas bajo un microscopio óptico OLYMPUS adaptado con una platina provista de agujas verticales, especialmente construida para observación de maderas (Figura 5). El microscopio fue equipado con un ocular provisto de reglilla graduada.



Figura 5. Microscopio OLYMPUS adaptado para medición de incrementos radiales.

A continuación se describe el registro de valores que permitió calcular anchos de leño temprano, de leño tardío y total de cada anillo de crecimiento y a partir de estos valores, porcentaje de leño tardío y peso de materia seca. Cada probeta fue clavada sobre la platina especial del microscopio y se hizo coincidir el cero de la reglilla con un conjunto alineado de traqueidas perpendicular al eje longitudinal de la probeta. Se anotaba el valor legible al inicio del proceso sobre la perilla de desplazamiento de la platina y el nonio o *vernier* sobre la misma. Se desplazaba la platina hasta que el cero de la reglilla en el ocular coincidiera con el límite entre leños temprano y tardío. Este límite, determinado según la definición de célula del leño tardío de Mork, fue fijado sobre un conjunto de traqueidas en las cuales se observara que las secciones transversales se aplanaban hasta que el ancho radial de *lumina* fuera menor al ancho de las paredes celulares adyacentes. Se registraba el valor legible en este punto. Se volvía a desplazar la platina hasta el límite entre el leño tardío del anillo de crecimiento y el leño temprano del anillo correspondiente al siguiente período. Este proceso se repitió para todos los anillos de crecimiento, desde el centro hasta la periferia, sobre ambos radios Norte y Sur.

Las excepciones más frecuentes al procedimiento descrito fueron aquellos casos en los cuales la probeta no incluía los tejidos centrales del fuste, *i.e.* su eje longitudinal no era un radio sino una secante de la sección transversal. En algunas de estas situaciones, la probeta tuvo que ser ubicada en un ángulo tal que permitiera el desplazamiento a lo

ancho de un anillo en sentido radial para medir la zona central para luego ser medida como se describió. En otros casos, se utilizó una serie de círculos concéntricos trazados sobre papel graduado en milímetros a intervalos de 0.5 mm, los cuales permitieron estimar el ancho de anillos o leños centrales faltantes en la probeta.



Figura 6. Balanza Sauter utilizada en la medición de peso anhidro y peso saturado de secciones de probeta de incremento radial.

Luego de la medición de todas las probetas bajo microscopio, se procedió a confeccionar secciones de probeta, constituidas por tres anillos de crecimiento. Estas secciones fueron marcadas con lápiz, numeradas de 1 a 10, de Sur a Norte y separadas con bisturí. A los efectos de determinar densidad de la madera mediante el método de máximo contenido de humedad, las secciones fueron llevadas a saturación. El estado de saturación fue logrado colocando las secciones correspondientes a cada árbol en tubos de ensayo con tapón de goma dentro de horno a 100 °C durante al menos 24 horas. Al

cabo de dicho período, se cambiaba el agua caliente por agua fría, repitiendo el proceso. Se verificó que las muestras alcanzaban un peso constante mediante este procedimiento.

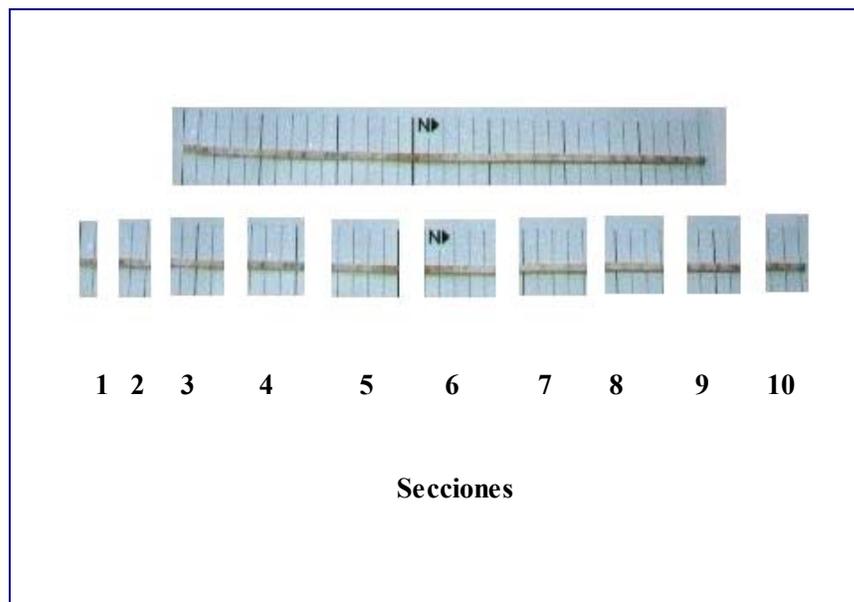


Figura 7 Probeta de incremento radial antes y después de ser dividida en secciones.

Las secciones fueron pesadas en balanza de precisión SAUTER, con una apreciación de 0.0001 g en estado saturado. Se fueron colocando por orden sobre mallas de tejido de alambre fino, acanaladas y puestas a secar en horno a 105 °C hasta su estado anhidro. Se comprobó que luego de permanecer al menos 48 horas en el horno, las secciones alcanzaban un peso constante. Los pesos en estado saturado y anhidro permitieron calcular la densidad mediante la fórmula

$$d_{0,g} = \frac{P_0}{V_s} = \frac{1}{\frac{M_s}{M_0} - 0.347}$$

donde

$d_{0,g}$  es la densidad básica de la madera

$M_0$  es la masa anhidra

$M_s$  es la masa saturada

### 3. Análisis Estadístico

Se confeccionaron bases de datos para los caracteres *dap*, espesor de corteza Norte y Sur, porcentaje de corteza, altura total, altura comercial, factor de forma Pressler-Bitterlich, volumen total y volumen comercial.

A partir de la información registrada sobre el ancho de los anillos de crecimiento y de leños temprano y tardío, se calcularon bases de datos para los caracteres ancho total de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío, área de anillos, área de leño temprano y área de leño tardío.

Sobre el conjunto de valores de pesos anhidro y saturado registrados sobre cada sección de tres anillos de crecimiento, se calculó una nueva base de datos para el carácter densidad básica (infradensidad). A partir de estos valores y de los datos de área de anillos, se generó un conjunto de datos correspondientes al carácter materia seca, según la fórmula (Plumptre, 1978, citado por García, 1982),

$$\text{Materia seca} = \frac{\text{área de la sección (cm}^2\text{)} \times \text{densidad de la sección (g / cm}^3\text{)}}{100} \times V_{\text{total}}$$

Se analizaron los valores individuales registrados para cada árbol de las variables diámetro a la altura del pecho, espesor de corteza Norte, espesor de corteza Sur, porcentaje de corteza, Altura total, Altura comercial, Factor de forma (Pressler-Bitterlich), Volumen total con corteza y volumen comercial con corteza. Se empleó el siguiente modelo matemático mixto, que toma bloques y árboles en orígenes en bloques como efectos fijos y orígenes como efecto aleatorio.

$$Y_{ijk} = \mu + B_{(i)} + P_{(j)} + BP_{ij} + T_{ijk}$$

donde

$\mu$  = media de la población

$B_i$  = efecto del  $i$ -ésimo bloque

$P_j$ = efecto del  $j$ -ésimo origen

$BP_{ij}$ = efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque y el  $j$ -ésimo origen

$T_{ijk}$ = efecto del  $k$ -ésimo árbol en el  $j$ -ésimo origen en el  $i$ -ésimo bloque

El formato de análisis de varianza y la tabulación de los componentes de varianza es la siguiente:

Cuadro 4 Análisis de varianza para *dap* sin corteza, proporción de corteza, área basimétrica individual sin corteza, factor de forma Pressler-Bitterlich, volumen total con corteza y peso de materia seca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios esperados
1 Bloque (B)	(b-1)	$V_e + pt V_b$
2 Origen (P)	(p-1)	$V_e + t V_{bp} + bt \Phi_p$
3 B-P	(b-1) (p-1)	$V_e + t V_{bp}$
4 Árboles en B en P (T)	bp (t-1)	$V_e$

Los componentes de varianza para efectos aleatorios son presentados como  $V$ , en tanto que aquellos para efectos fijos se designan como  $\Phi$ .

Se realizaron análisis de varianza para los caracteres ancho de anillos de crecimiento, área de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío e infradensidad. El modelo matemático mixto utilizado<sup>7</sup>, en el cual los orígenes y los anillos de crecimiento son efectos fijos y los bloques, árboles en bloques en orígenes y radios son efectos aleatorios, es el siguiente:

<sup>7</sup> Por referencias acerca de la fundamentación del modelo estadístico, el procedimiento de análisis y la interpretación de resultados, cf. Mergen, Burley y Furnival (1974).

$$Y_{ijklm} = \mu + B(i) + P(j) + BP_{ij} + T_{ijk} + R_l + BR_{il} + PR_{jl} + BRP_{ijl} + TR_{ijkl} + A_m + BA_{im} + PA_{jm} + BPA_{ijm} + TA_{ijkm} + RA_{lm} + BRA_{ilm} + PRA_{jlm} + BPRA_{ijlm} + TRA_{ijklm}$$

donde

$\mu$  = media de la población

$B_i$  = efecto del  $i$ -ésimo bloque

$P_j$  = efecto del  $j$ -ésimo origen

$BP_{ij}$  = efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo bloque y el  $j$ -ésimo origen

$T_{ijk}$  = efecto del  $k$ -ésimo árbol en el  $j$ -ésimo origen en el  $i$ -ésimo bloque

$R_l$  = efecto del  $l$ -ésimo radio

$BR_{il}$  = efecto de la interacción entre el  $l$ -ésimo radio y el  $i$ -ésimo bloque

$PR_{jl}$  = efecto de la interacción entre el  $l$ -ésimo radio y el  $j$ -ésimo origen

$BRP_{ijl}$  = efecto de la interacción entre el  $l$ -ésimo radio, el  $j$ -ésimo origen y el  $i$ -ésimo bloque

$TR_{ijkl}$  = efecto de la interacción entre el  $l$ -ésimo radio y el  $k$ -ésimo árbol en el  $j$ -ésimo origen en el  $i$ -ésimo bloque

$A_m$  = efecto del  $m$ -ésimo anillo de crecimiento

$BA_{im}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo y el  $i$ -ésimo bloque

$PA_{jm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo y el

$j$ -ésimo origen

$BPA_{ijm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo, el  $j$ -ésimo origen y el  $i$ -ésimo bloque

$TA_{ijkm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo y el  $k$ -ésimo árbol en el  $j$ -ésimo origen en el  $i$ -ésimo bloque

$RA_{lm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo y el  $l$ -ésimo radio

$BRA_{ilm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo, el  $l$ -ésimo radio y el  $i$ -ésimo bloque

$PRA_{jlm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo, el  $l$ -ésimo radio y el  $j$ -ésimo origen

$BPRA_{ijlm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo, el  $l$ -ésimo radio, el  $j$ -ésimo origen y el  $i$ -ésimo bloque

$TRA_{ijklm}$  = efecto de la interacción entre el  $m$ -ésimo anillo, el  $l$ -ésimo radio y el  $k$ -ésimo árbol en el  $j$ -ésimo origen y el  $i$ -ésimo bloque.

Además:

$i = 1$  a  $b = 6$ , número de bloques;

$j = 1$  a  $p = 11$ , número de orígenes;

$k = 1$  a  $t = 3$ , número de árboles;

$l = 1$  a  $r = 2$ , número de radios;

$m = 1$  a  $a = 15$ , número de anillos de crecimiento.

Cuadro 5. Análisis de varianza para ancho de anillos de crecimiento, área de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío e infradensidad

Fuente de variación	grados de libertad	Cociente F	Cuadrados medios esperados
1 Bloque (B)	(b - 1)	1 : 4	$V_e + r_a V_t + p_{tra} V_b$
2 Origen (P)	(p - 1)	2 : 3	$V_e + r_a V_t + tra V_{bp} + b_{tra} \Phi_p$
3 B-P	(b - 1)(p - 1)	3 : 4	$V_e + r_a V_t + p_{tra} V_b$
4 Arboles en B en P (T)	bp (t - 1)	4 : 19	$V_e + r_a V_t$
5 Radios	(r - 1)	5 : 6	$V_e + a V_{tr} + p_{ta} V_{br} + b_{pta} \Phi_r$
6 B-R	(b - 1) (r - 1)	6 : 9	$V_e + a V_{tr} + p_{ta} V_{br}$
7 P-R	(p - 1) (r - 1)	7 : 8	$V_e + a V_{tr} + ta V_{bpr} + b_{ta} \Phi_{pr}$
8 B-P-R	(b-1) (p-1) (r-1)	8 : 9	$V_e + a V_{tr} + ta V_{bpr}$
9 (T)-R	bp (t-1) (r-1)	9 : 19	$V_e + a V_{tr}$
10 A	(a - 1)	10 : 11	$V_e + r V_{ta} + p_{tr} V_{ba} + b_{ptr} \Phi_a$
11 B-A	(b - 1) (a - 1)	11 : 14	$V_e + r V_{ta} + p_{tr} V_{ba}$
12 P-A	(p - 1) (a - 1)	12 : 13	$V_e + r V_{ta} + tr V_{bpa} + b_{tr} \Phi_{pa}$
13 B-P-A	(b-1) (p-1) (a-1)	13 : 14	$V_e + r V_{ta} + tr V_{bpa}$
14 T-A	bp (t - 1) (a - 1)	9 : 19	$V_e + r V_{ta}$
15 R-A	(r - 1) (a - 1)	15 : 16	$V_e + p_{tr} V_{bra} + b_{ptr} \Phi_a$
16 B-R-A	(b-1) (r-1) (a-1)	16 : 19	$V_e + p_{tr} V_{bra}$
17 P-R-A	(p-1) (r-1) (a-1)	17 : 18	$V_e + t V_{bpra} + bt \Phi_{pra}$
18 B-P-R-A	(b - 1)(p-1) (r-1) (a-1)	18 : 19	$V_e + t V_{bpra}$
19 T-R-A	bp(t-1) (a - 1)		$V_e$

Los componentes de varianza para efectos aleatorios son presentados como  $V$ , en tanto que aquellos para efectos fijos se designan como  $\Phi$ .

Tabla 20. Valores a comparar con cocientes F en análisis de varianza para ancho de anillos de crecimiento, área de anillos, ancho de leño temprano, ancho de leño tardío, porcentaje de leño tardío e infradensidad

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Cociente F</b>	<b>v</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>1. Bloques</b>	1 : 4	5/132	2,2829	3,1590
<b>2. Orígenes</b>	2 : 3	10/50	2,0261	2,6981
<b>3. Blo-Ori</b>	3 : 4	50/132	1,4471	1,6840
<b>4. Arb en O en B</b>	4 : 19	132/1848	1,2204	1,3234
<b>5. Radios</b>	5 : 6	1/5	6,6079	16,2581
<b>6. Blo- Rad</b>	6 : 9	5/132	2,2829	3,1590
<b>7. Ori- Rad</b>	7 : 8	10/50	2,0261	2,6981
<b>8. Blo - Ori - Rad</b>	8 : 9	50/132	1,4471	1,6840
<b>9. A en O en B- Rad</b>	9 : 19	9/19	1,2204	1,3234
<b>10. Anillos</b>	10 : 11	14/70	1,8357	2,3477
<b>11. Blo- Ani</b>	11 : 14	70/1848	1,3012	1,4472
<b>12. Ori- Ani</b>	12 : 13	140/700	1,2299	1,3385
<b>13. Blo- Ori- Ani</b>	13 : 14	700/1848	1,1073	1,1548
<b>14. A en O en B- Ani</b>	14 : 19	1848/1848	1,0796	1,1144
<b>15. Rad- Ani</b>	15 : 16	14/70	1,8357	2,3477
<b>16. Blo- Rad- Ani</b>	16 : 19	70/1848	1,3012	1,4472
<b>17. Ori- Rad- Ani</b>	17 : 18	140/700	1,2299	1,3385
<b>18. Blo- Ori- Rad- Ani</b>	18 : 19	700/1848	1,1073	1,1548
<b>19. A en O en B- Ani</b>				

Tabla 21. Análisis de varianza para espesor de corteza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
1. Bloques $i$ (B)	SC B	$(b - 1)$	$\frac{SCB}{(b - 1)}$	1 : 4
2. Orígenes $j$ (O)	SC O	$(t - 1)$	$\frac{SCO}{(p - 1)}$	2 : 3
3. Interacción B-O $ij$	SC (B-O)	$(b - 1)(t - 1)$	$\frac{SC(B O)}{(b - 1)(t - 1)}$	3 : 4
4. Arboles en B en O $ijk$ (A)	SC A	$b t (a - 1)$	$\frac{SC A}{b t (a - 1)}$	4 : 19
5. Radio $l$ (R)	SC R	$(r - 1)$	$\frac{SC R}{(r - 1)}$	5 : 6
6. B-R $il$	SC (B-R)	$(b - 1)(r - 1)$	$\frac{SC(B R)}{(b - 1)(r - 1)}$	6 : 9
7. O-R $jl$	SC (O-R)	$(t - 1)(r - 1)$	$\frac{SC(O R)}{(t - 1)(r - 1)}$	7 : 8
8. B-O-R $ijl$	SC (B-O-R)	$(b - 1)(t - 1)(r - 1)$	$\frac{SC(B O R)}{(b - 1)(t - 1)(r - 1)}$	8 : 9
9. A-R $ijkl$	SC (A-R)	$b p (a - 1)(r - 1)$	$\frac{SC(A R)}{b p (a - 1)(r - 1)}$	9 : 19
TOTAL		$(b p a r - 1)$		

