

Fuentes de semilla

de *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica

¿Se refleja el proceso de selección a que han sido sometidas las fuentes certificadas en su comportamiento juvenil?

Francisco Mesén, Yolanda Núñez

Resumen

Fueron evaluadas once fuentes de semillas certificadas y no certificadas de *Gmelina arborea* a nivel de semilla y vivero en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Se midió una serie de parámetros en las semillas y en las plántulas hasta las 15 semanas de edad para determinar si el proceso de selección a que han sido sometidas las fuentes certificadas se refleja de alguna manera en su comportamiento juvenil. Al término de 15 semanas, las plántulas de fuentes certificadas mostraron alturas significativamente mayores que las de los lotes testigo, indicando valores de ganancia genética de hasta el 20% en este parámetro. No se encontraron diferencias significativas en parámetros fisiológicos entre fuentes certificadas y no certificadas; sin embargo, las dos fuentes con la menor relación brote:raíz presentaron también los menores valores de masa seca del brote, probablemente indicando una menor inversión de asimilados hacia la parte aérea de la planta y menor eficiencia fotosintética. Se requieren estudios de seguimiento a nivel de campo que permitan conclusiones más definitivas; sin embargo, la superioridad inicial de las fuentes certificadas parece indicar superioridad genética y apoya el proceso de selección de dichas fuentes.

Summary

Early genetic evaluation of 11 seed sources of *Gmelina arborea* Roxb. in Costa Rica. Seedlings of eleven seed sources of *Gmelina arborea*, from both certified and commercial sources, were evaluated from seed to 15 weeks of age at the CATIE Experimental Nursery, Turrialba, Costa Rica. Various growth parameters were measured and evaluated to determine if the improvement process carried out in the certified sources was somehow reflected in any characteristic measured at the seed or seedling stage. After 15 weeks, seedlings from seed stands or selected sources were significantly taller than seedlings from control lots, indicating genetic gains up to 20% in this parameter. No significant differences in physiological parameters were found between selected and non selected sources, although values of shoot-root ratio tended to be lower in the two sources with lower shoot dry mass, probably indicating a lower investment of assimilates to the shoots and lower photosynthetic efficiency in these sources. Follow-up studies at the field stage are necessary to allow more reliable conclusions; however, the initial superior growth of the seedlings from the selected sources may indicate genetic superiority of such sources and the efficiency of the selection process.

Palabras clave: *Gmelina arborea*, semillas, semillero, certificación de semillas, Costa Rica.

En 1993 se inició en Costa Rica el programa de certificación de semillas y plántulas de especies forestales, con el fin de ordenar la producción y utilización de germoplasma forestal, así como contribuir al éxito de las plantaciones forestales mediante el uso de semillas de mejor calidad genética y fisiológica (Guevara y Mesén 1994, Mesén *et al.* 1996).

El programa se inició a escala piloto en la zona de Guanacaste, con la especie *Gmelina arborea* Roxb. (melina). Para 1994, se habían inscrito nueve fuentes, cuatro de las cuales correspondían a la categoría Autorizada B (rodales semilleros) y cinco a una categoría inferior; Autorizada C (fuente seleccionada). La diferencia entre ambas categorías radica principalmente en que los rodales semilleros están compuestos únicamente por árboles fenotípicamente superiores, de manera que se espera una mayor calidad genética de la semilla producida. En las fuentes seleccionadas aún existen individuos indeseables dentro o cerca del área, que están causando algún grado de contaminación con polen de calidad inferior (Mesén *et al.* 1996). En teoría, se espera que ambos tipos de áreas produzcan semilla de calidad superior a la obtenida en plantaciones no manejadas, donde normalmente existe una concentración alta de individuos indeseables.

Por lo reciente del programa, aún no existen ensayos o plantaciones que permitan verificar la eficacia del proceso de selección. Por lo tanto, se creyó conveniente realizar un ensayo de comparación de estas fuentes semilleros, para determinar si el proceso de mejoramiento al que han sido sometidas se refleja de alguna manera en el compor-

tamiento del material durante la fase juvenil. Trabajos similares con otras especies han mostrado correlaciones importantes entre el volumen del árbol a edades mayores y ciertos rasgos juveniles (Bengston 1963, Canneli et al. 1978, Lambeth 1979, Robinson y van Buijtenen 1979, Waxler y van Buijtenen 1980). La relación brote:raíz en las plántulas, en particular, ha resultado efectiva para detectar árboles de volumen superior a edades mayores en *Pinus taeda* (Canneli et al. 1978) y *Pseudotsuga menziesii* (Lambeth 1979).

El presente trabajo evaluó la variabilidad genética a nivel de endocarpio y plántula de 11 fuentes (lotes de semilla) de *G. arborea*, nueve de los cuales provenían de fuentes seleccionadas o rodales semilleros, y dos, de plantaciones promedio no manejadas.

Metodología

El cuadro 1 muestra los detalles de las fuentes de semilla utilizadas. Para cada lote se determinó la masa promedio de los endocarpios, utilizando ocho muestras de 100 unidades cada una, con la excepción de los lotes testigo, donde debido a la limitación en la cantidad de material, se utilizó únicamente una muestra.

Para evaluar el porcentaje de germinación se utilizaron cuatro repeticiones de 50 endocarpios por lote, colocados en bandejas plásticas cerradas que contenían arena esterilizada con alcohol de 95%. Se aplicó un riego inicial con 450 ml de agua a las bandejas y se colocaron en una cámara de germinación de ambiente controlado en el Banco de Semillas Forestales del CATIE, a una temperatura de 30°C, una humedad relativa de 45% e iluminación continua.

Los endocarpios recibieron un tratamiento pregerminativo que consistió en mantenerlos en agua corriente durante 15 días. La germinación fue registrada diariamente hasta que se completó el proceso, al término de 21 días.

La etapa de vivero se llevó a cabo en el Vivero Forestal Experimental del CATIE en Turrialba, el cual se encuentra a una altitud de 600 msnm, y registra una temperatura y una precipitación promedio anual de 21,70°C y 2 593 mm, respectivamente. Se sembraron 200 endocarpios por tratamiento en cajas con arena esterilizada con formalina al 1%, y las plántulas se repicaron en

La etapa de vivero se llevó a cabo en el Vivero Forestal Experimental del CATIE en Turrialba. (Foto: F. Mesén)



Cuadro 1. Detalle de las fuentes de semilla de *G. arborea* incluidas en el ensayo

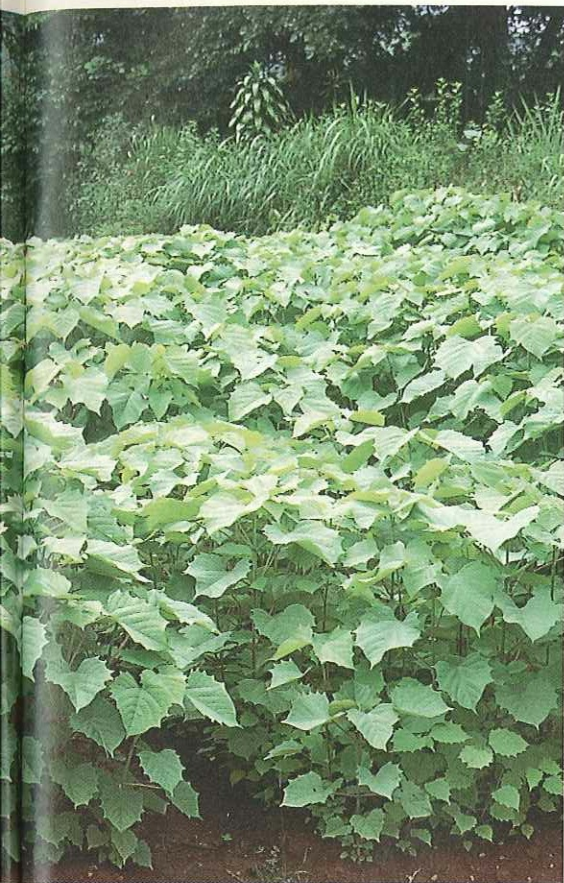
| No. de fuente Nacional | CATIE | Sitio* | Altitud (msnm) | Clasificación |
|------------------------|-------|--------------------------|----------------|---------------------|
| 001 | BL25 | Matambú, Hojancha | 320 | Rodal semillero |
| 002 | BL22 | Matambú, Hojancha | 320 | Fuente seleccionada |
| 003 | BL23 | Matambú, Hojancha | 320 | Fuente seleccionada |
| 004 | BL20 | Bajo Beneficio, Hojancha | 250 | Rodal semillero |
| 005 | BL19 | Centro, Hojancha | 400 | Fuente seleccionada |
| 006 | BL21 | Centro, Hojancha | 400 | Fuente seleccionada |
| 008 | BL24 | Pilangosta, Hojancha | 400 | Fuente seleccionada |
| 009 | BL18 | San Juan Bosco, Hojancha | 200 | Rodal semillero |
| 010 | BL26 | Santa María, Hojancha | 100 | Rodal semillero |
| Test. 1 | | Hojancha | 400 | Plantación |
| Test. 2 | | Hojancha | 400 | Plantación |