Tabla 22. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza para diámetro a la altura del pecho, altura total, altura comercial, factor de forma Pressler-Bitterlich, volumen total, volumen comercial, materia seca total y materia seca comercial

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Cociente</b>	<b>v</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>1. Bloques</b>	1 : 4	5/10	3,3258	3,1590
<b>2. Orígenes</b>	2 : 3	10/50	2,0261	2,6981
<b>3. Bloque - Origen</b>	3 : 4	50/132	1,4471	1,6840
<b>4. Arb en O en B</b>				

Tabla 23. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza para espesor de corteza y proporción de corteza

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Cociente</b>	<b>v</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>1. Bloques</b>	1 : 4	5/132	2,2829	3,1590
<b>2. Orígenes</b>	2 : 3	10/50	2,0261	2,6981
<b>3. Blo-Ori</b>	3 : 4	50/132	1,4471	1,6840
<b>4. Arboles en O en B</b>	4 : 19	132/132	1,3329	1,5025
<b>5. Radios</b>	5 : 6	1/5	6,6079	16,2581
<b>6. Blo- Rad</b>	6 : 9	5/132	2,2829	3,1590
<b>7. Ori- Rad</b>	7 : 8	10/50	2,0261	2,6981
<b>8. Blo - Ori - Rad</b>	8 : 9	50/132	1,4471	1,6840
<b>9. A en O en B- Rad</b>	9 : 19			

Tabla 24. Valores a comparar con cocientes F, análisis de varianza de infradensidad

<b>Fuente de Variación</b>	<b>Cociente</b>	<b>G de lib. num. / den.</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>
<b>1. Bloques (B)</b>	1 : 4	5/132	2,282853	3,158959
<b>2. Orígenes (O)</b>	2 : 3	10/50	2,026141	2,698130
<b>3. B – O</b>	3 : 4	50/132	1,447058	1,683993
<b>4. Arboles en O en B</b>	4 : 19	132/1848	1,220367	1,323400
<b>5. Radios (R)</b>	5 : 6	1/5	6,607877	16,258127
<b>6. B – R</b>	6 : 9	5/10	3,325837	5,636366
<b>7. O – R</b>	7 : 8	10/50	2,026141	2,698130
<b>8. B – O – R</b>	8 : 9	50/132	1,447058	1,683993
<b>9. A en O en B – R</b>	9 : 19	132/1848	1,220367	1,323400
<b>10. Secciones (S)</b>	10 : 11	4/20	2,866081	4,430717
<b>11. B – S</b>	11 : 14	20/40	1,838860	2,368878
<b>12. O – S</b>	12 : 13	40/200	1,455090	1,694481
<b>13. B – O – S</b>	13 : 14	200/1848	1,181157	1,264311
<b>14. A en O en B- S</b>	14 : 19	1848/1848	1,079551	1,114351
<b>15. R – S</b>	15 : 16	14/70	1,835684	2,347662
<b>16. B – R – S</b>	16 : 19	70/140	1,392513	1,596213
<b>17. O – R – S</b>	17 : 18	140/700	1,229937	1,338549
<b>18. B – O – R – S</b>	18 : 19	700/1848	1,107275	1,154804
<b>19. A en O en B- Sec</b>				

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### A. VARIABLES DENDROMÉTRICAS

##### 1. Diámetro a la altura del pecho

El efecto de los orígenes sobre la variación en diámetro a la altura del pecho (*dap*) es altamente significativo y explica un 14.83 por ciento de esta variación (*cf.* Tabla 25). El efecto más importante es árboles en bloques en orígenes, al cual se asocia un 80.27% de la variación en *dap*.

Puesto que la interacción bloque - origen no es significativa, el comportamiento de los orígenes a través del ensayo es estable, *i.e.* un listado de *dap* medios en orden decreciente sería el mismo para los seis bloques.

Tabla 25. Análisis de varianza para diámetro a la altura del pecho sin corteza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	5828.7727	5	1165.7545	1.4926 n.s.	11.6545	1.20%
<b>Orígenes (O)</b>	34863.0505	10	3486.3051	3.9223 * *	144.3033	14.83%
<b>Interacción B-O</b>	44442.2828	50	888.8457	1.1381 n.s.	35.9519	3.70%
<b>Arboles en B en O</b>	103090.6667	132	780.9899		780.9899	80.27%
<b>TOTAL</b>		197			972.8996	100.0%

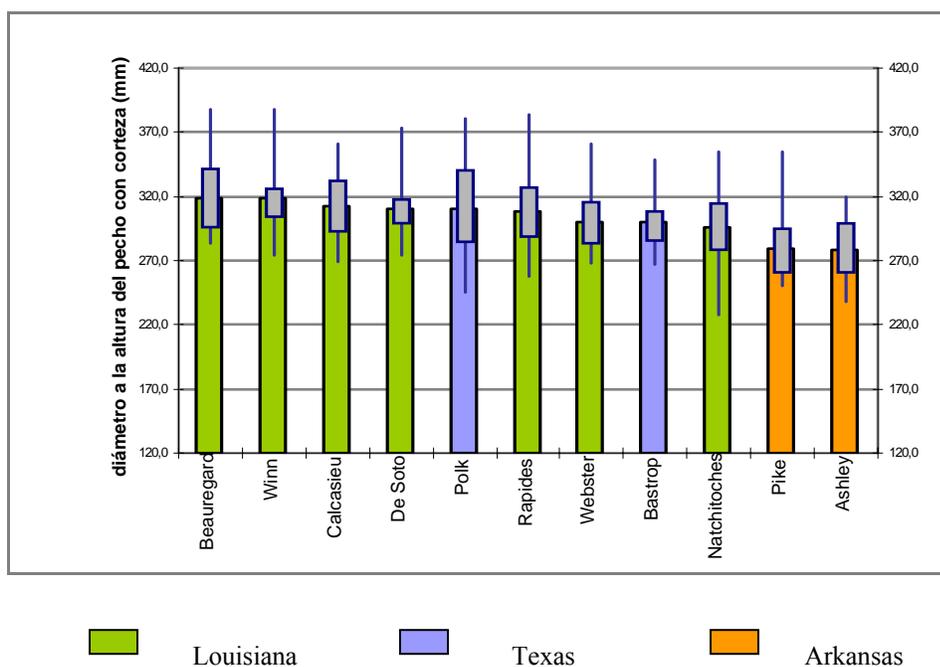
Estos resultados permiten suponer que es posible lograr un avance en la mejora genética para esta característica, seleccionando un grupo de orígenes con valores promedio superiores y dentro de éstos, los individuos de mayor *dap*.

En la Tabla 26 se presentan *dap* promedios de orígenes; los valores seguidos de las mismas letras no difieren en forma significativa ( $\alpha= 0.01$ ) según la prueba de Tukey

HSD<sup>8</sup>. El *dap* medio de Beauregard (Louisiana) es superior a aquellos de Pike y Ashley (Arkansas).

El Gráfico 1 muestra los *dap* medio de orígenes, diferenciados por Estado. En los diagramas de *box and whisker*, las barras representan los dos cuartiles centrales de la distribución y las líneas verticales unen valores máximo y mínimo del tratamiento.

Gráfico 1. Diámetro a la altura del pecho (mm).



<sup>8</sup> HSD significa *honestly significant difference*

Tabla 26. Diámetro a la altura del pecho; promedios de orígenes

Origen		Diámetro a la altura del pecho (mm)	
8	Beauregard, La.	319.1	a
5	Winn, La.	318.1	ab
9	Calcasieu, La.	312.2	ab
4	De Soto, La.	310.6	ab
11	Polk, Tx.	310.4	ab
7	Rapides, La.	307.8	ab
3	Webster, La.	300.4	ab
10	Bastrop, Tx.	299.8	ab
6	Natchitoches, La.	295.5	ab
1	Pike, Ark.	279.3	b
2	Ashley, Ark.	278.6	b

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

Estos resultados coinciden en términos generales con las evaluaciones de ensayos de orígenes locales, en el sentido que no se observan diferencias significativas entre orígenes de Louisiana (Kennedy y Crow, 1969; Crow, Clason y Burns, 1977; Kraus, Wells y Sluder, 1984). Si bien se halló una alta correlación negativa entre *dap* medio de orígenes y variables como latitud, no se pueden establecer patrones claros de variación en función de la distribución geográfica de orígenes, como señalan Crow, Clason y Burns (1977).

## 2. Espesor de corteza Norte, espesor de corteza Sur. Proporción de corteza.

En una evaluación preliminar, el análisis de espesor de corteza Norte y Sur en forma conjunta reveló que las fuentes de variación con efecto significativo sobre esta característica son árboles (en bloques en orígenes) y las interacciones bloque-radio y bloque-origen-radio. Sin embargo, los componentes de varianza muestran que el efecto principal es el de árboles individuales, asociado a 96.64 por ciento de la variación en espesor de corteza (Tabla 27).

Los valores de F y los componentes de varianza para el efecto radios indican que la medición de espesor de corteza a los efectos de estimar proporción de corteza podría hacerse sobre la cara Norte o sobre la cara Sur del fuste, sin alterar los resultados.

Por otra parte, el carácter espesor de corteza sería pasible de mejora genética mediante la selección de individuos. La oportunidad de selección que ofrece esta variación individual fue señalada por Pederick (1970, citado por Dorman, 1976).

Tabla 27. Análisis de varianza para proporción de corteza

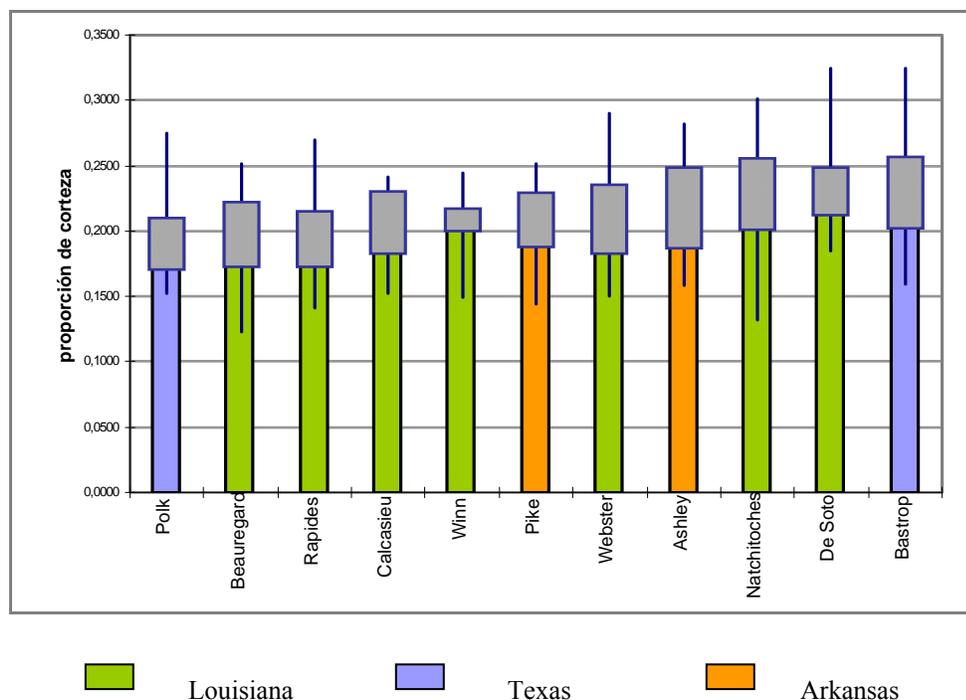
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	0,036479	5	0,0072958	6,25 **	0,00018859	13,34
<b>Orígenes (O)</b>	0,0376037	10	0,00376037	3,22 **	0,000153176	10,83
<b>Interacción B-O</b>	0,0501599	50	0,0010032	0,86 n. s.	$-2,30563 \times 10^{-5}$	0,00
<b>Arboles en B en O</b>	0,14155269	132	0,001072369		0,001072369	75,83
<b>TOTAL</b>		197			0,00018859	100,00

Si el carácter en cuestión fuera proporción de corteza, que relaciona dos caracteres de medición directa, *dap* y espesor de corteza, serían válidas las mismas consideraciones.

El análisis de varianza para proporción de corteza (Tabla 27) muestra que el efecto de bloques y orígenes es altamente significativo. Arboles (en bloques en orígenes) es la fuente de variación más importante, puesto que explica un 75.83 por ciento de la

variación, en tanto que a bloques y orígenes corresponden porcentajes menores, 13.34 y 10.83, respectivamente.

Gráfico 2. Proporción de corteza ; promedios de orígenes



### 3. Area basimétrica individual

Los resultados del análisis de varianza para valores individuales de área basimétrica son análogos a los expuestos para *dap* (Tabla 28). El interés que reviste este análisis es sopesar la incidencia de las fuentes de variación sobre cada uno de los factores en el cálculo de volumen individual (*i.e.* área basimétrica, factor de forma y altura).

El efectos de orígenes sobre el área basimétrica individual es altamente significativo. No obstante, explica apenas  $1.91 \times 10^{-7}$  por ciento de la variación en esta característica. El efecto más importante, asociado al 99.99 por ciento de la variación en área

basimétrica individual es árboles en bloques en orígenes. Estos resultados indican que es posible seleccionar individuos con mayores áreas basimétricas en el proceso de mejora genética.

Tabla 28. Análisis de varianza para área basimétrica individual

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	$1.31102 \times 10^9$	5	$2.62204 \times 10^8$	1.6005 n.s.	0.02981	$1.82 \times 10^{-8}$
<b>Orígenes (O)</b>	$7.73467 \times 10^9$	10	$7.73467 \times 10^8$	3.6866 **	0.31314	$1.91 \times 10^{-7}$
<b>Interacción B-O</b>	$10.4904 \times 10^9$	50	$2.09808 \times 10^8$	1.2807 n.s.	0.15326	$9.35 \times 10^{-8}$
<b>Arboles en B en O</b>	$21.6255 \times 10^9$	132	$1.63829 \times 10^8$		$1.63829 \times 10^8$	99.99 %
<b>TOTAL</b>		197			$1,63829 \times 10^8$	100.0%

En la Tabla 29 se presentan los resultados de la prueba de Tukey, según la cual las áreas basimétricas individuales promedio de Beauregard y Winn (Louisiana) resultan significativamente mayores a las de Pike y Ashley (Arkansas).

A modo de referencia, se calculó también el área basimétrica por unidad de superficie ( $m^2/ha$ ) para los orígenes, que se presentan también en orden decreciente en la Tabla 30. Estos valores corresponden a áreas basimétricas remanentes luego del quinto raleo, a la edad de 18 años, con una densidad de turno final de 192 árboles/ha.

Tabla 29. Area basimétrica individual; promedios de orígenes

	<b>Origen</b>	<b>Area basimétrica</b>	
<b>8</b>	<b>Beauregard, La.</b>	80626.6	a
<b>5</b>	<b>Winn, La.</b>	80113.7	a
<b>9</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	77035.0	ab
<b>11</b>	<b>Polk, Tx.</b>	76657.1	ab
<b>4</b>	<b>De Soto, La.</b>	76158.5	ab
<b>7</b>	<b>Rapides, La.</b>	75084.7	ab
<b>3</b>	<b>Webster, La.</b>	71476.8	ab
<b>10</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	70994.3	ab
<b>6</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	69400.3	ab
<b>1</b>	<b>Pike, Ark.</b>	61824.6	b
<b>2</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	61459.0	b

Tabla 30. Area basimétrica m<sup>2</sup>/ha; promedios de orígenes

	<b>Origen</b>	<b>Area basimétrica</b>
<b>8</b>	<b>Beauregard, La.</b>	30.40
<b>5</b>	<b>Winn, La.</b>	29.32
<b>9</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	29.13
<b>4</b>	<b>De Soto, La.</b>	28.93
<b>11</b>	<b>Polk, Tx.</b>	28.31
<b>7</b>	<b>Rapides, La.</b>	28.09
<b>3</b>	<b>Webster, La.</b>	26.88
<b>10</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	26.49
<b>6</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	26.06
<b>1</b>	<b>Pike, Ark.</b>	23.26
<b>2</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	23.00

#### 4. Altura Total

En la variación de altura total ( $H_t$ ) resultaron altamente significativos los efectos de bloques, de orígenes y de la interacción bloque-origen (*cf.* Tabla 31).

El efecto de los individuos (árboles en bloques en orígenes) fue el principal, asociado al 47.25 por ciento de la variación en  $H_t$ . La interacción bloque-origen le sigue en importancia, con 19.45 % de la variación. Bloques y procedencias explican respectivamente 16.94 y 16.36 % de la variación en  $H_t$ .