* Todos los sitios están localizados a 10°03' de latitud norte, 85°25' de longitud oeste, con temperatura y precipitación promedio anuales de 27,1 °C y 2 232 mm, respectivamente, dentro de la zona de vida bosque húmedo tropical según Holdridge (1987).

bolsas de plástico negro de 2 070 cm³ que contenían una mezcla de suelo y compost en proporción 1,5:1. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con seis repeticiones y parcelas de 10 árboles por tratamiento; se plantó una hilera externa de borde alrededor de todo el ensayo, utilizando plantas del mismo lote interno.

A las 5, 10 y 15 semanas posteriores al trasplante se realizaron evaluaciones de altura total en todas las plantas, así como muestreos destructivos para determinar área foliar y masa fresca, así co-

mo seca de hojas, tallo y raíz, utilizando cinco plantas por tratamiento en cada muestreo. Además, a las 10 y 15 semanas se realizaron mediciones de diámetro al cuello de la raíz en todas las plantas. El área foliar fue determinada utilizando un medidor óptico AM 100 (ADC, Hoddesdon, Inglaterra); la masa seca fue determinada después de secar las muestras en un horno a 80°C durante 48 horas. A partir de estos datos se calculó la relación masa seca del brote:masa seca de la raíz y el área foliar específica (AFE), de acuerdo con la fór-



mula de Beadle (1985): $s/Dm^2 g^{-1}$, donde s = área foliar y D = masa seca. La medición del área foliar específica es interesante porque refleja el grosor de la hoja por unidad de área; AFE bajas reflejan más clorofila por unidad de área.

La significancia del efecto de los tratamientos para cada variable fue determinada mediante análisis de varianza (ANDEVA), seguidos por pruebas de Duncan (Snedecor y Cochran 1980). Se estimó la heredabilidad (H^2) de las características a las 15 semanas utilizando los componentes de varianza de los cuadrados medios, mediante la fórmula:

$$H^2 = \sigma_F^2 / (\sigma_F^2 + \sigma_E^2 / b), \text{ donde}$$

σ_F^2 = varianza debida a las fuentes de semilla,

σ_E^2 = varianza residual y

b = número de bloques (Burley y Wood 1979)

Para estimar el valor genotípico (Z) de las fuentes de semilla, se utilizó la fórmula de Kung (1979):

$$Z = \mu + C (y - \mu), \text{ donde}$$

μ = la media general

C = factor de contracción

y = media de la fuente de semilla

Considerando el número de fuentes



PROGRAMA DE CERTIFICACION
DE ESPECIES FORESTALES

RODAL SEMILLERO DE MELINA
CATEGORIA AUTORIZADA B.

PRODUCTOR
Victoriano Mena Venegas.

TEL. 659-90 69 HOJANCHA C.R.

Los resultados sugieren que el proceso de selección en las fuentes y los rodales ha sido efectivo y que se pueden esperar ganancias de hasta 20% en crecimiento inicial mediante el uso de semilla de fuentes manejadas. (Foto: F. Mesén).

de semilla involucradas, se utilizó el factor de contracción: $C = 1 - (1/F)$ (Kung 1979), donde F equivale al radio de la varianza para las fuentes de semilla obtenido del ANDEVA. Por lo tanto, C tiene el mismo valor de H^2 y el valor genotípico puede ser expresado como:

$$Z = \mu + H^2 (y - \mu).$$

A partir de este valor se estimó la ganancia genética (ΔG_i) debida a la selección de las fuentes de semilla, mediante la fórmula:

$$\Delta G_i = H^2 (Z - \mu)$$

Resultados

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre fuentes en cuanto a germinación, la cual varió entre 12% y 43%, pero sí entre la masa promedio de los endocarpios (Cuadro 2).

Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas (p

Cuadro 2. Masa promedio de endocarpios y porcentaje de germinación de los 11 lotes de semilla de *G. arborea*.

| No. de fuente | Masa de los endocarpios (g) | Germinación (%) |
|---------------|-----------------------------|-----------------|
| T2 | 0,747 a* | 39 |
| T1 | 0,715 b | 33 |
| 05 | 0,636 c | 20 |
| 10 | 0,610 d | 20 |
| 08 | 0,609 d | 43 |
| 06 | 0,602 d | 21 |
| 04 | 0,602 d | 12 |
| 02 | 0,567 e | 14 |
| 03 | 0,563 e | 16 |
| 09 | 0,561 e | 29 |
| 01 | 0,522 f | 28 |

* Promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí, según la prueba de Duncan al 5%.

<0,01) entre tratamientos para altura total en las tres evaluaciones, y ausencia de diferencias para diámetro basal.

No se presentaron grandes variaciones en la posición relativa de las fuentes en cuanto a altura total a lo largo del período de evaluación. La prueba de Duncan separó las procedencias en tres grupos más o menos constantes: fuentes de mayor crecimiento (09, 04, 10, 06), fuentes intermedias (08, 01, 05, 03) y fuentes de menor crecimiento (T1, 02, T2). Los valores de ganancia genética para altura a las 12 semanas variaron entre -8,7 para el peor tratamiento (T2) y +7,6 para la mejor fuente (09), lo cual representa una diferencia de

22%. La diferencia en altura entre las fuentes superiores y el promedio de ambos testigos varió entre 15 y 20% (Cuadro 3).

Los análisis de varianza revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos para todas las variables de masa seca a las 5 y 15 semanas. En cuanto a área foliar promedio, se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$) a las 10 semanas, pero dichas diferencias desaparecieron al término de 15 semanas.

No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos para área foliar específica ni para la relación brote:raíz en ninguna de las evaluaciones. En el Cuadro 4 se muestran los valores de estas variables a las 15 semanas de edad.

Discusión

Resultó interesante encontrar que, de las cuatro fuentes que mostraron el mayor crecimiento en altura al término de 15 semanas, dos corresponden a semilla originada de rodales semilleros y dos, a fuentes seleccionadas. Las semillas procedentes de los otros dos rodales ocuparon posiciones intermedias, mientras que los testigos se ubicaron dentro de las tres últimas posiciones, junto con la fuente No. 02. Los formularios de campo casualmente señalan a esta fuente como la de menor calidad entre todas las fuentes seleccionadas, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

Si bien estos datos representan crecimiento inicial en vivero y no permiten conclusiones definitivas, hay que tomar en cuenta que una de las ventajas

principales de los ensayos en vivero es que permiten mayor control y uniformidad ambiental (La Farge 1975), de manera que las diferencias genéticas tienden a ser más aparentes. En este sentido, los resultados parecen sugerir que el proceso de selección en las fuentes y los rodales ha sido efectivo, y que se pueden esperar ganancias de hasta 20% en crecimiento inicial mediante el uso de dicha semilla, en comparación con semilla de fuentes no manejadas.

En estudios de crecimiento en vivero es común encontrar correlaciones positivas entre masa de la semilla y crecimiento inicial de las plántulas, lo cual puede enmascarar diferencias genéticas (Cannel *et al.* 1978). En este estudio, sin embargo, no se presentó dicha situación y más aún, las fuentes de mayor crecimiento inicial tendieron a presentar endocarpios de masa promedio o incluso inferior al promedio (Cuadro 2), lo cual respalda aún más la posibilidad de que la superioridad en crecimiento de dichas fuentes sea efectivamente un reflejo de su superioridad genética. Este resultado posiblemente se justifique en el hecho de que en la melina, lo que se conoce como semilla, es en realidad un endocarpio endurecido o pireno multiembrionario (Niembro 1988).

De esta manera, un endocarpio de mayor masa no necesariamente representará mayores reservas para una única plántula en desarrollo, sino simplemente un mayor número de semillas viables.

No fue posible detectar diferencias en las variables evaluadas que explicaran el mayor crecimiento de ciertas fuentes. Las fuentes semilleras de cre-

Cuadro 3. Crecimiento en altura, valor genotípico y ganancia genética para altura a las 15 semanas de edad para las 11 fuentes de semilla de *G. arborea*.