Tabla 31. Análisis de varianza para altura total

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	51.7142	5	10.3428	12.8273 **	28.8986	16.94%
<b>Orígenes (O)</b>	68.2794	10	68.2794	3.7887 **	27.9208	16.36%
<b>Interacción B-O</b>	90.1097	50	18.0219	2.2351 **	33.1960	19.45%
<b>Arboles en B en O</b>	106.4333	132	0.8063		80.6313	47.25%
<b>TOTAL</b>		197				100.0%

En la Tabla 32 se muestran alturas totales medias de los bloques y en la Tabla 33 los valores promedio de orígenes.

Si bien no puede establecerse un patrón geográfico claro en la variación, en gran medida porque los orígenes no representan un muestreo sistemático de poblaciones naturales al Oeste del Río Mississippi, la altura total media tiende a aumentar de Norte a Sur. Estos resultados coinciden con tendencias observadas por Crow y Hansborough (1970) y por Crow, Clason y Burns (1977) en el estudio del Noreste de Louisiana. También Grigsby (1973; 1977) observó una tendencia similar.

Gráfico 3. Altura total; promedios de tratamientos

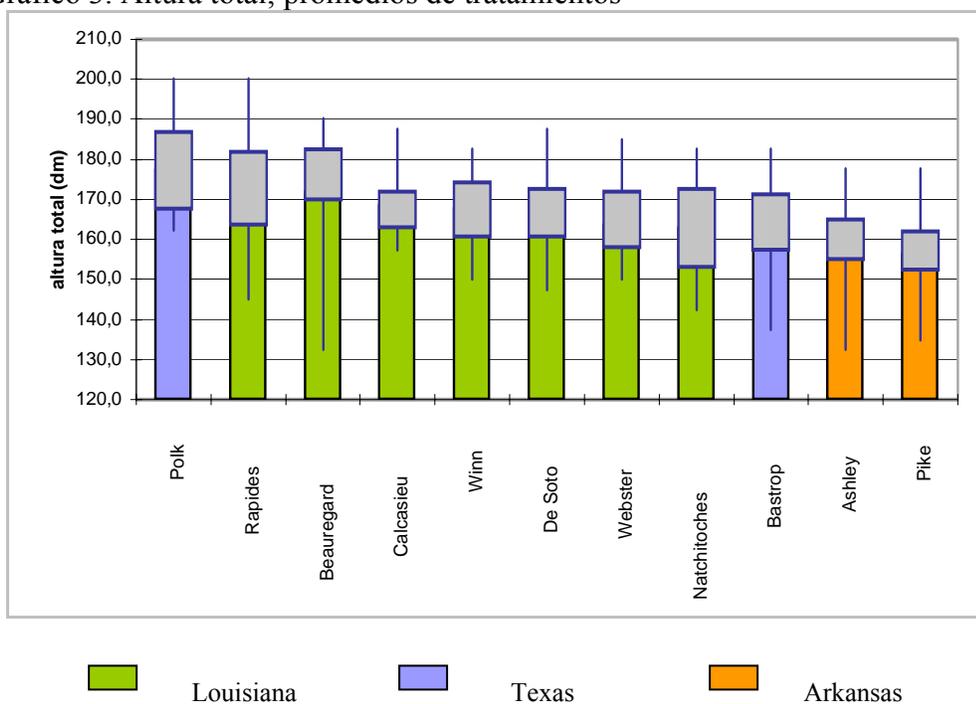


Tabla 32. Altura total; promedios de bloques

Bloque	Altura total (m)
1	17.3 a
3	17.0 a
4	16.9 a
2	16.7 ab
5	16.0 bc
6	15.9 c

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

Crow y Hansborough (1970) observaron considerable variación entre alturas totales de orígenes creciendo en sitios diferentes, pero observaron una menor diferencia entre valores extremos para los orígenes Winn y Calcasieu.

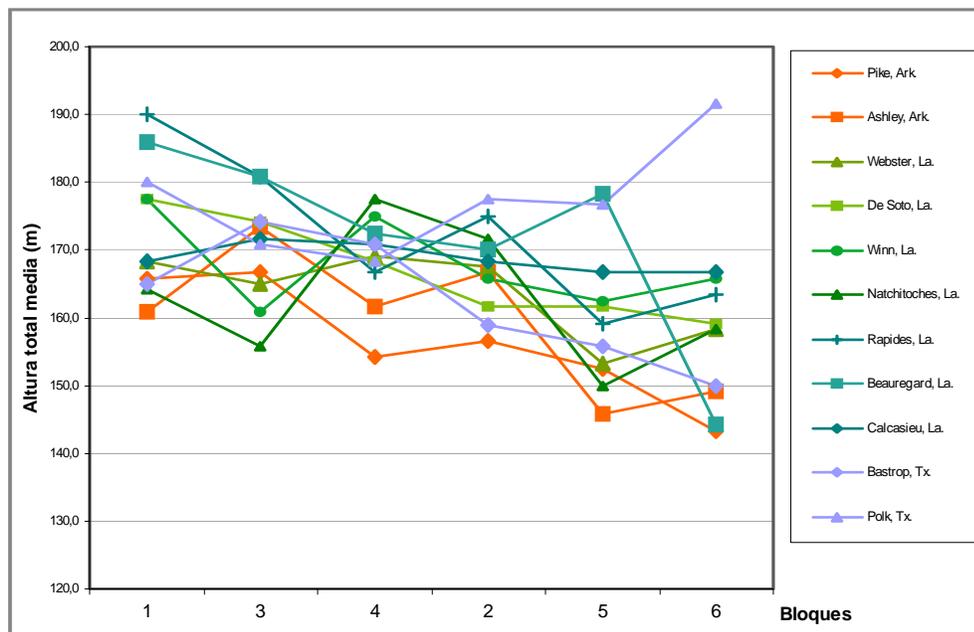
Tabla 33. Altura total; promedios de orígenes

	<b>Origen</b>	<b>Altura total (m)</b>	
<b>11</b>	<b>Polk, Tx.</b>	17.73	a
<b>7</b>	<b>Rapides, La.</b>	17.23	ab
<b>8</b>	<b>Beauregard, La.</b>	17.17	ab
<b>9</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	16.86	abc
<b>5</b>	<b>Winn, La.</b>	16.78	abcd
<b>4</b>	<b>De Soto, La.</b>	16.68	abcd
<b>3</b>	<b>Webster, La.</b>	16.34	bcd
<b>6</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	16.27	bcd
<b>10</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	16.22	bcd
<b>2</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	15.94	cd
<b>1</b>	<b>Pike, Ark.</b>	15.63	d

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

La importancia de la variación bloque-origen, estriba en que la el incremento en  $H_t$  se vincula con la adaptación al sitio. En el Gráfico 4 se representan los valores de  $H_t$  promedio de cada origen en cada bloque; los bloques fueron ordenados a su vez en forma decreciente según su  $H_t$  media.

Gráfico 4. Altura total promedio de los orígenes en cada bloque.



Se observa así que los orígenes varían en cuanto a su estabilidad; entre aquellos con una altura media mayor al promedio general, destacan Winn (La.) y Calcasieu (La.) como los más estables. Los orígenes de comportamiento menos estable son Rapides (La.), Beauregard (La.) y Polk (Tx.); los dos primeros parecen adaptarse mejor a sitios favorables, en tanto que el último presenta mayor altura promedio en el sitio de menor productividad. Es posible que exista cierta variabilidad en calidad de sitio dentro de los bloques, por lo cual estos resultados no deberían conducir a conclusiones definitivas.

## 5. Factor de forma Pressler

El factor de forma Pressler fue evaluado como un componente en el cálculo de volumen individual, de manera análoga al área basimétrica. No es una característica especialmente relevante en mejoramiento genético; normalmente la forma es evaluada en relación a rectitud, hábito de ramas y estructura de la copa (Dorman, 1976; Sayagués y Simón, 1983) más bien que a través de la conicidad del fuste.

En el análisis de varianza de factor de forma Pressler, los efectos altamente significativos fueron bloques y la interacción bloque-origen (*cf.* Tabla 34). No obstante, esta última explica sólo un 3.21 por ciento de la variación de esta característica. Bloques es entonces el efecto de mayor incidencia, dado que se asocia a 84.06 por ciento de la variación observada en factor de forma Pressler.

Tabla 34. Análisis de varianza para factor de forma Pressler

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	148.3434	5	29.6687	6.9684 **	29.5397	84.06%
<b>Orígenes (O)</b>	11481823	10	11.4818	1.5020 n.s.	0.2132	0.61%
<b>Interacción B-O</b>	382.2121	50	7.6442	1.7954 **	1.1289	3.21%
<b>Arboles en B en O</b>	561.9999	132	4.2576		4.2576	12.12%
<b>TOTAL</b>		197			11.4800	100.0%

Arboles (en bloques en orígenes) explica sólo 12.12 % de la variación total del carácter. Esto sustentaría la idea de estudiarlo como un instrumento de interpretación y como factor en el cálculo de volumen individual. Si bien se estimaron valores de factor de forma sobre mediciones del árbol de tamaño medio para cada origen (

Tabla 35), los cuales se emplearon para calcular volumen individual; estos resultados fueron luego excluidos de la base de datos a analizar debido a la no significación del valor F correspondiente a orígenes y a la escasa incidencia de este efecto sobre la variación de factores de forma individuales.

Tabla 35. Factores de forma estimados sobre árboles de *dap* medio de cada origen

Origen	Bloque	Arbol	dap (cm)	Altura (m)	Factor de forma
<i>1. Pike, Ark.</i>	V	4	0,304	15,5	0,4516
<i>2. Ashley, Ark.</i>	III	2	0,309	17,8	0,4413
<i>3. Webster, La.</i>	V	3	0,328	16,8	0,3881
<i>4. De Soto, La.</i>	V	2	0,359	17,0	0,4412
<i>5. Winn, La.</i>	V	2	0,336	17,3	0,4155
<i>6. Natchitoches, La.</i>	VI	3	0,327	15,5	0,4516
<i>7. Rapides, La.</i>	VI	3	0,340	16,3	0,4410
<i>8. Beauregard, La.</i>	VI	2	0,342	14,8	0,4520
<i>9. Calcasieu, La.</i>	III	3	0,342	16,0	0,4688
<i>10. Bastrop, Tx.</i>	III	5	0,318	17,8	0,4413
<i>11. Polk, Tx.</i>	VI	4	0,346	18,8	0,4089

Respecto a bloques, los resultados sugieren que en los bloques 3, 5 y 6 crecen árboles relativamente menos cónicos que en el bloque 2.

Tabla 36. Factor de forma Pressler; promedios de bloques

Bloque	Factor de forma Pressler
<b>3</b>	0.433 a
<b>5</b>	0.432 a
<b>6</b>	0.432 a
<b>1</b>	0.424 ab
<b>4</b>	0.422 ab
<b>2</b>	0.408 b

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

Tabla 37. Factor de forma Pressler; medias de orígenes

<b>Origen</b>		<b>Espesor de corteza (mm)</b>	
<b>1</b>	<b>Pike, Ark.</b>	0.438	a
<b>7</b>	<b>Rapides, La.</b>	0.433	ab
<b>10</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	0.433	ab
<b>4</b>	<b>De Soto, La.</b>	0.431	ab
<b>9</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	0.426	ab
<b>5</b>	<b>Winn, La.</b>	0.424	ab
<b>3</b>	<b>Webster, La.</b>	0.423	ab
<b>6</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	0.423	ab
<b>8</b>	<b>Beauregard, La.</b>	0.420	ab
<b>11</b>	<b>Polk, Tx.</b>	0.418	ab
<b>2</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	0.410	b

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

## 6. Volumen total individual con corteza

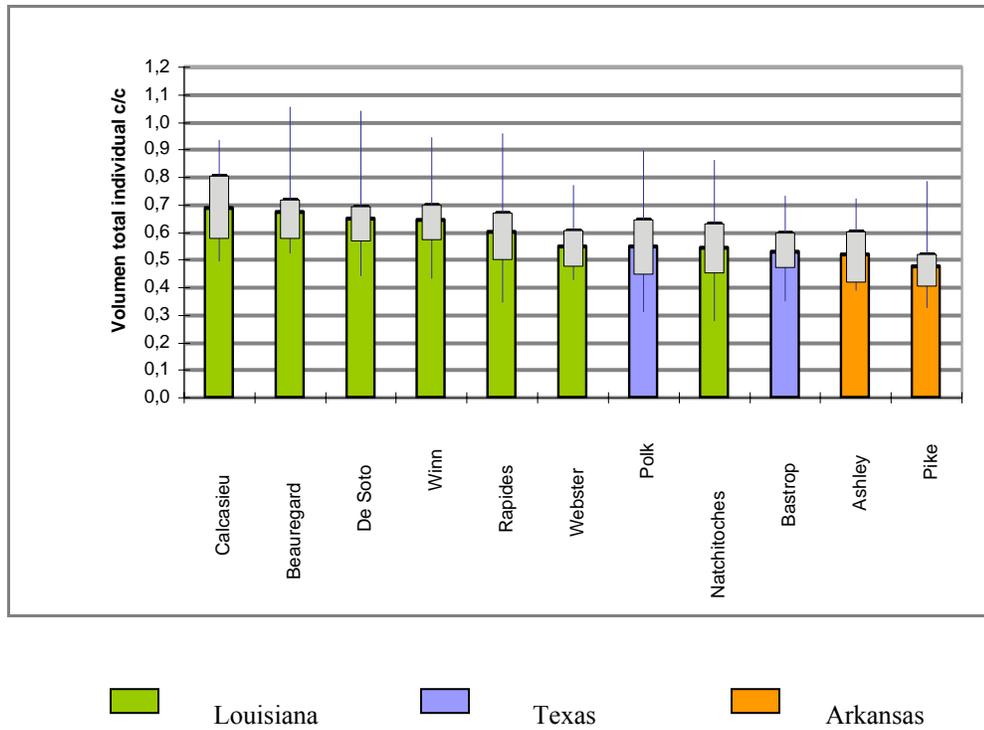
En la variación de volumen total individual con corteza, sólo el efecto de orígenes resultó ser altamente significativo (Tabla 38). No obstante, se asocia a poco más de 0.005 por ciento de la variación total, por lo cual el efecto de árboles (en bloques, en orígenes) es el mas relevante.

Tabla 38. Análisis de varianza para volumen total individual con corteza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	$37.75 \times 10^9$	5	$7.551 \times 10^9$	0.4517 n.s.	$-0.278 \times 10^9$	0 %
<b>Orígenes (O)</b>	$926.43 \times 10^9$	10	$92.264 \times 10^9$	5.1233 **	$4.142 \times 10^9$	$5.436 \times 10^{-8}$ %
<b>Interacción B-O</b>	$904.13 \times 10^9$	50	$18.083 \times 10^9$	1.0818 n.s.	$0.456 \times 10^9$	$1.632 \times 10^{-10}$ %
<b>Arboles en B en O</b>	$2206.36 \times 10^9$	132	$16.715 \times 10^9$		$16.715 \times 10^9$	99.99 %
<b>TOTAL</b>						

Estos resultados sugieren que la selección para la mejora genética de esta característica debería hacerse mediante selección de los individuos de mayor volumen total individual con corteza.

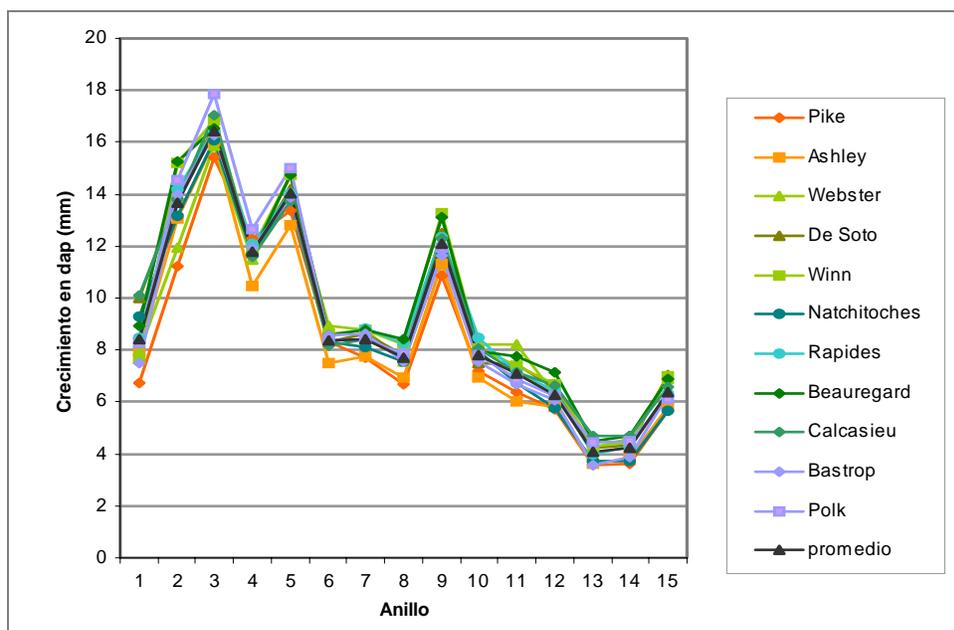
Gráfico 5. Volumen total individual promedio con corteza de los orígenes.



## 7. Ancho de anillo de crecimiento. Crecimiento radial

En el análisis de varianza para ancho de anillos, el efecto significativo más importante fue anillos, que explica 67.75 por ciento de la variación total (*cf.* Tabla 39). Si bien las interacciones bloque-anillo y origen-anillo son altamente significativas, no explican un porcentaje apreciable de la variación total.