| No. de fuente | Altura 5 semanas (cm) | Altura 10 semanas (cm) | Altura 15 semanas (cm) | Valor genotípico 15 semanas (cm) | Ganancia genética** (cm) |
|---------------|-----------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 09 | 15,1 | 52,9 | 114,4 a* | 112,0 | 7,6 |
| 04 | 13,1 | 54,2 | 111,1 a | 109,4 | 5,5 |
| 10 | 12,2 | 52,0 | 109,3 a | 107,9 | 4,3 |
| 06 | 14,5 | 53,2 | 108,4 a | 107,2 | 3,7 |
| 08 | 12,7 | 51,0 | 105,1 ab | 104,6 | 1,6 |
| 01 | 10,4 | 51,1 | 103,4 ab | 103,2 | 0,5 |
| 05 | 11,2 | 50,4 | 102,0 abc | 102,2 | -0,3 |
| 03 | 11,5 | 50,4 | 101,8 abc | 102,0 | -0,5 |
| T1 | 11,4 | 47,2 | 93,4 bc | 95,2 | -5,9 |
| 02 | 9,8 | 46,2 | 90,4 c | 92,8 | -7,8 |
| T2 | 10,3 | 48,8 | 89,1 c | 91,8 | -8,7 |

* Promedios seguidos por la misma letra no difieren significativamente entre sí según la prueba de Duncan al 5%.

**Obtenida con base en una H^2 calculada de 0,80 y una media poblacional de 102,6 cm.

cimiento superior mostraron en general mayores valores de masa seca foliar, de tallo y de raíz (Cuadro 4), pero esto fue simplemente un reflejo de su mayor tasa de crecimiento.

No se presentaron diferencias en área foliar promedio ni área foliar específica que indicaran variaciones en la capacidad fotosintética entre las fuentes. Si bien las mediciones de masa seca permiten detectar cambios mayores a largo plazo, no son muy adecuados para determinar diferencias pequeñas en estudios de corto plazo, donde posiblemente sean necesarias mediciones directas de intercambio gaseoso (Long y Hallgren 1985).

Aunque no se presentaron diferencias significativas entre fuentes para la relación brote:raíz, es interesante notar que las dos fuentes con menor aérea total (T2, 05) también presentaron los menores valores para esta variable. (Cuadro 4).

Una relación baja podría demostrar una menor inversión de asimilados hacia la parte aérea de la planta y menor eficiencia fotosintética, lo cual se traduciría en un menor crecimiento (Ledig *et al.* 1970). El proceso de selección de individuos dominantes en las fuentes semilleros favorece a aquellos individuos de mayor capacidad competitiva, es decir, individuos que capturan rápidamente el dosel, ya sea debido a su mayor producción de biomasa, a su mayor eficiencia fotosintética o a ambas características.

Por lo tanto, parece lógico suponer que los individuos finales que conforman las fuentes semilleros sean aquellas que muestran superioridad genética para

estas características. Si bien la selección de árboles dentro de las fuentes semilleros es puramente fenotípica, todas las fuentes corresponden a plantaciones artificiales, donde las varianzas ambiental y de edad son mínimas (Zobel y Taibert 1984). Por lo tanto, es de esperar que la

ficadas exprese también superioridad en características de forma del fuste, puesto que, por lo general, dichas características tienden a mostrar valores de heredabilidad incluso mayores que las variables de crecimiento (Zobel y Talbert 1984).

Cuadro 4. Valores de masa seca, relación brote:raíz, área foliar y área foliar específica en las 11 fuentes de semilla de melina a las 15 semanas de edad.

| No. de fuente | Masa seca tallo (g) | Masa seca foliar (g) | Masa seca raíz (g) | Relación brote-raíz | Area foliar (CM2) | Area foliar específica (g/M2) |
|---------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| 06 | 17,1 | 16,8 | 7,8 | 4,3 | 64,2 | 1,59 |
| 09 | 17,0 | 14,8 | 6,2 | 4,7 | 80,5 | 2,91 |
| 04 | 11,1 | 9,2 | 3,9 | 5,0 | 57,2 | 2,28 |
| 10 | 7,2 | 6,1 | 3,1 | 4,2 | 69,7 | 2,61 |
| 01 | 6,3 | 5,3 | 3,4 | 3,8 | 62,9 | 2,51 |
| T1 | 6,3 | 5,7 | 3,2 | 3,4 | 58,0 | 2,43 |
| 08 | 5,5 | 5,2 | 2,0 | 4,9 | 69,5 | 2,91 |
| 02 | 4,9 | 3,7 | 2,3 | 4,3 | 93,2 | 2,22 |
| 03 | 3,5 | 3,1 | 1,6 | 4,0 | 80,6 | 2,64 |
| T2 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | 2,5 | 61,3 | 2,38 |
| 05 | 2,2 | 2,4 | 1,8 | 2,8 | 52,0 | 2,81 |

selección fenotípica sea un buen reflejo de la variación genotípica, lo cual resulta en una mayor heredabilidad y en ganancias genéticas efectivas.