Gráfico 6. Ancho de anillo de crecimiento o crecimiento radial por origen.



El patrón general de variación en ancho de anillos se vincula a condiciones ambientales durante la estación de crecimiento, en interacción con los tratamientos silvícolas que controlaron las relaciones de competencia entre individuos. Cuadro 2. Resumen del calendario silvícola aplicado al Ensayo del Potrero G.

La interacción entre árboles (en bloques en orígenes)-anillo, por otra parte, se asocia a 7.84 por ciento de la variación en crecimiento radial. Esto significa que, si se compara el ancho de los anillos de crecimiento correspondientes a diferentes anillos, el listado de valores individuales en orden creciente o decreciente sería distinto para cada incremento anual.



Tabla 39. Análisis de varianza para crecimiento radial o ancho de anillo de crecimiento

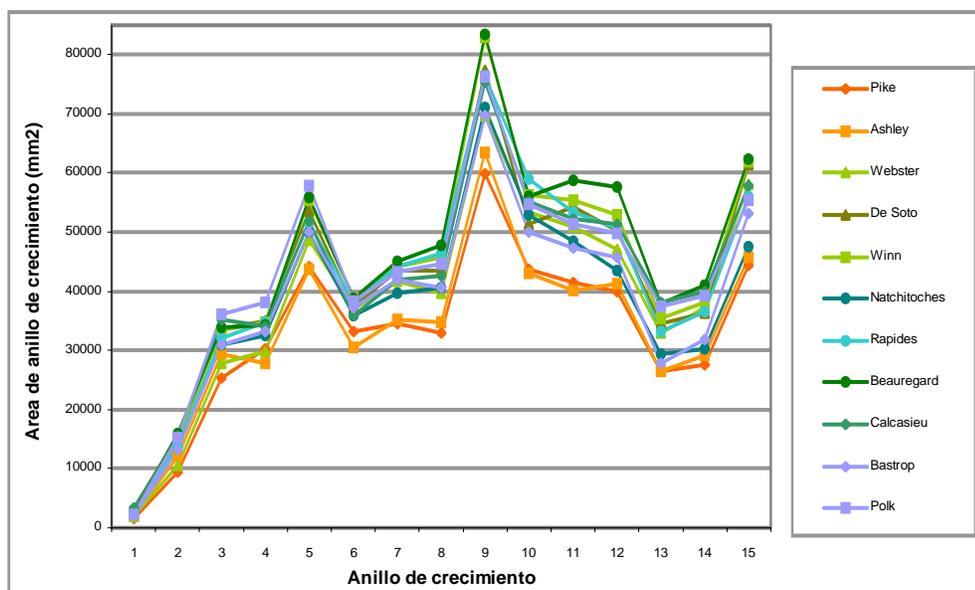
Fuente de variación	Suma de Cuadrados	<i>v</i>	Cuadrado medio	F		E{CM}	Componentes de varianza
<b>1. Bloques (B)</b>	401.2813	5	80.2563	3.3914	**	0.0572	0,2878
<b>2. Orígenes (O)</b>	1082.2324	10	108.2232	4.6223	**	0.9423	4,7414
<b>3. B – O</b>	1170.6774	50	23.4135	0.9894	n.s.	-0.0028	0
<b>4. Arboles en O en B</b>	3123.7487	132	23.6648	17.6827	**	0.7442	3,7446
<b>5. Radios (R)</b>	2027.9055	1	2027.9055	53.8464	**	0.6795	3,4191
<b>6. B - R</b>	188.3044	5	37.6609	5.4150	**	0.0620	0,3120
<b>7. O – R</b>	129.3887	10	12.9389	1.3293	n.s.	0.0119	0,0599
<b>8. B-O-R</b>	486.6734	50	9.7335	1.3995	n.s.	0.0618	0,3110
<b>9. A en O en B – R</b>	918.0477	132	6.9549	5.1968	**	0.3744	1,8839
<b>10. Anillos (An)</b>	74850.2301	14	5346.4450	360.0106	**	13.4636	67,7455
<b>11. B-An</b>	1039.5587	70	14.8508	3.3326	**	0.1575	0,7925
<b>12. O-An</b>	1153.7504	140	8.2411	1.4131	**	0.0669	0,3366
<b>13. B-O-An</b>	4082.2967	700	5.8319	1.3087	**	0.2293	1,1538
<b>14. A en O en B -An</b>	8235.0746	1848	4.4562	3.3297	**	1.5590	7,8445
<b>15. R-An</b>	197.1822	14	14.0844	5.5599	**	0.0583	0,2934
<b>16. B-R-An</b>	177.3217	70	2.5332	1.8928	**	0.0362	0,1821
<b>17. O-R-An</b>	234.1322	140	1.6724	1.2080	n.s.	0.0160	0,0805
<b>18. B-O-R-An</b>	969.0736	700	1.3844	1.0344	n.s.	0.0154	0,0775
<b>19. A en O en B-R-An</b>	2473.1356	1848	1.3383			1.3383	6,7340

## 8. Area de anillo de crecimiento

En el análisis de varianza para área de anillo de crecimiento o crecimiento anual en área basimétrica se observó que el efecto más importante es el Anillo (año), que se asocia a 90.34 por ciento de la variación en esta característica (Tabla 40). Otros efectos significativos fueron árboles y radios, pero apenas alcanzan a explicar respectivamente 1.815 y 1.507 por ciento de la variación total (ver Tabla 50, Anexo).

La interacción origen-anillo no fue significativa, lo cual indica que los orígenes presentan un mismo patrón de variación en el área de anillos en sentido radial (Gráfico 8).

Gráfico 8. Area de anillo de crecimiento



El área de anillos de crecimiento es una variable más adecuada que el crecimiento radial, a los efectos de comparar el comportamiento de individuos o grupos que crecen con patrones similares pero a partir de valores absolutos diferentes (Spurr y Hsuing, 1954). A modo de ejemplo, no sería válido comparar el crecimiento radial de Beauregard (La.) con el de Ashley (Ark.) en un año dado, puesto que 1 cm de ancho de anillo sobre un *dap* de 31.9 cm significa un mayor incremento en área basimétrica que el mismo ancho a partir de un *dap* de 27.9 cm.

Tabla 40. Análisis de varianza para área de anillo de crecimiento (0.1 mm<sup>2</sup>)

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	$\nu$	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>1. Bloques (B)</b>	3.3029 x 10 <sup>10</sup>	5	66.0576 x 10 <sup>8</sup>	3,3327 **	0.4670 x 10 <sup>7</sup>	0,132
<b>2. Orígenes (O)</b>	8.1494 x 10 <sup>10</sup>	10	81.4944 x 10 <sup>8</sup>	4,3073 **	1.1588 x 10 <sup>7</sup>	0,327
<b>3. B – O</b>	9.4600 x 10 <sup>10</sup>	50	18.9199 x 10 <sup>8</sup>	0,9545 n.s.	0	0,000
<b>4. Arboles en O en B</b>	26.1638 x 10 <sup>10</sup>	132	19.8211 x 10 <sup>8</sup>	38,4675 **	6.4353 x 10 <sup>7</sup>	1,815
<b>5. Radios (R)</b>	15.9507 x 10 <sup>10</sup>	1	1595.0719 x 10 <sup>8</sup>	46,8493 **	5.3434 x 10 <sup>7</sup>	1,507
<b>6. B – R</b>	1.7023 x 10 <sup>10</sup>	5	34.0468 x 10 <sup>8</sup>	5,6271 *	0.6774 x 10 <sup>7</sup>	0,191
<b>7. O – R</b>	1.1986 x 10 <sup>10</sup>	10	11.9857 x 10 <sup>8</sup>	1,4832 n.s.	0.1446 x 10 <sup>7</sup>	0,041
<b>8. B-O-R</b>	4.0404 x 10 <sup>10</sup>	50	8.0808 x 10 <sup>8</sup>	1,3356 n.s.	0.4512 x 10 <sup>7</sup>	0,127
<b>9. A en O en B – R</b>	7.9867 x 10 <sup>10</sup>	132	6.0505 x 10 <sup>8</sup>	11,7424 **	3.6901 x 10 <sup>7</sup>	1,041
<b>10. Anillos (An)</b>	162.0930 x 10 <sup>10</sup>	14	1157.8070 x 10 <sup>8</sup>	245,5675 **	320.33 x 10 <sup>7</sup>	90,339
<b>11. B-An</b>	3.3004 x 10 <sup>10</sup>	70	4.7148 x 10 <sup>8</sup>	3,6911 **	0.5208 x 10 <sup>7</sup>	0,147
<b>12. O-An</b>	2.9852 x 10 <sup>10</sup>	140	2.1323 x 10 <sup>8</sup>	1,3500 n.s.	0.9213 x 10 <sup>7</sup>	0,260
<b>13. B-O-An</b>	11.0567 x 10 <sup>10</sup>	700	1.5795 x 10 <sup>8</sup>	1,2366 *	0.5036 x 10 <sup>7</sup>	0,142
<b>14. A en O en B – An</b>	23.6055 x 10 <sup>10</sup>	1848	1.2773 x 10 <sup>8</sup>	2,4790 **	3.8104 x 10 <sup>7</sup>	1,075
<b>15. R-An</b>	4.3926 x 10 <sup>10</sup>	14	31.3759 x 10 <sup>8</sup>	19,1345 **	1.5018 x 10 <sup>7</sup>	0,424
<b>16. B-R-An</b>	1.1478 x 10 <sup>10</sup>	70	1,6398 x 10 <sup>8</sup>	3,1823 **	0.3408 x 10 <sup>7</sup>	0,096
<b>17. O-R-An</b>	1.1864 x 10 <sup>10</sup>	140	0.8474 x 10 <sup>8</sup>	1,5617 **	3.0480 x 10 <sup>7</sup>	0,860
<b>18. B-O-R-An</b>	3.7983 x 10 <sup>10</sup>	700	0.5426 x 10 <sup>8</sup>	1,0531 n.s.	0.0911 x 10 <sup>7</sup>	0,026
<b>19. A en O en B-R-An</b>	9.5222 x 10 <sup>10</sup>	1848	0.5153 x 10 <sup>8</sup>		5.1527 x 10 <sup>7</sup>	1,453

El estudio de áreas de anillo de crecimiento también permite establecer que la respuesta de los orígenes a tratamiento silvícola es similar en tendencia

Tabla 41 Area de anillo de crecimiento; promedios de orígenes

Origen		Area de anillo de crecimiento (mm <sup>2</sup> )	
8	Beauregard, La.	501.801	a
11	Polk, Tx.	495.931	a
7	Rapides, La.	489.157	ab
5	Winn, La.	485.636	ab
4	De Soto, La.	478.796	abc
9	Calcasieu, La.	470.183	abcd
10	Bastrop, Tx.	451.234	bcd
6	Natchitoches, La.	437.527	cd
3	Webster, La.	428.643	d
2	Ashley, Ark.	370.562	e
1	Pike, Ark.	369.709	e

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

## **B. VARIABLES ASOCIADAS A LA APTITUD DE USO DE LA MADERA**

### **1. Porcentaje o proporción de leño tardío**

Se analizaron los datos originales de proporción de leño tardío. Puesto que no se tenía certeza respecto a la distribución, fueron transformados ( $arc\ sin\ \sqrt{x}$ ); los valores fueron procesados nuevamente. Los componentes de varianza y su importancia relativa no cambiaron de modo sustancial entre datos originales y transformados (*cf.* Tabla 42 y Tabla 51 del Anexo; comparar Tabla 50 con Tabla 52).

Se observó que bloques, orígenes, árboles e interacción bloques – orígenes son efectos altamente significativos, que sin embargo explican porcentajes menores de la variación total (respectivamente 4.04, 1.37, 4.63 y 2.79 por ciento). Saucier y Taras (1969) y Zabala (1974, citado por Kraus, Wells y Sluder, 1984) no observaron diferencias importantes en porcentaje de leño tardío entre orígenes de *P. taeda*.

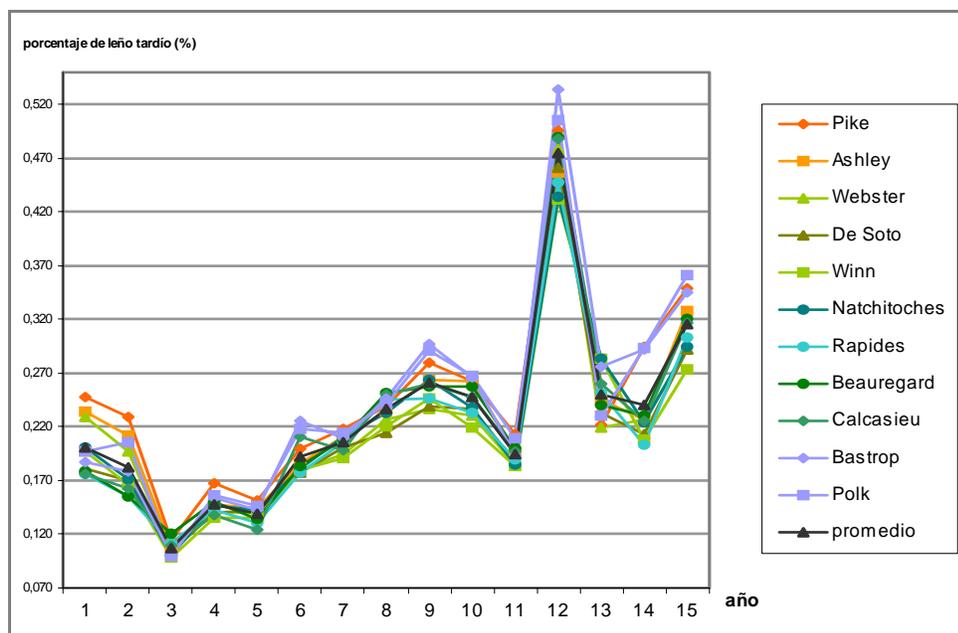
El efecto más importante en la variación de proporción de leño tardío fue Anillos, asociado a 49.66 por ciento de ésta.

Si se tomara porcentaje de leño tardío como criterio para definir la transición entre leños juvenil y adulto, adoptando 40 por ciento como valor umbral (Larson *et al.*, 2001), la transición entre ambos tipos de leño habría ocurrido en el anillo 12, a la edad de 14 años. Estas observaciones difieren de apreciaciones visuales sobre el mismo material, según las cuales se definiría el leño juvenil como la zona central que abarca los 7 a 9 anillos de crecimiento a la altura del pecho (*i.e.*, el leño formado hasta las edades de 9 a 11 años).

Tabla 42. Análisis de varianza para porcentaje de leño tardío; datos originales.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	$\nu$	Cuadrado medio	F		E{CM}	Componentes de varianza
<b>1. Bloques (B)</b>	29925.2050	5	5985.0410	26.1561	**	5.8144	4.04
<b>2. Orígenes (O)</b>	16589.0775	10	1658.9076	2.8094	**	1.9785	1.37
<b>3. B – O</b>	29524.5600	50	590.4912	2.5806	**	4.0186	2.79
<b>4. Arboles en O en B</b>	30204.2694	132	228.8202	7.9317	**	6.6657	4.63
<b>5. Radios (R)</b>	1005.2246	1	1005.2246	6.1426	n.s.	0.3174	0.22
<b>6. B - R</b>	818.2446	5	163.6489	3.8427	n.s.	0.2446	0.17
<b>7. O – R</b>	399.4497	10	39.9450	0.6401	n.s.	-0.1054	0
<b>8. B-O-R</b>	3120.3068	50	62.4061	1.4654	*	0.4404	0.31
<b>9. A en O en B – R</b>	5621.5169	132	42.5872	1.4762	**	0.9159	0.64
<b>10. Anillos (An)</b>	399038.6284	14	28502.7592	132.2232	**	71.4559	49.66
<b>11. B-An</b>	14434.5728	70	206.2082	3.4375	**	2.2155	1.54
<b>12. O-An</b>	21070.0510	140	150.5004	1.9857	**	2.0752	1.44
<b>13. B-O-An</b>	53055.5615	700	75.7937	1.2635	**	2.6344	1.83
<b>14. A en O en B - An</b>	110856.3618	1848	59.9872	2.0794	**	15.5693	10.82
<b>15. R-An</b>	2074.1080	14	148.1506	5.2129	**	0.6025	0.42
<b>16. B-R-An</b>	1989.4135	70	28.4202	0.9851	n.s.	-0.0130	0
<b>17. O-R-An</b>	4294.3630	140	30.6740	1.0670	n.s.	0.1014	0.07
<b>18. B-O-R-An</b>	20124.3268	700	28.7490	0.9965	n.s.	-0.0332	0
<b>19. A en O en B-R-An</b>	53312.2953	1848	28.8486			28.8486	20.05

Gráfico 9. Porcentaje de leño tardío; orígenes y promedio



Durante la estación de crecimiento 1980-81, a la edad 14 años, que corresponde al anillo 12 (Gráfico 9), los orígenes formaron porcentajes de leño tardío que en promedio oscilaron entre 43.1 (Winn, Louisiana) y 53.4 por ciento (Bastrop, Texas “Lost Pines”), mayores a 40 por ciento. En los siguientes anillos de crecimiento, se calcularon valores medios de orígenes inferiores, entre 20.3 y 36.1 por ciento. La reducción en la proporción de leño tardío, en contradicción con el patrón de variación radial esperado, que supone un incremento con la edad, se explicaría por las condiciones de extrema sequía que ocurrieron durante las estaciones de crecimiento siguientes. Ello habría modificado (Fritts, 1966) el patrón de variación de crecimiento radial y porcentaje de leño tardío, en respuesta a las condiciones ambientales que afectaron el desarrollo de cada individuo.

## 2. Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho o infradensidad

Entre los efectos que resultaron significativos en la variación de densidad básica a la altura del pecho (*cf.* Tabla 44), los cuatro más importantes fueron secciones, orígenes, árboles y la interacción orígenes-radios-secciones, asociados respectivamente a 23.93, 18.73, 17.65 y 12.91 por ciento de la variación total.

Estos resultados sugieren que es posible mejorar la densidad básica de la madera mediante la selección de los individuos de mejor comportamiento dentro de los orígenes con  $d_{0,g}$  promedio más favorable.

Las secciones, cada una con tres anillos de crecimiento, difieren significativamente en densidad básica media (Tabla 43); la tendencia general es a un incremento en  $d_{0,g}$  desde la médula hasta el *cambium*, que concuerda con la observada por varios autores citados por Goggans (1961). Sería necesario realizar nuevos muestreos para establecer la variación en densidad básica dentro del leño adulto a una edad mayor a 18 años.

Tabla 43 Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho; promedios de secciones apareadas

Par	Secciones	Anillos de crecimiento	Densidad básica a la altura del pecho ( $\text{kg/m}^3$ )
4	2 y 9	10 a 12	418.146 a
5	1 y 10	13 a 15	406.607 b
3	3 y 8	7 a 9	403.264 b
2	4 y 7	4 a 6	370.295 c
1	5 y 6	1 a 3	357.634 d

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

Tabla 44. Análisis de varianza para densidad básica a la altura del pecho

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	$\nu$	Cuadrado medio	F		E{CM}	Componentes de varianza
1. Bloques (B)	170990.7594	5	34198.1519	6,907677	**	88.6285	3.31
2. Orígenes (O)	200736.9573	10	20073.6927	4,054680	**	503.0321	18.79
3. B – O	265127.7409	50	5302.5548	1,071062	n.s.	1.0661	0.04
4. Árboles en O en B	653498.4773	132	4950.7460	21,915294	**	472.4842	17.65
5. Radios (R)	39042.6966	1	39042.6966	27,750565	**	37.2632	1.37
6. B - R	7034.5769	5	1406.9154	2,739856	n.s.	9.9268	0.37
7. O – R	9060.9688	10	906.0969	1,555117	n.s.	3.5938	0.13
8. B-O-R	29132.7654	50	582.6553	1,134675	n.s.	4.6104	0.17
9. A en O en B – R	67781.9572	132	513.4997	2,273091	**	57.5192	2.15
10. Secciones (S)	1034834.0127	4	258708.5032	51,446071	**	640.6055	23.93
11. B-S	100574.6390	20	5028.7320	9,164818	**	67.8793	2.54
12. O-S	43383.0943	40	1084.5774	1,357095	n.s.	7.9274	0.30
13. B-O-S	159838.0726	200	799.1904	1,456517	**	41.7485	1.56
14. A en O en B- S	289713.3694	1848	548.6996	2,428909	**	161.3980	6.03
15. R-S	3884.3743	14	971.0936	2,537263	**	2.9715	0.11
16. B-R-S	7654.6554	70	382.7328	1,694230	**	4.7524	0.18
17. O-R-S	14296.8422	140	357.4211	1,656910	**	345.4369	12.91
18. B-O-R-S	43143.0987	700	215.7155	0,954900	n.s.	-3.3961	0
19. A en O en B-R-S	119277.1493	1848	225.9037			225.9037	8.44

Es posible que el descenso en los valores de  $d_{0,g}$  en las secciones 1 y 10, correspondientes a edades 13 a 15 años se relacione con las condiciones ambientales durante las respectivas estaciones de crecimiento, como se indicó respecto a proporción de leño tardío, *i.e.* que la proporción de material leñoso por unidad de volumen sea menor (Fritts, 1966) cuando las condiciones son restrictivas para la producción de fotosintatos.

Por otra parte, la variación en densidad básica en las secciones periféricas es acorde a la variación en proporción de leño tardío. Puesto que la  $G_e$  en el leño temprano se mantiene constante o disminuye desde la médula hacia el *cambium*, en tanto que aumenta en el leño tardío, el descenso en la proporción de leño tardío en los tres últimos anillos de crecimiento explicaría el descenso en  $d_{0,g}$  observado en las secciones 1 y 10.

Si se adopta la variación en densidad básica como criterio para definir la transición leño juvenil - leño adulto, ésta se ubicaría en las secciones 2 y 9, correspondientes a los anillos 10 a 12 (edades 12 a 14 años).

Tabla 45. Densidad básica ( $d_{0,g}$ ) a la altura del pecho; promedios de orígenes

Origen		Densidad básica a la altura del pecho ( $\text{kg/m}^3$ )
10	Bastrop, Tx.	405.838 a
2	Ashley, Ark.	405.787 a
3	Webster, La.	403.374 a
1	Pike, Ark.	395.108 b
7	Rapides, La.	390.987 bc
6	Natchitoches, La.	390.501 bc
8	Beauregard, La.	386.656 cd
11	Polk, Tx.	385.563 cd
4	De Soto, La.	384.118 cd
5	Winn, La.	381.489 d
9	Calcasieu, La.	373.658 e

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

En la Tabla 45 aparecen los valores de  $d_{0,g}$  media por origen. En términos generales, la variación de densidad básica en relación a ubicación geográfica de los orígenes parece seguir patrones similares a los descritos por Jackson y Strickland (1962) en Georgia y

por Shelbourne (1971) en Nueva Zelandia, *i.e.* la  $G_e$  aumenta de Este a Oeste y desde los orígenes costeros hacia aquellos de zonas continentales, si bien ocurren excepciones.

La comparación de estos resultados con los de Burmidad y Grinwald (1988, *cf.* Tabla 11) merece algunas observaciones previas, por un lado respecto a los árboles sobre los que se realizó el muestreo para determinar  $d_{0,g}$  y por otro en relación al propio muestreo. Los valores promedio del trabajo anterior provienen de muestreos en todo el fuste sobre árboles retirados en el raleo de 1985, en tanto que aquí se presentan valores estimados a la altura del pecho sobre los individuos que quedaron en pie en dicho raleo. Entonces, la divergencia entre densidades básicas promedio de los mismos orígenes en uno y otro trabajo podría asociarse tanto a la variación entre individuos como a los métodos de muestreo utilizados.

### C. Materia seca total individual

El análisis de varianza de materia seca total individual mostró que sólo orígenes tuvo un efecto altamente significativo y explica 12.71 por ciento de la variación en esta característica (*cf.* Tabla 46).

Tabla 46. Análisis de varianza para materia seca total individual (kg)

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	E{CM}	Componentes de varianza
<b>Bloques (B)</b>	12409,1	5	2481,82	0,9605 n.s.	-3,0892	0%
<b>Orígenes (O)</b>	97448,4	10	9744,84	3,4898 **	386,2467	12,71%
<b>Interacción B-O</b>	139620,0	50	2792,40	1,0807 n.s.	69,5450	2,29%
<b>Arboles en B en O</b>	341056,97	132	2583,76		2583,7649	85,00%
<b>TOTAL</b>		197			3039,5566	100,0%

En

la

Tabla 48 se enumeran valores promedios de materia seca total de orígenes en orden decreciente; puesto que la interacción bloque-origen no resultó significativa, este orden será el mismo para los seis bloques.

El Gráfico 10 muestra valores de materia seca total individual promedio de orígenes.

Tabla 47. Materia seca total individual; promedios de orígenes

<b>Origen</b>		<b>Materia seca (kg/árbol)</b>	
<b>8</b>	<b>Beauregard, La.</b>	261,434	a
<b>9</b>	<b>Calcasieu, La.</b>	261,177	a
<b>4</b>	<b>De Soto, La.</b>	253,726	a
<b>5</b>	<b>Winn, La.</b>	251,710	a
<b>7</b>	<b>Rapides, La.</b>	236,053	ab
<b>3</b>	<b>Webster, La.</b>	225,646	ab
<b>10</b>	<b>Bastrop, Tx.</b>	219,258	ab
<b>6</b>	<b>Natchitoches, La.</b>	215,144	ab
<b>2</b>	<b>Ashley, Ark.</b>	213,549	ab
<b>11</b>	<b>Polk, Tx.</b>	212,625	ab
<b>1</b>	<b>Pike, Ark.</b>	191,682	b

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

Gráfico 10. Materia seca total individual (kg materia seca/árbol).

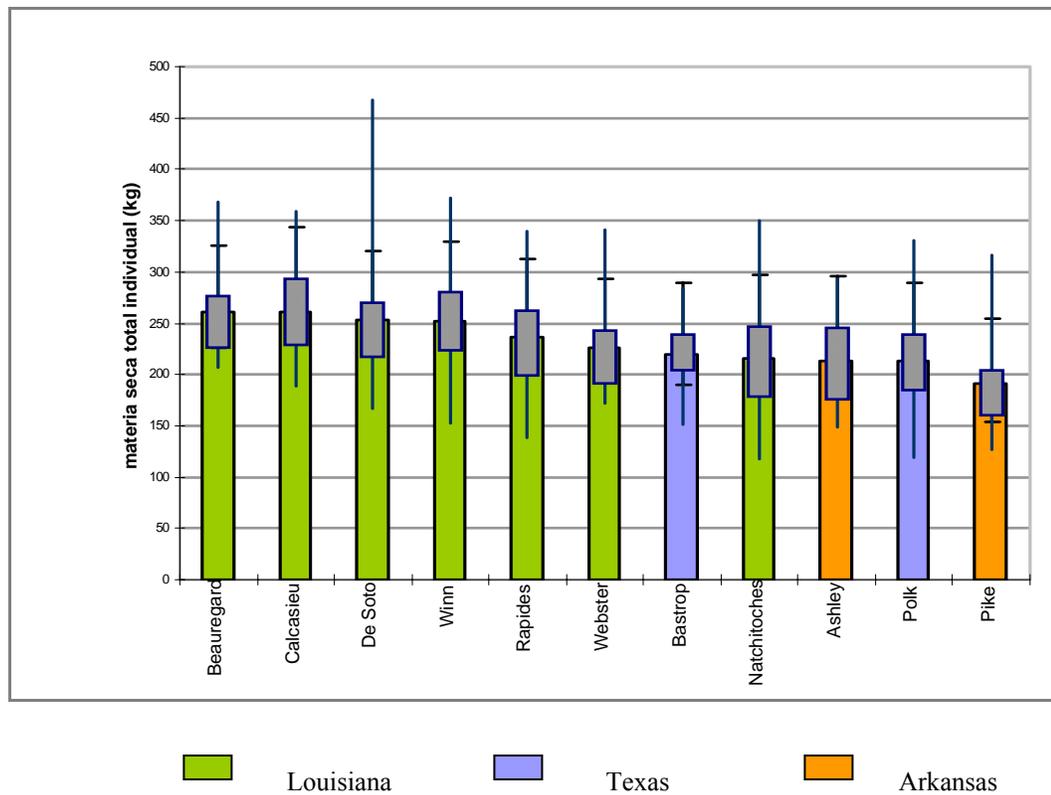


Tabla 48 Materia seca total individual; promedios de orígenes

Origen		Materia seca total individual (kg)	
8	Beauregard, La.	261,434	a
9	Calcasieu, La.	261,177	a
4	De Soto, La.	253,726	a
5	Winn, La.	251,71	ab
7	Rapides, La.	236,053	ab
3	Webster, La.	225,646	ab
10	Bastrop, Tx.	219,258	ab
6	Natchitoches, La.	215,144	ab
2	Ashley, Ark.	213,549	ab
11	Polk, Tx.	212,625	ab
1	Pike, Ark.	191,682	b

Las medias seguidas por la misma letra no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza del 99%

## V. CONCLUSIONES

Si bien el diámetro a la altura del pecho es una característica de baja heredabilidad (Dorman y Zobel, 1973; Matziris y Zobel, 1973), sería factible mejorar *dap* sin corteza mediante la selección de los mejores individuos. Lo mismo podría afirmarse respecto a área basimétrica individual

A los efectos de estimar proporción de corteza o porcentaje de corteza, la medición de espesor de corteza puede realizarse sobre un único punto a la altura del pecho. Se podría mejorar esta característica seleccionando aquellos individuos que presenten menores valores entre orígenes y/o árboles que presenten mejor comportamiento en otras características.

Es posible seleccionar individuos para mejorar el crecimiento en altura total. La interacción significativa entre los efectos de bloques y orígenes sugiere que en dicho proceso debería considerarse para qué sitios se seleccionan orígenes. Dos de los orígenes Calcasieu y Winn, parecen comportarse como muy estables, en tanto que el origen Polk presenta mejor comportamiento en sitios menos favorables para el resto.

La mayor parte de la variación en ancho de anillos de crecimiento o crecimiento radial se asocia al efecto año (*i.e.*, número de anillo). El patrón de ancho de anillos, que refleja el efecto de condiciones ambientales y de tratamiento silvícola, es muy similar entre orígenes. No obstante, los individuos muestran patrones diferenciales en crecimiento radial.

El efecto mas importante en la variación de proporción de leño tardío es el anillo (año). De modo similar, el efectos principal en la variación de densidad básica es la edad de formación del leño (secciones), pero los orígenes y los individuos son también efectos importantes. A los efectos de mejorar la calidad de la madera, la densidad básica parece ser preferible respecto al porcentaje de leño tardío.

Si se adopta densidad básica como criterio para definir la transición leño juvenil - leño adulto, ésta se ubicaría entre edades de 12 a 15 años. Si la transición se definiera según proporción de leño tardío, considerando como valor umbral 0.40, podría ubicarse en promedio a la edad de 14 años.

Debido a la variación observada, en la cual predomina el efecto anillo, el porcentaje de leño tardío, el crecimiento radial (ancho de anillo) y el área de anillo de crecimiento no son características que se presten fácilmente a la mejora por selección de orígenes o individuos de comportamiento superior. No es factible la mejora por selección de factor de forma Pressler-Bitterlich.

Es posible mejorar diámetro a la altura del pecho sin corteza, espesor o proporción de corteza, área basimétrica sin corteza, altura total, volumen individual con corteza, densidad básica a la altura del pecho y producción en materia seca mediante la selección de los individuos de mejor comportamiento.

## VI. RESUMEN

Se evaluó un ensayo de orígenes de *Pinus taeda*, de la zona occidental del área de distribución natural, en la Estación Experimental Bañado Medina, Cerro Largo, a la edad de 18 años.

De los once orígenes, dos procedían de Arkansas (Ashley, Pike), siete de Louisiana (Webster, De Soto, Winn, Natchitoches, Beauregard, Calcasieu, Rapides) y dos de Texas (Bastrop, Polk).

Las variables evaluadas fueron diámetro a la altura del pecho sin corteza, área basimétrica individual sin corteza, proporción de corteza, factor de forma Pressler-Bitterlich, altura total, crecimiento radial, área de anillo de crecimiento, proporción de leño tardío, densidad básica y materia seca individual.

No es factible la mejora de factor de forma Pressler-Bitterlich mediante selección de orígenes o individuos de comportamiento superior. Crecimiento radial, área de anillo de crecimiento y proporción de leño tardío tampoco se prestan fácilmente a la mejora por selección. Es en cambio factible mejorar diámetro a la altura del pecho sin corteza, área basimétrica individual sin corteza, proporción de corteza, densidad básica y materia seca individual.

Se estimó la edad de transición leño juvenil - leño adulto entre 12 y 15 años o bien a los 14 años, según densidad básica a la altura del pecho y porcentaje de leño tardío (valor umbral 40%), respectivamente.

*Palabras clave:* *Pinus taeda*, ensayos de orígenes, anillos de crecimiento, porcentaje de leño tardío, densidad básica.

### **SUMMARY**

A *Pinus taeda* provenance trial, planted at Bañado Medina Experiment Station, which included seed sources West of the Mississippi River was assessed at age 18 years.

Of these eleven provenances, two were from Arkansas (Ashley, Pike), seven from Louisiana (Webster, De Soto, Winn, Natchitoches, Beauregard, Calcasieu, Rapides) and two from Texas (Bastrop, Polk).

Variables assessed were diameter breast height *u.b.*, individual basal area *u.b.*, bark proportion, Pressler-Bitterlich form factor, total height, radial increment, growth ring area, latewood percent, wood basic density and individual dry matter.

Breeding through selection of provenances or individuals for Pressler-Bitterlich form factor would not be feasible. Selection for radial increment, growth ring area and latewood percent were deemed as unlikely feats. Selection of individual trees with better values for breeding purposes would be practicable in the case of diameter breast height *u.b.*, basal area *u.b.*, bark proportion, total height, basic density and dry matter.

Juvenile – adult wood transition ages were estimated as within the 12 to 15 year-range or at 14 years, considering basic density at breast height and latewood percent (threshold value 40 per cent) respectively.