Los ensayos en vivero no permiten evaluaciones de otras características de importancia económica como por ejemplo, forma del fuste y calidad de la madera (Bengston 1963). Sin embargo, un rápido crecimiento inicial implica un cierre más rápido del dosel y menor número de limpiezas, lo cual representa beneficios económicos importantes, sobre todo en plantaciones extensas. Asimismo, podría abrir la posibilidad de reducir la densidad inicial de las plantaciones, reduciendo el costo de establecimiento. Por otro lado, es de esperar que el material de fuentes certi-

El presente trabajo muestra resultados promisorios hacia el uso de semilla de las fuentes certificadas. Será interesante continuar el estudio en la etapa de campo, incluyendo semilla de los huertos clonales existentes en el país, que permita obtener conclusiones más definitivas.

Nota de la Editora: Los autores agradecen al Sr. Gustavo López, del Centro de Cómputo del CATIE, por el análisis estadístico de los datos; y a los Sres. Alfonso González, del Banco de Semillas del CATIE y Carlos Castro, del Vivero Forestal del CATIE por su apoyo en los trabajos de laboratorio y vivero.

Francisco Mesén, Yolanda Núñez
Especialista en Mejoramiento Genético
PROSEFOR, CATIE, Tel. 56 1933
E-mail: fmesen@catie.ac.cr

Literatura citada

- BEADLE, C.L. 1985. Plant growth analysis. In: Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock MO (eds). Techniques in bioproductivity and photosynthesis. 2 ed. Oxford, Pergamon Press. p. 20-25.
- BENGSTON, G.W. 1963. Slash pine selected from nursery-beds: 8-year performance record. *Journal of Forestry*. 61:422-425.
- BURLEY, J.; WOOD, P.J. 1979. Manual sobre investigaciones de especies y fuentes con referencia especial a los trópicos. Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 295 p. (Tropical Forestry Paper no. 10& 10 A)
- CANNELL, M.G.R.; BRIDGWATER, F.E.; GREENWOOD, M.S. 1978. Seedling growth rates, water stress responses and root-shoot relationships related to eight-year volumes among families of *Pinus taeda* L. *Silvae Genetica*. 7:237-248.
- GUEVARA, A.L.; MESEN, F. 1994. Avances en el programa de certificación forestal en Costa Rica. *Boletín Mejoramiento Genético y Semillas Forestales*. 8:15-18.
- HOLDRIDGE, L. 1987. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA,
- KUNG, F.H. 1979. Improved estimators for provenance breeding values. *Silvae Genetica*. 28(2-3): 114-116.
- LA FARGE, T. 1975. Correlations between nursery and plantation height growth in slash and loblolly pine. *Forest Science*. 21:197-200.
- LAMBETH, C.C. 1979. Interaction of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) full-sib families with field and phytotron environments. Ph.D. Dissertation, Raleigh, NC. North Carolina State University.
- LEDIG, F.T.; BORMANN, F.H.; WENGER, K.F. 1970. The distribution of dry matter growth between shoot and root in loblolly pine. *Botanical Gazette*. 131:349-359.
- LONG, S.P.; HALLGREN, J.E. 1985. Measurements of CO₂ assimilation by plants in the field and the laboratory. In: Coombs J, Hall DO, Long SP, Scurlock MO (eds). Techniques in bioproductivity and photosynthesis. 2 ed. Oxford, Pergamon Press. p. 62-94.
- MESEN, F.; GUEVARA, A.L.; JIMENEZ, M.L. 1996. Guía técnica para la producción de semillas forestal certificada y autorizada. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 34 p. (Serie Técnica, Manual Técnico No.20)
- NIEMBRO, R.A. 1988. Semillas de árboles y arbustos: ontogenia y estructura. México, Limusa. 285 p.
- ROBINSON, J.F.; VAN BUIJTENEN, J.P. 1979. Correlation of seed weight and nurserybed traits with 5-, 10-, and 15-year volumes in a loblolly pine progeny test. *Forest Science*, 25(4):591-596.
- SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. 1980. Statistical methods, 7 ed. Iowa, Iowa State University Press.
- WAXLER, M.S.; VAN BUIJTENEN, J.P. 1980. Early genetic evaluation of loblolly pine. *Canadian Journal of Forest Research*. 11:351-355.
- ZOBEL, B.; TALBERT, J. 1984. Applied forest tree improvement. New York, J. Wiley. 505 p.