*Key words:* *Pinus taeda*, provenance trials, growth rings, latewood percent, basic density.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. BALDANZI, G. 1978. Experimentação com *Pinus taeda* na Estação de Pesquisas Florestais de Rio Negro, Paraná. FLORESTA 9 (1):5-7.
2. BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B.; TAMEZAWA, J. y BRITO, J.O. 1975. Variação da densidade básica e composição química de madeiras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em função da idade. O PAPEL. Año XXXVI Nov. 110-112.
3. BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; SPELTZ, R.M.; BONISH, H.J.; BRITO, J.O. y FERREIRA, M. 1977. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. IPEF Nº. 15. p 1-14.
4. BANNISTER, H. y VINE, M.H. An early progeny trial in *Pinus radiata*. 4. Wood Density. New Zealand Journal of Forestry Science 11 (3):221-243.
5. BARBOSA, O. Anéis de crescimento. Seminário apresentado no Curso "Temas de Botânica Aplicada", ministrado no Departamento de Botânica da U.S.P."
6. BAREFOOT, A.C.; HITCHINGS, R.G.; ELWOOD, E.L. y WILSON, E.H. 1970. The relationship between loblolly pine fiber and Kraft paper properties. North Carolina Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin Nº 202. 88 p.
7. BENDTSEN, B.A. y ETHINGTON, R.L. 1972. Properties of major southern pines: Part II. Structural properties and specific gravity. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 177. 10 p.
8. BENDTSEN, B. A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. Forest Products Journal 28 (10):61-72.
9. BIDEGAIN G., M.C.; FRADL S., C. y TORRES E., T. 1984. Estudio de rendimiento final de un ensayo de orígenes de *Pinus taeda* con manejo técnico. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 98p.
10. BLAIR, R.L.; ZOBEL, B.J. y BARKER, J.A. 1975. Predictions of gain in pulp yield and tear strength in young loblolly pine through genetic increases in wood density. Tappi 58 (1):89-91.
11. BROWN, C.L. y KLEIN, J. 1961. Observations on inheritance of wood specific gravity in seedling progeny of loblolly pine. J. Forestry 59:898-899.
12. van BUIJTENEN, J.P. 1966. Testing loblolly pines for drought resistance. Texas Forest Service. Texas A y M University System. Tech. Report Nº 13. 15 pp.

13. van BUIJTENEN, J.P.; ALEXANDER, S.D.; EINSPAHR, D.W.; FERRIE, A.E.; HART, T.; KELLOGG, R.M.; PORTERFIELD, R.L. y ZOBEL, B.J. 1975. How will tree improvement and intensive forestry affect pulp manufacture? *Tappi* 58 (9):129-134.
14. BURLEY, J. y WOOD, P.J. 1976. A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. University of Oxford. Commonwealth Forestry Institute. Department of Forestry. Tropical Forestry Papers. N° 10. pp. 168-171.
15. BURMIDAD P., E. y GRINWALD C., R. 1988. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de un ensayo de orígenes de *Pinus taeda* L. en la Estación Experimental de Cerro Largo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 430 p.
16. COLE, D.E.; ZOBEL, B.J. y ROBERDS, J.H. 1965. Slash, loblolly and longleaf pine in a mixed stand; a comparison of their wood properties. *In* Southern Conference on Forest Tree Improvement, 8th, Savannah, Georgia, 1965. Proceedings. USDA For. Serv. SEFES-Georgia Forest Research Council. Macon, Georgia. pp. 136-141.
17. COLE, D.E. 1975. Comparisons within and between populations of planted slash and loblolly pine. Georgia Forest Research Paper N° 81. 13 p.
18. CROW, A.B. 1956. Early effects of geographic seed source of planted loblolly pine. Louisiana State University. School of Forestry. LSU Forestry Notes. N° 7. 2 p.
19. CROW, A.B. 1958. Fourth-year results from a local geographic seed source test on planted loblolly pine. Louisiana State University. School of Forestry. LSU Forestry Notes. N° 21. 2 p.
20. CROW, A.B. 1961. Seventh-year results from a local geographic seed source test on planted loblolly pine in southern Louisiana. Louisiana State University. School of Forestry and Wildlife Management. LSU Forestry Notes. N° 46. 2 p.
21. CROW, A.B. y HANSBROUGH, T. 1970. Ten-year results from a local geographic seed source study in northwestern Louisiana. Louisiana State University. School of Forestry and Wildlife Management. LSU Forestry Notes. N° 94. 4 p.
22. CROW, A.B.; CLASON, T.R. y BURNS, P.Y. 1977 Performance of different geographic seed sources of loblolly pine in northwestern Louisiana. Louisiana State University. School of Forestry and Wildlife Management. LSU Forestry Notes. N° 121. 4 p.

23. DORMAN, K.W. y ZOBEL, B.J. 1973. Genetics of loblolly pine. USDA Forest Service. Society of American Foresters. USDA For. Serv. Research Paper WO-19. 21 p.
24. DORMAN, K.W. 1976. The genetics and breeding of Southern Pines U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook N° 471. 407 p.
25. EINSPAHR, D.W.; PECKHAM, J.R. y MATHES, M.C. 1964. Base lines for judging wood quality of loblolly pine. Forest Science 10 (2):165-173.
26. EINSPAHR, D.W.; van BUIJTENEN, J.P. y PECKHAM, J.R. 1969. Pulping characteristics of ten-year loblolly pine selected for extreme wood specific gravity. Silvae Genetica 18 (3):57-61.
27. FALKENHAGEN, E.R. 1978. Thirty-five-year results from seven *Pinus elliottii* (Engelman.) and *Pinus taeda* (L.) provenance trials in South Africa. South African Forestry Journal. N° 107. pp. 22-36.
28. FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M. y BARRICHELO, L.E.G. 1971. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. IPEF N° 2/3. pp. 65-74.
29. FOELKEL, C.E.B. 1976. Celulose Kraft de *Pinus* spp. O PAPEL. Año XXXVII. Enero. 49-67.
30. FRITTS, H.C. 1966. Growth-rings of trees: their correlation with climate. Patterns of ring widths in trees in semiarid sites depend on climate-controlled physiological factors. Science 154: 973-979.
31. GILMORE, A.R.; METCALF, C.E. y BOGGESS, W.R. 1961. Specific gravity of shortleaf pine and loblolly pine in southern Illinois. J. Forestry 59 (12): 894-896.
32. GOGGANS, J.F. 1961. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. North Carolina State College. School of Forestry. Tech. Report N° 11. 56 p.
33. GRIGSBY, H.C. 1973. South Carolina best of 36 loblolly pine seed sources for southern Arkansas. U.S. Department of Agriculture. Forest Service Research Paper SO-89. 10 p.

34. GUTH, E.B. de 1970. Variación de caracteres físicos y químicos en especies subtropicales de *Pinus* en localidades del Norte Argentino. I. Densidad y morfología de las traqueidas. Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. IDIA Suplemento Forestal. N° 6. pp. 33-40.
35. HIGA, A.R.; KAGEYAMA, P.Y. y FERREIRA, M. 1973. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliottii* var. *elliottii* e *P. taeda*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. IPEF N° 7. 79-91.
36. IFJU, G. y LABOSKY, P. Jr. 1972. A study of loblolly pine growth increments. Part I. Wood and tracheid characteristics. *Tappi* 55 (4):524-529.
37. JETT, J.B. y TALBERT, J.T. 1982. Place of wood specific gravity in the development of advanced-generation seed orchards and breeding programs. *Southern Journal of Applied Forestry* 6 (3):177-180.
38. JACKSON, L.W.R. y STRICKLAND, R. K. 1962. Geographic variation in tracheid length and wood density of loblolly pine. Georgia Forest Research Council. Georgia Forest Research Paper N° 8. 4 p.
39. JACKSON, L.W.R. y WARREN, B.J. 1962. Variation and inheritance in specific gravity of slash pine and loblolly pine progeny. Georgia Forest Research Council. Georgia Forest Research Paper N° 14. 4 p.
40. KELLISON, R.C. y WEIR, R.J. 1980. How forest genetics is helping grow better trees for tomorrow. *Tappi* 63 (2):57-61.
41. KENNEDY, H.E., Jr. y CROW, A.B. 1969. Effects of geographic seed source on the form of planted loblolly pine in Louisiana. Louisiana State University. School of Forestry and Wildlife Management. LSU Forestry Notes. N° 83. 2 p.
42. KNIGGE, W. y KOLTZENBURG, C. 1963. A method for determining the boundary between springwood and summerwood in the Annual Rings of Conifers using a Particle-Size Analyser. In Wood Quality Working Group of the IUFRO. Section 41, in Madison, USA, on Sept. 11-13, 10 p.
43. KOCH, P. 1972. Utilization of the Southern pines. U.S. Department of Agriculture. Forest Service Southern Forest Experiment Station. Agriculture Handbook N° 420 VI. The Raw Material. 734 p.
44. KRALL, J.P. 1970. Adaptabilidad de coníferas de Norteamérica plantadas en el Uruguay y su susceptibilidad a insectos y enfermedades. Informe Final del Proyecto realizado bajo Convenio entre la Facultad de Agronomía y el Departamento de Agricultura de los EEUU de América. Bol. Dep. For., Montevideo, 164 -13.

45. KRAUS, J.F. 1967. A study of racial variation in loblolly pine in Georgia. Tenth-year results. *In* Southern Conference on Forest Tree Improvement, 9th, Knoxville, Tennessee, 1967. Proceedings. Eastern Tree Seed Laboratory Box 1077, Macon, Georgia. pp. 78 - 85.
46. KRAUS, J.F.; WELLS, O.O. y SLUDER, E.R. 1984. Review of provenance variation in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in the Southern United States. *In* Provenance and genetic improvement strategies in tropical forest trees. Mutare, Zimbabwe. April, 1984. (Eds. Barnes, R.D. y Gibson, G.L.) Commonwealth Forestry Institute, Oxford and Forest Research Centre, Harare. pp. 281 - 317.
47. LABOSKY, P. Jr. y IFJU, G. 1972. A study of loblolly pine growth increments. Part II Pulp yield and related properties. *Tappi* 55 (4):530-534.
48. LANTZ, C.W. y HOFMANN, J.G. 1969. Geographic variation in growth and wood quality of loblolly pine in North Carolina. *In* Southern Conference on forest Tree Improvement, 10th, Houston, Texas, 1969. Proceedings. Houston, A y M University, pp 175-188.
49. LEMOINE, T.J. y KOCH, P. 1971. Steam-bending properties of Southern Pine. *Forest Products Journal* 21 (4): 34-42.
50. LOETSCH, F., ZÖHRER, F. y HALLER, K.E. 1973. Forest inventory. Volume II. trad. Panzer, K. F. München, BLV Verlagsgesellschaft. 469 p.
51. MATZIRIS, D.I. y ZOBEL, B.J. 1973. Inheritance and correlations of juvenile characteristics in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Silvae Genetica* 22 (1-2):38-45.
52. MERGEN, F.; BURLEY, J. y FURNIVAL, G.M. 1974. Provenance-temperature interactions in four coniferous species. *Silvae Genetica* 23 (6) 200-210.
53. MOTHE, F. 1983. Etude de la variabilité génétique inter et intra populations, de la qualité du bois et de la croissance chez l'épicea commun. Contribution a la détermination d'une stratégie d'amélioration en vue de produire rapidement du bois aux propriétés mécaniques élevées. "Tesis" Diplôme D'Etudes Approfondies en France. INRA. Centre National de Recherches Forestières. Station de Recherches sur la Qualité du Bois. pp 20-21, 23.
54. MOURA, V. P. G.; DVORAK, W. S. y NOGUEIRA, M. V. P. 1998. Variação da densidade básica da madeira, volume e matéria seca do tronco de *Pinus tecunumanii*, procedência de Mount Pine Ridge, Belize, em Planaltina, Distrito Federal, Brasil. *Scientia Forestalis*. Nº 53, pp. 7 - 14.
55. MÜLLIN, L.J.; BARNES, R.D. y PREVÔST, M.J. 1978. A review of the Southern pines in Rhodesia. The Rhodesia Forestry Commission. Rhodesia Bulletin of Forestry Research. Nº 7. 328 pp.

56. PAUL, B. H. 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Technical Bulletin 1288. 97 pp.
57. PLUMPTRE, R.A. 1978. Some wood properties of *Pinus patula* (Schiede and Deppe) from Uganda and techniques developed in studying them. University of Oxford. Commonwealth Forestry Institute. Department of Forestry. C.F.I. Occasional Papers. N° 4. 55 p.
58. POLGE, H. 1964. Le bois juvénile des conifères. Revue Forestière Française N° 6 474-505.
59. POSEY, C.E. 1964. Effects of fertilization upon wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). North Carolina State College. School of Forestry. Forest Tree Improvement Program. Technical Report N° 22. 62 p.
60. ROLIM, M.B. y FERREIRA, M. 1974. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Kuntze em função dos anéis de crescimento. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. IPEF N° 9. 47-55.
61. SAUCIER, J.R. y TARAS, M.A. 1967. Wood density and percent summer-wood variation among nine loblolly pine seed sources grown in Alabama. In Southern Conference on Forest Tree Improvement, 9th, Knoxville, Tennessee, 1967. Proceedings. Eastern Tree Seed Laboratory, Box 1077, Macon, Georgia, pp. 115-119.
62. SAUCIER, J.R. y TARAS, M.A. 1969. Regional variation in specific gravity of seven pines in the southern United States. U.S. Department of Agriculture. Forest Service Research Paper SE-45. 16 pp.
63. SAYAGUES, L.L. y SIMON, L.R. 1983. Evaluación de progenies de individuos de distintos orígenes de *Pinus taeda* L. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 121 p.
64. SCHMIDT, J.D.K. y HORTON, I.F. A study of the relationship between width of growth ring and percentage of latewood in suppressed stems of plantation-grown *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* and *Pinus taeda* L.. Queensland Forest Service. Laboratory Report Project Q.T.P. 2-2 Experiment N° 1. 8 p.
65. SESBOU, A. 1981. Etude de la variabilité génétique de la qualité du bois et du collapse chez *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Tesis de Docteur-Ingenieur. Nancy, France. Université de Nancy. U.E.R. Physique-Chimie-Biologie. 145 p.

66. SHELBOURNE, C.J.A. 1971. Provenance variation in growth rate and other characters in 13-year-old loblolly pine (*P. taeda* L.) in New Zealand. New Zealand Forest Service. Forest Research Institute. Production forestry Branch. Genetics y Tree Improvement Report N° 54. ODC 165. 15 p.
67. SHELBOURNE, C.J.A. 1984. Choosing the best provenance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) for New Zealand. New Zealand Forest Service. Forest Research Institute. Production Forestry Division. Project N° GTI 11. Project Record 510. 13 p.
68. van der SIJDE, H.A. 1976. Wood density and growth rate of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* clones planted on two sites in the Eastern Transvaal. South African Forestry Journal N° 98: 48-51.
69. van der SIJDE, H.A. 1979. Wood density assessment of selected trees from breast height samples. South African Forestry Journal N° 108: 42-43.
70. SLUDER, E.R. 1980. A study of geographic variation in loblolly pine in Georgia--20th-year results. United States Department of Agriculture. Southeastern Forest Experiment Station. Forest Service Research Paper SE-213. 26 p.
71. SPRAGUE, J.R.; TALBERT, J.T.; JETT, J.B. y BRYANT, R.L. 1983. Utility of the Pilodyn in selection for mature wood specific gravity in loblolly pine. Forest Science 29(4): 696-701.
72. SPURR, S.H. y HSUING, W. 1954. Growth rate and specific gravity in conifers. Journal of Forestry 52 (3): 191-200.
73. STONECYPHER, R.; CECH, F.C. y ZOBEL, B.J. 1964. Inheritance of specific gravity in two and three-year-old seedlings of loblolly pine. Tappi 47 (7):405-407.
74. STYLES, B.T. 1976. The base population. In Burley, J. y Wood, P.J.. A manual on species and provenance research with particular reference to the tropics. Department of Forestry. Commonwealth Forestry Institute. University of Oxford. Tropical Forestry Papers N° 10. pp. 15-25.
75. TALBERT, J.T.; JETT, J.B. y BRYANT, R.L. 1983. Inheritance of wood specific gravity in an unimproved loblolly pine population: 20 years of results. Silvae Genetica, 32 (1-2):33-37.
76. THOR, E. y BROWN, S.J. 1962. Variation among six loblolly pine provenances tested in Tennessee. Journal of Forestry 60 (7):476-480.
77. THOR, E. 1967. A ten-year-old loblolly pine seed source test in Tennessee. Journal of Forestry 65 (5):326-327.

78. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1965. Agricultural Research Service. Plant Quarantine Division. Phytosanitary Export Certificate N° 395996. Washington, D.C.
79. UPRICHARD, J.M. 1970. Pulp from New Zealand grown *Pinus patula* and *P. taeda*. *Appita* 24 (1):52-59.
80. UPRICHARD, J.M. y GRAY, J.T. 1970. Pulping of coniferous species. New Zealand Research Institute. Report (*s.p.*).
81. WAHLGREN, H.E. y SCHUMANN, D.R. 1972. Properties of major Southern pines: Part I- Wood density survey. USDA Forest Service. USDA For. Serv. Research Paper FPL 176. 58 p.
82. WAHLGREN, H.E. y SCHUMANN, D.R. 1975. Properties of major Southern pines: Part I- Wood Density Survey. USDA Forest Service. USDA For. Serv. Research Paper FPL 176. 57 p.
83. WAKELEY, P.C. y BERCAW, T.E. 1965. Loblolly pine provenance test at age 35. *Journal of Forestry* 63 (3):168-174.
84. WELLS, O.O. y WAKELEY, P.C. 1966. Geographic variation in survival, growth and fusiform-rust infection of planted loblolly pine. Society of American Foresters. Forest Science Monograph N° 11. 40 p.
85. WELLS, O.O. 1969. Results of the Southwide Pine Seed Source Study through 1968-69. *In* Southern Conference on Forest Tree Improvement, 10th., Houston, Texas, 1969. Proceedings. Houston, Texas A y M University, pp. 117-129.
86. WELLS, O.O. 1983. Southwide Pine Seed Source Study-- loblolly pine at 25 years. *Southern Journal of Applied Forestry* 7 (2):63-71.
87. WELLS, O.O. y LAMBETH, C.C. 1983. Loblolly pine provenance test in southern Arkansas. 25th year results. *Southern Journal of Applied Forestry* 7 (2):71-75.
88. WRIGHT, J.W. 1976. Introduction to Forest Genetics. 1ª ed. New York, New York. Academic Press, Inc.. 463 p.
89. YOUNG, H.E. 1952. Differential time of change from earlywood to latewood along the bole of young loblolly pine trees. *Journal of Forestry* 50 (8):614-615.
90. ZOBEL, B.J.; THORBJORNSSEN, E. y HENSON, F. 1960. Geographic, site and individual tree variation in wood properties of loblolly pine. *Silvae Genetica* 9 (6):149-158.
91. ZOBEL, B.J. 1961. Inheritance of wood properties in conifers. *Silvae Genetica* 10 (3):65-70.

92. ZOBEL, B.J. 1964. Breeding for wood properties in forest trees. *Unasylva* 73 (4):89-103.
93. ZOBEL, B.J.; KELLISON, R. y MATTHIAS, M. 1969. Genetic improvement in forest trees-- growth rate and wood characteristics in young loblolly pine. *In* Southern Conference on Forest Tree Improvement, 10th., Houston, Texas, 1969. Proceedings. Houston, A y M University, pp. 59-75.
94. ZOBEL, B.J.; ROBERDS, J.H. y RALSTON, J. 1969. Dry wood weight yields of loblolly pine. *Journal of Forestry* 67 (11):822-824.
95. ZOBEL, B.J. 1970. Developing trees in the southeastern United States with wood qualities most desirable for paper. *Tappi* 53 (12): 2320-2325.
96. ZOBEL, B.J. 1974. Increasing productivity of forest lands through better trees. University of California. School of Forestry and Conservation, Berkeley. The S. J. Hall lectureship on Industrial Forestry. 19 p.
97. ZOBEL, B.J.; JETT, J.B. y HUTTO, R. 1978. Improving wood density of short-rotation Southern pine. *Tappi* 61 (3):41-44.

## VIII. ANEXO

### A. COMPONENTES DE VARIANZA

Tabla 49. Componentes de varianza; área de anillo de crecimiento.

Fuente de variación	Componentes de varianza	%	% acumulado
<b>10. Anillos (An)</b>	320.33 x 10 <sup>7</sup>	90,339	90,339
<b>4. Arboles en O en B</b>	6.4353 x 10 <sup>7</sup>	1,815	92,154
<b>5. Radios (R)</b>	5.3434 x 10 <sup>7</sup>	1,507	93,661
<b>19. A en O en B-R-An</b>	5.1527 x 10 <sup>7</sup>	1,453	95,114
<b>14. A en O en B -An</b>	3.8104 x 10 <sup>7</sup>	1,075	96.189
<b>9. A en O en B - R</b>	3.6901 x 10 <sup>7</sup>	1,041	97.230
<b>17. O-R-An</b>	3.0480 x 10 <sup>7</sup>	0,860	98.090
<b>15. R-An</b>	1.5018 x 10 <sup>7</sup>	0,424	98.514
<b>2. Orígenes (O)</b>	1.1588 x 10 <sup>7</sup>	0,327	98.841
<b>12. O-An</b>	0.9213 x 10 <sup>7</sup>	0,260	99.101
<b>6. B - R</b>	0.6774 x 10 <sup>7</sup>	0,191	99.292
<b>11. B-An</b>	0.5208 x 10 <sup>7</sup>	0,147	99.439
<b>13. B-O-An</b>	0.5036 x 10 <sup>7</sup>	0,142	99.581
<b>1. Bloques (B)</b>	0.4670 x 10 <sup>7</sup>	0,132	99.713
<b>8. B-O-R</b>	0.4512 x 10 <sup>7</sup>	0,127	99.840
<b>16. B-R-An</b>	0.3408 x 10 <sup>7</sup>	0,096	99.936
<b>7. O - R</b>	0.1446 x 10 <sup>7</sup>	0,041	99.977
<b>18. B-O-R-An</b>	0.0911 x 10 <sup>7</sup>	0,026	100
<b>3. B - O</b>	0	0,000	

Tabla 50. Componentes de varianza; porcentaje de leño tardío, datos originales.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Componentes de varianza</b>	<b>%</b>	<b>% acumulado</b>
<b>10. Anillos (An)</b>	71.4559	49.66	49.66
<b>19. A en O en B-R-An</b>	28.8486	20.05	69.71
<b>14. A en O en B – An</b>	15.5693	10.82	80.53
<b>4. Arboles en O en B</b>	6.6657	4.63	85.16
<b>1. Bloques</b>	5.8144	4.04	89.20
<b>3. B – O</b>	4.0186	2.79	91.99
<b>13. B-O-An</b>	2.6344	1.83	93.82
<b>11. B-An</b>	2.2155	1.54	95.36
<b>12. O-An</b>	2.0752	1.44	96.80
<b>2. Orígenes (O)</b>	1.9785	1.37	98.17
<b>9. A en O en B – R</b>	0.9159	0.64	98.81
<b>15. R-An</b>	0.6025	0.42	99.23
<b>8. B-O-R</b>	0.4404	0.31	99.54
<b>5. Radios (R)</b>	0.3174	0.22	99.76
<b>6. B - R</b>	0.2446	0.17	99.93
<b>17. O-R-An</b>	0.1014	0.07	100.00
<b>16. B-R-An</b>	0	0	100.00
<b>18. B-O-R-An</b>	0	0	100.00
<b>7. O – R</b>	0	0	100.00
<b>TOTAL</b>	143.8983	100.0	

Tabla 51. Análisis de varianza para porcentaje de leño tardío; datos transformados.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	$\nu$	Cuadrado medio	F		E{CM}	Componentes de varianza
1. Bloques (B)	3.2404	5	0.6481	25.6166	**	0.0006	3.93
2. Orígenes (O)	1.8201	10	0.1820	2.8217	**	0.0002	1.40
3. B – O	3.2267	50	0.0645	2.5494	**	0.0004	2.78
4. Arboles en O en B	3.3370	132	0.0253	7.6667	**	0.0007	4.57
5. Radios (R)	0.1062	1	0.1062	6.0000	n.s.	$3.35 \times 10^{-5}$	0.21
6. B – R	0.0885	5	0.0177	3.6875	*	$2.61 \times 10^{-5}$	0.16
7. O – R	0.0440	10	0.0044	0.6471	n.s.	$-8.88 \times 10^{-6}$	0
8. B-O-R	0.3392	50	0.0068	1.4167	n.s.	$4.44 \times 10^{-5}$	0.28
9. A en O en B – R	0.6276	132	0.0048	1.4545	**	0.0001	0.62
10. Anillos (An)	44.3921	14	3.1709	137.8652	**	0.0080	49.58
11. B-An	1.6085	70	0.0230	3.3824	**	0.0002	1.52
12. O-An	2.3985	140	0.0171	2.0357	**	0.0002	1.45
13. B-O-An	5.9123	700	0.0084	1.2353	**	0.0003	1.56
14. A en O en B - An	12.5917	1848	0.0068	2.0606	**	0.0018	10.91
15. R-An	0.2239	14	0.0160	5.0000	**	$6.41 \times 10^{-5}$	0.40
16. B-R-An	0.2250	70	0.0032	0.9697	n.s.	$-3.03 \times 10^{-6}$	0
17. O-R-An	0.4856	140	0.0035	1.0938	n.s.	$1.11 \times 10^{-5}$	0.07
18. B-O-R-An	2.2484	700	0.0032	0.9697	n.s.	$3.33 \times 10^{-5}$	0
19. A en O en B-R-An	6.0190	1848	0.0033			0.0033	20.56

Tabla 52. Componentes de varianza; porcentaje de leño tardío, datos transformados.

<b>Fuente de variación</b>	<b>Componentes de varianza</b>	<b>%</b>	<b>% acumulado</b>
<b>10. Anillos (An)</b>	0,0080	49,86	49,86
<b>19. A en O en B-R-An</b>	0,0033	20,57	70,42
<b>14. A en O en B – An</b>	0,0018	11,22	81,64
<b>4. Arboles en O en B</b>	0,0007	4,36	86,00
<b>1. Bloques</b>	0,0006	3,74	89,74
<b>3. B – O</b>	0,0004	2,49	92,23
<b>13. B-O-An</b>	0,0003	1,87	94,10
<b>11. B-An</b>	0,0002	1,52	95,62
<b>12. O-An</b>	0,0002	1,45	97,08
<b>2. Orígenes (O)</b>	0,0002	1,25	98,32
<b>9. A en O en</b>	0,0001	0,62	98,95
<b>15. R-An</b>	6,41E-05	0,40	99,35
<b>8. B-O-R</b>	4,44E-05	0,28	99,62
<b>5. Radios (R)</b>	3,35E-05	0,21	99,83
<b>6. B - R</b>	2,61E-05	0,16	99,99
<b>17. O-R-An</b>	1,11E-06	0,01	100,00
<b>7. O - R</b>	0	0	100,00
<b>16. B-R-An</b>	0	0	100,00
<b>18. B-O-R-An</b>	0	0	100,00
<b>TOTAL</b>	0,0160	100,00	

Tabla 53. Componentes de varianza; densidad básica a la altura del pecho

<b>Fuente de variación</b>	<b>Componentes de varianza</b>	<b>%</b>	<b>% acumulado</b>
<b>10. Secciones (S)</b>	640,6055	23,93	23,93
<b>2. Orígenes (O)</b>	503,0321	18,79	42,72
<b>4. Arboles en O en B</b>	472,4842	17,65	60,37
<b>17. O-R-S</b>	345,4369	12,91	73,28
<b>19. A en O en B-R-S</b>	225,9037	8,44	81,72
<b>14. A en O en B – S</b>	161,3980	6,03	87,75
<b>1. Bloques</b>	88,6285	3,31	91,06
<b>11. B-S</b>	67,8793	2,54	93,60
<b>9. A en O en B -R</b>	57,5192	2,15	95,75
<b>13. B-O-S</b>	41,7485	1,56	97,31
<b>5. Radios (R)</b>	37,2632	1,39	98,70
<b>6. B – R</b>	9,9268	0,37	99,07
<b>12. O-S</b>	7,9274	0,30	99,37
<b>16. B-R-S</b>	4,7524	0,18	99,55
<b>8. B-O-R</b>	4,6104	0,17	99,72
<b>7. O – R</b>	3,5938	0,13	99,85
<b>15. R-S</b>	2,9715	0,11	99,96
<b>3. B – O</b>	1,0661	0,04	100,00
<b>18. B-O-R-S</b>	0	0	100,00
<b>TOTAL</b>	2676,7475	100,00	

**B. PROBETAS DE INCREMENTO RADIAL DE ARBOLES CON *DAP* MÁXIMO, PROMEDIO Y MÍNIMO DE CADA ORIGEN**

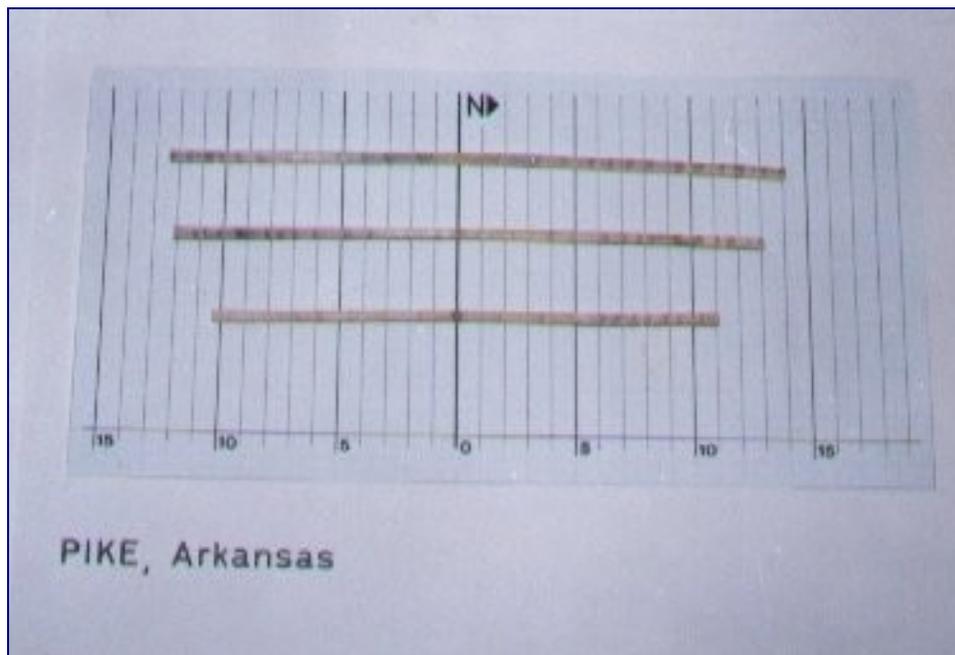


Figura 8. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Pike, Arkansas.

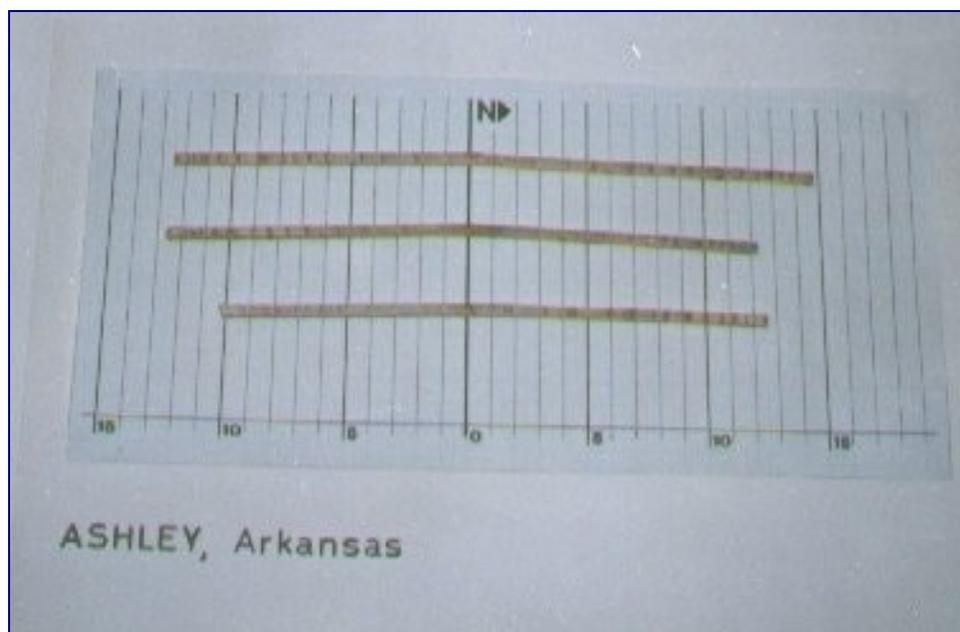


Figura 9. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Ashley, Arkansas.

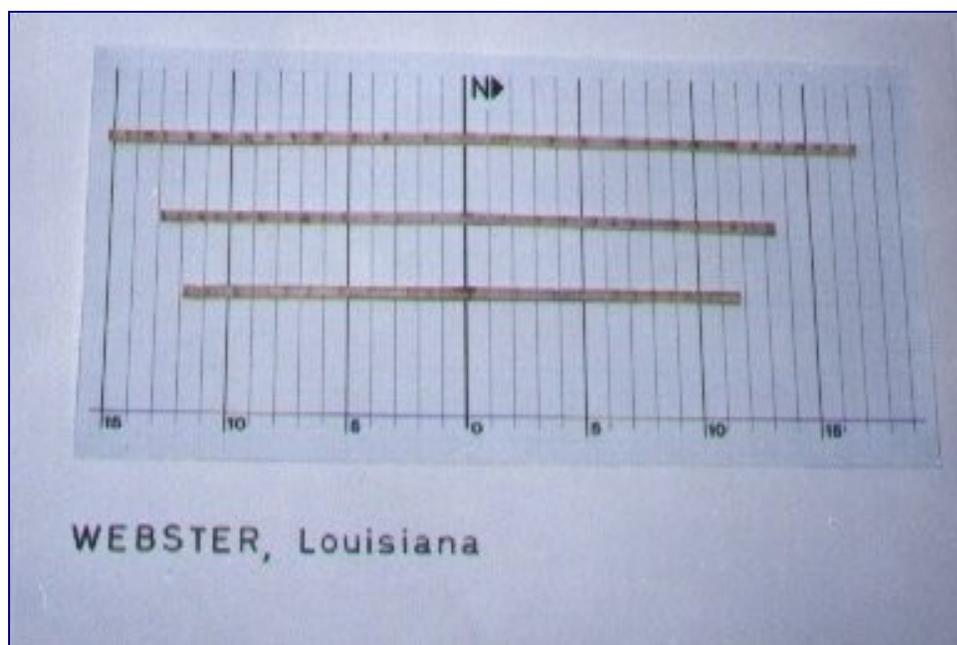


Figura 10. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Webster, Louisiana.

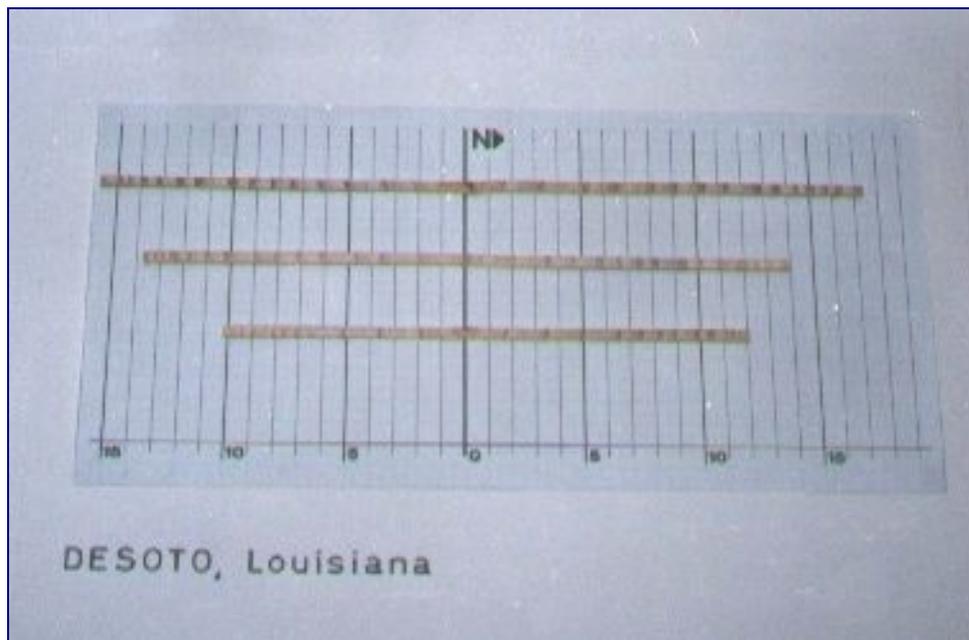


Figura 11. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen De Soto, Louisiana.

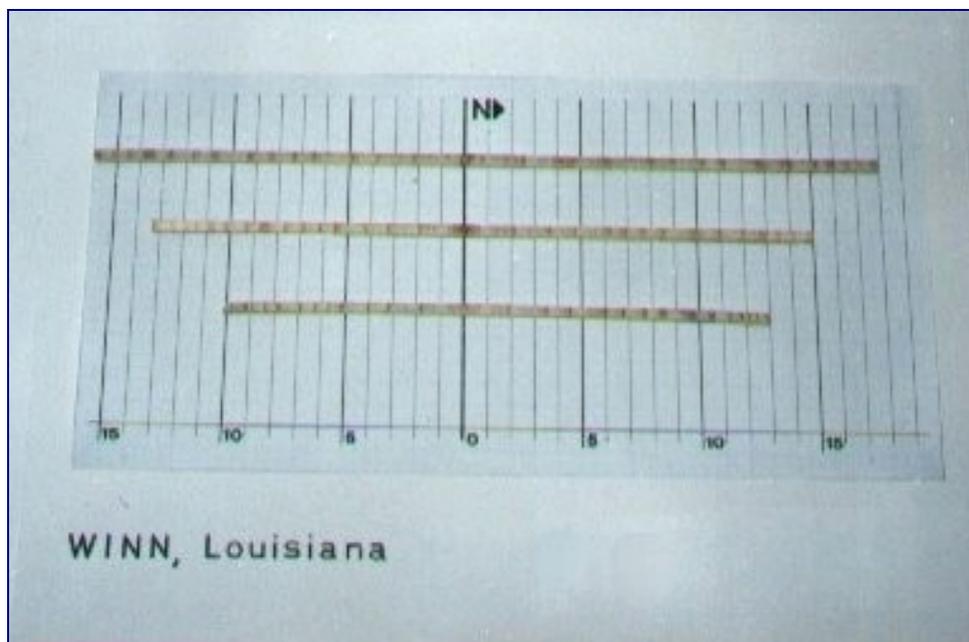


Figura 12. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Winn, Louisiana.

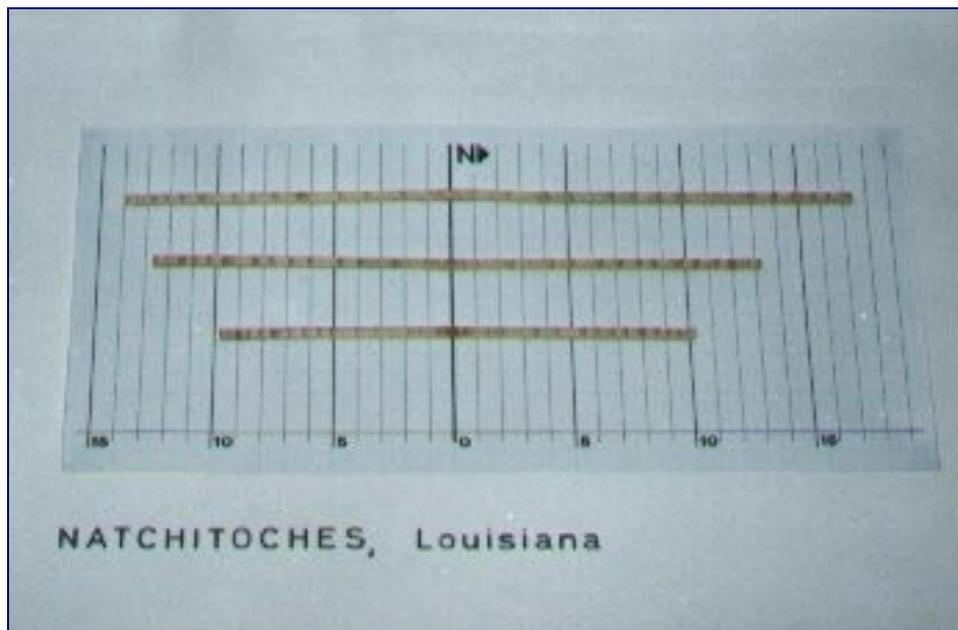


Figura 13. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Natchitoches, Louisiana.

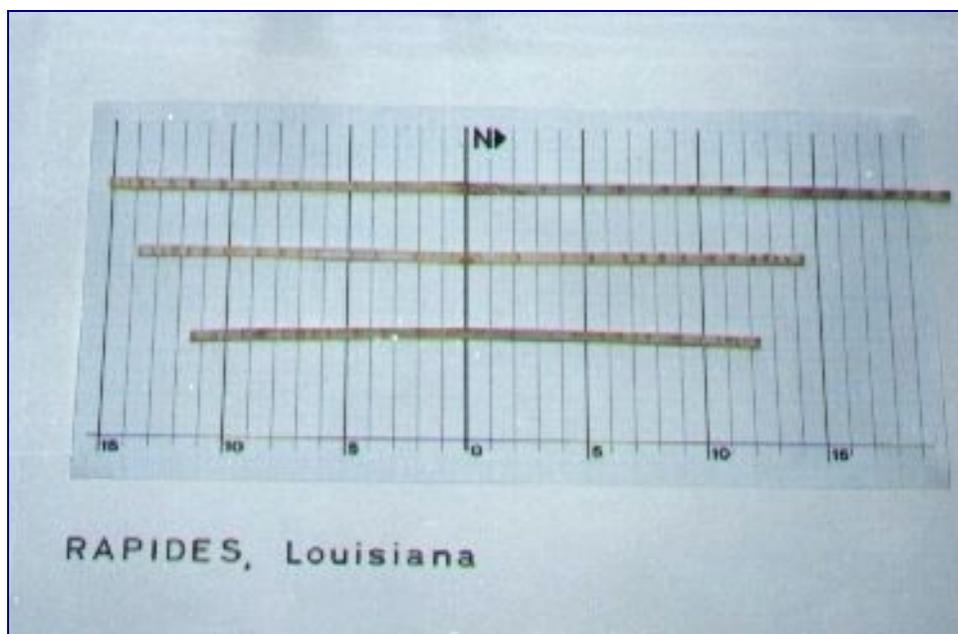


Figura 14. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Rapides, Louisiana.

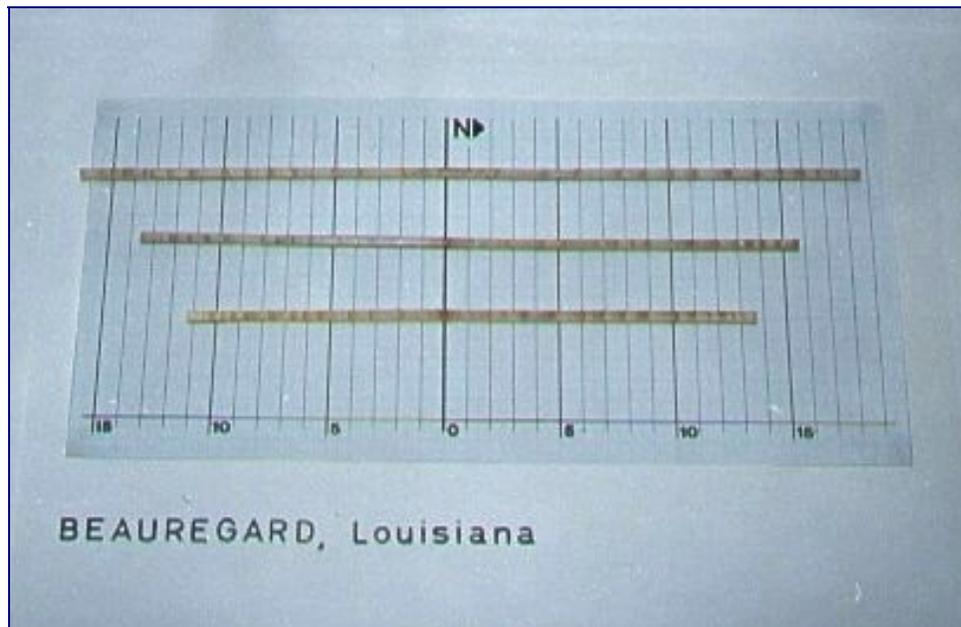


Figura 15. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Beauregard, Louisiana.

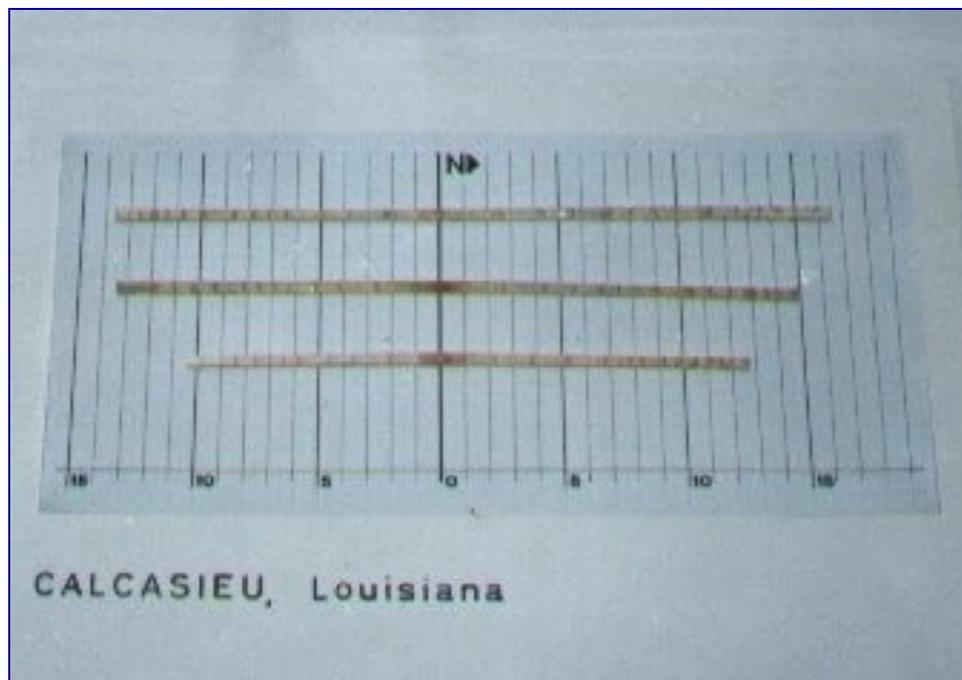


Figura 16. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Calcasieu, Louisiana.

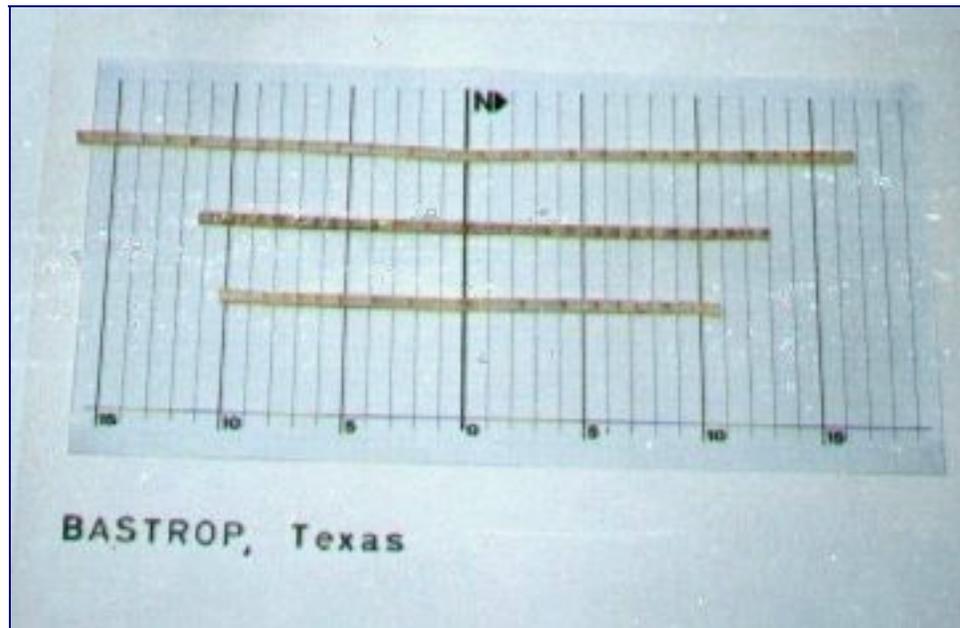


Figura 17. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Bastrop, Texas.

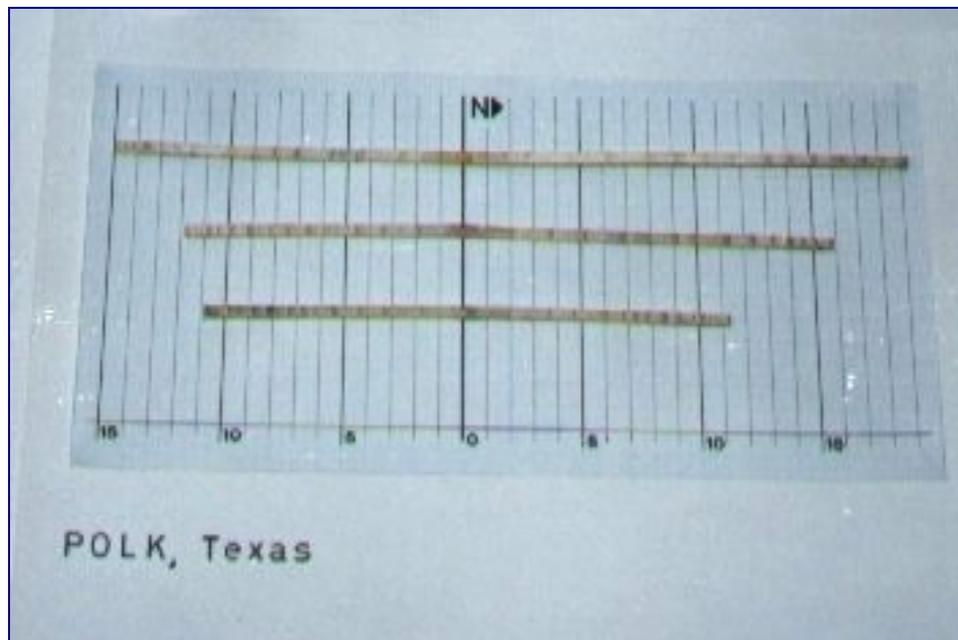


Figura 18. Probetas de incremento radial de los árboles de *dap* máximo, promedio y mínimo del origen Polk, Texas

